

**Gestión de Activos Enfocado hacia la Confiabilidad o Determinación del
TPEF (Tiempo promedio entre fallas en equipos y/o sistemas).**

PRESENTADO POR

**CRISTIAN JAVIER CERQUERA VALDERRAMA
INGENIERO MECÁNICO
JULIO ANDRES BARRANTES MALAGÓN
INGENIERO MECÁNICO**

DIRECTOR

ING. MARIA GABRIELA MAGO

**UNIVERSIDAD ECCI
DIRECCION DE POSGRADOS
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BOGOTÁ D.C.**

2016

CONTENIDO

1. GESTIÓN DE ACTIVOS ENFOCADO HACIA LA CONFIABILIDAD O DETERMINACIÓN DEL TPEF (TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS EQUIPOS Y/O SISTEMAS).	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
2.1. PREGUNTA DE INVESTIGACION	3
2.2. SISTEMATIZACIÓN DE PROBLEMA	3
3. OBJETIVOS	4
3.1. GENERAL	4
3.2. ESPECIFICOS	4
4. JUSTIFICACION Y DELIMITACIONES	4
4.1. DELIMITACION GEOGRAFICA	5
4.2. DELIMITACION TEMPORAL.	5
5. MARCO CONCEPTUAL.....	5
5.1. MARCO TEORICO	5
5.1.1. TEORÍA DE FALLAS.....	6
5.1.2. CURVA TÍPICA DE FLUJO DE FALLAS.	7
5.1.3. DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL.	8
5.1.4. ESTUDIO DE LOS MECANISMOS DE FALLA EN CADA UNO DE LOS PERIODOS DE VIDA DE UN EQUIPO.	9
5.2. ESTADO DEL ARTE	11
6. TIPO DE INVESTIGACION.	24
7. MARCO METODOLOGICO.....	25
7.1. RECOLECCION DE DATOS	25

7.2. PROPUESTA DE SOLUCION.....	32
7.3. ANALISIS DE DATOS	33
8. FUENTES DE OBTENCIÓN DE LA INFORMACION.	38
8.1. FUENTES PRIMARIAS.	38
8.2. FUENTES SECUNDARIAS	38
9. ANALISIS FINANCIERO	39
10. CONCLUSIONES.....	40
11. BIBLIOGRAFIA.....	42

TABLA DE FIGURAS.

Figura 1 Curva típica de flujo de fallas	7
Figura 2. Función de densidad de probabilidad Weibull para varios valores de β .	9
Figura 3. Evaluación de condición de componente.	14
Figura 4 Sistema de dos estados con frecuencia de fallas en disminución progresiva	20

GLOSARIO.

- Confiabilidad:** Capacidad de un activo o componente para realizar una función requerida bajo condiciones dadas para un intervalo de tiempo dado.
- Asfalto:** Sustancia de color negro que procede de la destilación del petróleo crudo, se encuentra en grandes depósitos naturales y se utiliza para pavimentar carreteras y como revestimiento impermeable de muros y tejados.
- Cimiento:** Terreno sobre el que descansa un edificio.
- Elemento granular:** Es aquella que está formada por un conjunto de partículas macroscópicas solidas lo suficientemente grandes para que la fuerza de interacción entre ellas sea la fricción.
- Estanqueidad:** Es la cualidad por la que se determina si algo tiene fugas o posibilidad de tenerlas.
- Correlacionar:** Indica fuerza y dirección de una relación lineal y proporcionalidad entre dos variables estadísticas
- Disponibilidad:** Posibilidad de que un activo esté listo para funcionar cuando se necesite.
- Mantenibilidad:** Propiedad que representa la cantidad de esfuerzo requerida para conservar su funcionamiento normal o para restituirlo después de una falla.
- Mecanismo de falla:** Medio por el cual las fallas ocurren.
- Estandarizar:** Fabricar un producto en serie con arreglo a un estándar o patrón determinado.

RESUMEN

La determinación del tiempo medio entre fallas y la probabilidad de que un activo preste el servicio para el que fue fabricado es una herramienta útil para Concescol con la cual se pretende evaluar la funcionalidad de las estrategias de mantenimiento además de encontrar la relación entre los sistemas de cada activo y sus fallas (mecánico, eléctrico, hidráulico).

Con la determinación de la confiabilidad de los activos se puede formular un plan de acción que se adapte al punto del ciclo de vida en el cual se está desempeñando la máquina y de esta manera, se pueden tomar decisiones para reformular el mantenimiento o la disposición final de los activos.

Los datos a partir de los cuales se realizó el análisis estadístico pertenecían a seis (06) meses de operación del año 2015, donde a partir de listas de chequeo se jerarquizan y clasifican las diferentes causas y modos de fallas de los equipos de pavimentación.

Seleccionando la información más concreta posible con el fin de evitar ambigüedades en los diagnósticos se procede a ubicar estos fallos en la plantilla correspondiente con el fin de calcular los parámetros objetivos como son el tiempo medio entre fallas, el coeficiente de dispersión y la vida característica del activo.

Palabras clave: tiempo medio entre fallas, coeficiente de dispersión, vida característica de un activo, confiabilidad, estrategia de mantenimiento.

1. GESTIÓN DE ACTIVOS ENFOCADO HACIA LA CONFIABILIDAD O DETERMINACIÓN DEL TPEF (TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS EQUIPOS Y/O SISTEMAS).

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La empresa Concescol S.A. fundada en el año 2000, cuenta con equipos de pavimentación con el que se realizan procesos de construcción, rehabilitación, mejoramiento y mantenimiento de vías privadas y públicas. Para la realización de estos proyectos son necesarios equipos especializados en el mantenimiento de vías¹, tales como:

- Compactadores de llantas: Los cuales utilizan llantas suaves como rodillos, apropiados para compactar materiales como suelos arenosos, arcillas, mezclas de grava, suelos estables, concretos y otros productos relacionados, alcanzan una masa de al menos 35 Ton y una carga por rueda de 5 Ton. Se usan para la densificación de todo tipo de capas ya que durante la compactación se consigue un incremento en el efecto de amasado, resultando una superficie más densa y uniforme.
- Finisher o pavimentadora: Es una máquina que distribuye y le da forma al asfalto. El asfalto es puesto en un área determinada como una carretera o un estacionamiento por las pavimentadoras de asfalto, que también terminan la tarea de compactarlo. La mayoría de estos equipos son autopulsados y poseen potencias entre 100 y 250 HP pesando de 9 a 18 Ton.

¹ (Concescol S.A., 2016)

- Fresadora: Utilizada en el mantenimiento de las vías para eliminar salientes o protuberancias de la carretera. También se puede utilizar para triturar los materiales utilizados para la pavimentación de la superficie, los cuales pueden ser reciclados.
- Vibro compactadores: Están compuestos por un cilindro vibratorio liso (con o sin tracción) que actúa como elemento de compactación y dos neumáticos traseros de tracción. Se usan para la compactación de todo tipo de capas de cimiento, teniendo mejor adaptación a la compactación de suelos no cohesivos, donde el efecto de la vibración posibilita una mejor acomodación de los elementos granulares.

Estos activos fueron seleccionados ya que se encuentran dentro de la compañía, y aportan directamente al núcleo del negocio.

Actualmente, se tienen problemas con estanqueidad de los equipos (fugas o derrames de aceite hidráulico), problemas eléctricos y del sistema hidráulico. Los activos cuentan con programas de mantenimiento preventivo según las recomendaciones de cada fabricante, y rutas de inspección pre operacionales, donde el operario de cada máquina observa y reporta condiciones anormales del activo con el fin de realizar mantenimientos correctivos programados y evitar paradas inesperadas.

Así es como se llega a las interrogantes que se ha tenido por parte del departamento de mantenimiento de la compañía, en la cual queremos conocer la probabilidad de falla de los equipos y de sus sistemas correlacionados, los distintos parámetros en los que se categorizaron las mismas. Todo esto, con el fin de realizar una revisión de la estrategia de mantenimiento de la compañía Concescol S.A, mejorando la confiabilidad de los equipos.

2.1. PREGUNTA DE INVESTIGACION

¿Cuál es el tiempo promedio entre fallas (TPEF) de los activos de pavimentación de la compañía Concrecol, y cuál es la condición de operación de los activos?,
¿Cuáles son las causas asociadas a las fallas que afectan la disponibilidad de los equipos?

2.2. SISTEMATIZACIÓN DE PROBLEMA

Evaluar la influencia de las fallas de los sistemas hidráulicos, así como también; con los sistemas eléctricos en los activos de la compañía, recolectando los datos necesarios para correlacionar las diferentes variables y encontrar causas de los valores actuales de disponibilidad de los activos, con la finalidad de mejorar la confiabilidad de los mismos.

Por tanto uno de los interrogantes que nos quedan del anterior cuestionamiento es ¿Como la información que recolectamos de las bases de datos de fallas y formatos de chequeo pre operacionales, nos puede ayudar a construir las planillas de falla para los cálculos correspondientes?

Además de lo anteriormente planteado llegamos al siguiente interrogante, ¿Cuál es la probabilidad que uno de los activos de la compañía falle, cada cuanto puedo esperar una falla de los activos?

Y con los datos de confiabilidad obtenidos ¿De cuál sistema de los activos puedo esperar la menor confiabilidad, en donde debo enfocar los esfuerzos en caso de proponer una nueva estrategia de mantenimiento?

3. OBJETIVOS

3.1. GENERAL

Determinar la confiabilidad o TPEF (tiempo medio entre fallas), en los equipos de pavimentación de la compañía Concrecol con el fin de conocer en que condición de operación se encuentran los activos y cuáles son los sistemas que más afectan la disponibilidad de la flota.

3.2. ESPECIFICOS

1. Analizar el historial de fallas de los equipos, hojas de vida y listas de chequeo para construir las planillas de análisis de fallas.
2. Evaluar la relación de la indisponibilidad de los activos con respecto a los diferentes sistemas de operación (motor, hidráulico, eléctrico), aplicando el software de tratamiento de datos SPSS y de esta forma determinar los puntos o componentes más críticos que influyen en la confiabilidad.
3. Determinar la confiabilidad o el TPEF (tiempo medio entre fallas), de los equipos de pavimentación de la empresa Concrecol aplicando el método de mínimos cuadrados.

4. JUSTIFICACION Y DELIMITACIONES

En la compañía Concrecol se tienen actualmente una cantidad 100 de activos, en su mayoría compuestos por equipos de pavimentación, todos cuentan con un plan de mantenimiento pre-establecido, sin embargo, se han presentado repetidas fallas que incurren en tiempos muertos de producción e incumplimiento para los clientes.

Los sistemas a partir de los cuales se evalúan los problemas son: el sistema eléctrico, el hidráulico, mecánico y estanqueidad de los circuitos en los cuales no

se tiene un modelo o una idea clara de la causa de las fallas, por lo cual, la compañía desea realizar un estudio estadístico a partir del histórico de fallas e inspecciones de los activos. La confiabilidad de los activos en este caso se delimitó por los siguientes parámetros: mantenibilidad de los sistemas y ocurrencia de varadas en operación es decir cantidad de intervenciones correctivas que implicaban remolcar el equipo de su sitio de trabajo o

4.1. DELIMITACION GEOGRAFICA

El análisis realizado se limita a los activos de la planta Concescol, ubicada en la zona minera de Tunjuelo en la ciudad Bogotá,

4.2. DELIMITACION TEMPORAL.

El historial de fallas con el que se trabajará es desde junio de 2015 hasta diciembre de 2015.

5. MARCO CONCEPTUAL

5.1. MARCO TEORICO

La confiabilidad, se define como “la probabilidad de que un componente o equipo no falle estando en servicio durante un periodo determinado”, siendo operado bajo condiciones uniformes o nominales, y por tanto, hace parte de la cotidianidad del mantenimiento garantizando la función de los equipos e instalaciones, de tal modo que permita atender un proceso de producción o servicio con calidad².

La confiabilidad de un equipo o producto puede ser expresada a través de la expresión:

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Donde:

² (Parra Márquez & Crespo Márquez, 2012)

$R(t)$: Confiabilidad de un equipo en un tiempo t dado

e : constante neperiana ($e=2.303..$)

λ : Tasa de fallas (número total de fallas por período de operación).

t : tiempo

También existen otros parámetros como:

Probabilidad de supervivencia $P_s(t)$: Término sinónimo de confiabilidad.

Desconfiabilidad: Es decir la probabilidad de que un equipo fallará en operación durante un período dado de tiempo o bajo un tiempo específico de interés (t).

Si se tiene un equipo sin fallas, se dice que el activo es cien por ciento (100%) confiable, con una probabilidad de supervivencia igual a uno.

Hay dos tipos de análisis de fallas, el análisis técnico de fallas que determina la causa y magnitud de la falla, y el análisis estadístico que estudia la influencia del tiempo en los mecanismos de falla sin tomar en cuenta la causa.

5.1.1. TEORÍA DE FALLAS.

El término falla se refiere a cualquier incidente o condición que cause la degradación de un producto, proceso o material, de tal forma que, ya no pueda realizar la función para la que fue concebido. Las fallas ocurren de manera incierta y son influenciados por el diseño, manufactura o construcción, mantenimiento y operación. No existen formas en que las fallas pueden ser eliminadas del todo, lo único que se puede hacer, es reducir la incidencia de tales fallas dentro de cierto límite de tiempo.

5.1.2. CURVA TÍPICA DE FLUJO DE FALLAS.

Es una curva que representa los diferentes tipos de falla que un equipo o componente sufre durante el periodo de tiempo desde su puesta en operación hasta el fin de su vida útil, ver figura 1.

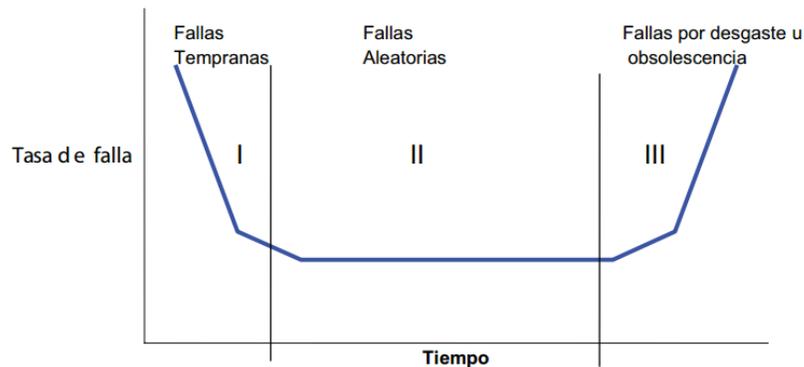


Figura 1 Curva típica de flujo de fallas

- **Fallas tempranas:** Se observan en la primera parte de la curva, se asocian con equipo nuevo y pueden ser causadas por partes faltantes, falta de capacitación en la operación de la máquina o defectos de fabricación.
- **Fallas aleatorias:** Son inesperadas y pueden surgir por sobrecargas o averías, causadas por factores externos que generan las fallas hasta de las piezas mejor construidas.
- **Fallas por desgaste:** Se observa en la tercera parte de la gráfica son fallas debido a obsolescencia, edad, fatiga, corrosión, deterioro mecánico, eléctrico, hidráulico o por bajo nivel de mantenimiento y reparación.

5.1.3. DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL.

Permite estudiar cuál es la distribución de fallos de un componente que se pretenda controlar. El método no determina cuáles son las variables que influyen en la tasa de fallos, pero es útil por su habilidad para simular un amplio rango de distribuciones normal, exponencial, etc.

La versatilidad de dicha función radica en las diferentes formas que adopta dependiendo de los valores que toman sus parámetros. Las implicaciones físicas, teóricas, algebraicas y gráficas son algunos aspectos interesantes que generan y dan lugar a una gran cantidad de trabajos. Los valores extremos de la función de Weibull están ligados a la vida útil de los productos en estudio.

La función Weibull de densidad está dada por

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

β : Parámetro de forma- es indicador del mecanismo de falla.

η : Parámetro de escala- vida característica.

γ : Parámetro de localización- la vida mínima.

La figura 2 muestra el comportamiento de la distribución Weibull para diferentes valores del parámetro de forma β .

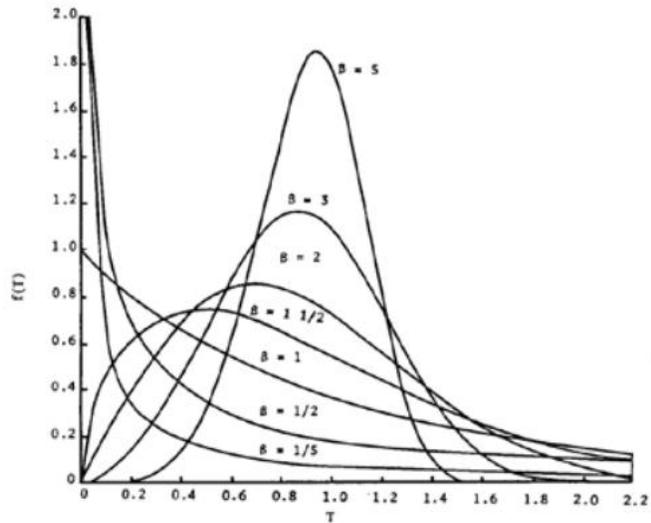


Figura 2. Función de densidad de probabilidad Weibull para varios valores de β .

5.1.4. ESTUDIO DE LOS MECANISMOS DE FALLA EN CADA UNO DE LOS PERIODOS DE VIDA DE UN EQUIPO.

- **Periodo de arranque:** No ha sido descrito matemáticamente.
- **Periodo de operación normal:**

$$p(t) = r(t)e^{-\int_0^t r(t)dt}$$

Este periodo de vida normal se caracteriza por una tasa de fallas constantes:

$$r(t) = r = \text{constante} = 1/MTEF$$

- **Periodo de desgaste:** la tasa de falla $r(t)$ aumenta con el tiempo

El coeficiente de variación es menor que uno, o sea

$$\sigma = MTEF < 1$$

$$r(t) = \frac{B}{V} \left(\frac{t}{V} \right)^{B-1}$$

Donde,

V= vida característica

B= Parámetros de forma

r(x)= Función gamma de x

Algunas características importantes son:

- La distribución es exponencial para B=1.0
- Valores de B>1 representan mecanismos de fallas por desgaste.
- Valores de B<1 representa mecanismos de falla en el período inicial o de arranque.

Una vez caracterizado el mecanismo de fallas de un componente o equipo, el problema se reduce a la definición de una política de mantenimiento, consistente con los objetivos de minimización de costo o maximización de disponibilidades.

Existen tres casos básicos:

- Componentes o equipos que fallan exponencialmente: En ese caso la política óptima de mantenimiento es la de reparar o reemplazar componentes o equipos sólo cuando fallan.

- Componentes o equipos que fallan por desgaste: Es necesario comparar el costo de una reparación o reemplazo prematuro, con el costo de una falla de servicio.
- Sistemas complejos: Equipos formados por muchos componentes y que tienen un mecanismo exponencial de fallas, aun cuando sus componentes fallen por desgaste.

5.2. ESTADO DEL ARTE

Teniendo en cuenta que cada industria tiene sus propias características y son únicas en su forma de operar, se puede hacer una comparación con trabajos similares en otras compañías, siempre y cuando, se tome en cuenta el cambio de contexto dependiendo de la empresa a analizar.

Como primer trabajo análogo al objetivo de este proyecto encontramos el análisis del tiempo medio entre fallas y reparaciones para tecnología de respiradores del hospital universitario fundación Favalaro³, donde se analizan tres (3) grupos de respiradores de marca Siemens, Puritan Bennett y Drager Evita, evaluando doce mil (12000) horas de uso, demostrando cómo el tiempo medio entre fallas de los respiradores más modernos es muy superior respecto los antiguos, sin embargo, el tiempo medio para reparar en los más antiguos es corto debido a su menor complejidad técnica.

La recolección de la información se realizó regresando a condición óptima a los activos con un mantenimiento preventivo general, y luego, haciendo un registro de cada una de las fallas de cada usuario de los respiradores, excluyendo, toda falla generada por mala operación del respirador.

³ (Mesa Grajales, 2006)

Se estandarizó el tiempo de reparación para cada marca de respirador teniendo en cuenta que el personal técnico cuenta con experiencia y formación similar. El análisis adecuado de la información colectada durante la realización de los mantenimientos correctivos, permitió concluir como los equipos de marca Siemens tenían un equilibrio adecuado entre complejidad técnica y confiabilidad debido a su construcción.

También se tiene otro caso, en el que se analiza la confiabilidad o tiempo medio entre fallas en transformadores de distribución, en el cual se utilizan las ecuaciones de Weibull para determinar el periodo de vida de los equipos, en este caso se pudo ubicar cada activo en una categoría diferente, como el periodo de arranque, periodo de operación normal y periodo de desgaste⁴.

El análisis se hizo para cada transformadores de distribución ubicado en los países de Colombia y Venezuela, en los cuales se concluyó como el factor K (vida característica o edad característica) era menor que 1 concluyendo que estos activos se encontraban en una tasa de falla decreciente “conocida como mortalidad infantil”, generando que la confiabilidad de los activos sea muy baja y que la aplicación de los planes de mantenimiento preventivo debe analizarse de forma inmediata, ya que se calculó un TPEF en treinta (30), treinta fallas de equipos en un mes.

En Colombia el factor K fue de 1,28, categorizada como periodo de operación normal, demostrando la efectividad de los programas de mantenimiento preventivo y tomando los factores medioambientales como las variables que afectan la confiabilidad de los transformadores. La finalidad del proyecto muestra cómo el análisis correcto de todas las variables de proceso históricas ayuda a generar

⁴ (Mago, Defendine, Olaya Florez, & Subero, 2014)

información útil para tomar decisiones respecto al mantenimiento de los activos y disminuir su probabilidad de falla.

En el mismo orden de ideas tenemos la gestión de activos físicos centrada en confiabilidad, un artículo generado por Siemens Colombia, donde se muestra la aplicación de la metodología RCAM con el fin de tomar decisiones alrededor de la estrategia de mantenimiento y la restitución de activos, tomando en cuenta factores como salidas de línea, tiempos de operación, tecnológica de los activos, entre otros.

Este análisis tiene por objetivo mantener un equilibrio entre costo vs calidad del servicio, factores de difícil manejo ya que por un lado uno se reflejaba a corto plazo (costo) y el otro a mediano y largo plazo (confiabilidad), dentro del aspecto de calidad de la energía se debe tener en cuenta la calidad del servicio, la confiabilidad del suministro y la calidad de la potencia.

El comportamiento histórico de los activos son la base para obtener los modos de fallas y los datos de confiabilidad, con el fin de generar la descripción matemática de la probabilidad de fallas para el cálculo de confiabilidad y determinar los indicadores adecuados para definir los objetivos del proyecto, el modelamiento probabilístico se basa en los siguientes aspectos: generación de estados de contingencia, donde se consideran los modos de falla, (falla común, mala operación, operación indeseada), análisis de estados de red, modelamiento de procesos de restablecimiento del servicio.

Sin embargo para realizar una colección de datos óptima es necesario seleccionar los parámetros más apropiados para realizar esta labor, como (potencias nominales, demanda de potencia activa, potencia aparente e impedancia de corto circuito), sin la selección apropiada de estas variables el resultado del estudio no sería el ideal para los objetivos del negocio. Además es necesario evaluar la

importancia de otras variables que influyen en la confiabilidad de los activos como los que se observan en la figura 3.

Condition Attribute		Quality		Weight factor	Data Source
Description	Detail	Description	Value		
Age (related to std. service life)		0 - 5 %	5	25	NIS
		5 - 50 %	0		
		50 - 75 %	5		
		75 - 90 %	10		
		90 - 100 %	25		
		> 100 %	35		
Serviceability	Spare parts availability	Very Good	0	10	Expert assessment (per component class)
		Good	1		
		Fair	2		
		Poor	4		
	Availability of skilled staff	Very Good	0		
		Good	1		
		Fair	2		
		Poor	3		
	Cost level	Low	0		
		Normal	1		
High		2			
Ambient Conditions	Indoor/Outdoor	Indoor	0	15	Network topography, local conditions
		Outdoor	5		
	Exposure to pollution	Low	0		
		Normal	1		
		High	3		
	Exposure to atmospheric stresses	Very High	5		
		Low	0		
		Normal	1		
Peak Loading (related to th. capacity)		High	3	15	Calculation
		85 - 95 %	5		
		> 95 %	15		
		Very Good	0		
Operational safety		Good	3	10	Expert assessment
		Fair	10		
		Poor	15		
		Very Good	0		
Operational experience		Good	3	10	Expert assessment (per component class or individual)
		Fair	10		
		Poor	15		
		Very Good	0		
Physical Condition assessment			0 - 15	15	Expert assessment

Figura 3. Evaluación de condición de componente.

Luego de la recolección de datos, estos se ajustan a un modelo exponencial de envejecimiento, que define la forma del componente. Con esto se proyectan a largo plazo, las prácticas más apropiadas para la gestión de activos, utilizando

indicadores tales como: indisponibilidad, frecuencia de interrupción y energía no suministrada.

Con el modelo establecido y la priorización de los activos se generaron tres (3) estrategias, variando la expectativa de vida útil para cada nivel de criticidad, Y generando nuevos parámetros de decisión en el caso de reevaluar la estrategia de mantenimiento o la reposición de un activo.

Por otro lado para López, Eduardo⁵ donde se desea conocer mediante una aplicación estadística en qué etapa de la vida se encuentran los equipos o conjunto de equipos. Todo esto con el fin de re-definir la estrategia de mantenimiento de estos equipos no aplicar mantenimiento preventivo a aquellos que se encuentren en mortalidad infantil y revisar las frecuencias de mantenimiento a aquellos que están en etapa de vida útil, con el fin de obtener ahorros y mejoras en la disponibilidad de los activos.

En este trabajo se demuestra la utilidad del cálculo de las distribuciones estadísticas con Weibull, ya que ayuda a:

- Re formular las políticas de mantenimiento para el futuro.
- Definir programas de mantenimiento más eficientes.
- Estimar el tiempo medio en el que se producirá el siguiente fallo.
- Para un periodo de tiempo estimar la fiabilidad del activo.
- Conocer el parámetro β permite conocer en qué zona de la vida del activo se encuentra, teniendo como referencia que:
 - $\beta < 0.99$ mortalidad infantil, entorno al 20 o al 25%.
 - $0.99 \leq \beta \leq 1.3$ etapa normal, entorno al 50 al 55%.
 - $\beta > 1.3$ etapa de desgaste, entorno al 10 o al 15%.
- Optimización de los costos del departamento de mantenimiento. Ya que se evalúan los intervalos óptimos de mantenimiento preventivo asociado al mínimo coste económico.

⁵ (López, 2012)

- Se puede evaluar el periodo de sustitución de los activos.

Para Vásquez y Osal⁶ los cuales realizaron un análisis de las interrupciones del servicio eléctrico en los sistemas de distribución que son causa de fallas en los componentes de las líneas eléctricas. En ese artículo se determina el índice de importancia, la probabilidad de falla y la confiabilidad en líneas eléctricas de 13.8, 24 y 34.5 Kv, en este documento se evalúan fallas del 2006 al 2008 con un total de fallas analizadas de 969.

Los componentes identificados que afectan la calidad del servicio son aisladores, transformadores de distribución, descargadores de sobretensión, conductores y otros.

En este análisis se identifica como las empresas de distribución de energía eléctrica en Latinoamérica hasta ahora están dando el paso del mantenimiento correctivo al preventivo, en las que se encuentran mantenimiento basado en el tiempo, basado en condición y centrado en la confiabilidad. El análisis realizado se hace para las empresas (CADAFE) y (ENELBAR) ambas venezolanas. La vida promedio de las líneas analizadas es de 30 años.

La metodología que se siguió se pudo determinar desde un inicio el número, duración y causas de las fallas, para luego calcularse el tiempo entre fallas (TEF) y el tiempo medio entre fallas y con el software estadístico Reliasoft Weibull encontraron parámetros que representan la función de la probabilidad de falla.

Del análisis se ha concluido que la cantidad total de falla, entre un 12, 21 y 8%, de este estudio se confirma que los principales elementos que fallan son el conductor, conector y aislador.

⁶ (Vásquez, Osal, Briceño, & Blanco , 2009)

La probabilidad de falla y la confiabilidad de los componentes de líneas aéreas de distribución se realizaron a partir de análisis estadístico de fallas de los componentes. Con el fin de poder obtener los parámetros de la distribución Weibull.

Se utiliza el índice de importancia con la idea de dividir el número de fallas en el sistema causadas por un componente en específico, con el número de fallas del sistema en (0,t).

$$Ip = \frac{n_i}{N}$$

Donde n_i es el número de fallas en el sistema causadas por cada i -componente y N es el total número de fallas en el sistema. La probabilidad de falla tiene diferentes comportamientos según sea el periodo de vida del tiempo de uso del mismo. La confiabilidad representa la probabilidad de no falla de los componentes, y se puede nombrar como un complemento a la probabilidad de falla. Por lo tanto la distribución de Weibull es recomendada para estos casos.

Para determinar el tiempo medio entre fallas se realiza el cálculo basado en las siguientes ecuaciones.

$$TMEF = \frac{\sum_{i=1}^m TEF_i}{m}, \quad \text{con } i = 1, \dots, 7$$

$$Pf(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^\beta}$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^\beta}$$

En este caso $P f_i(t)$ es la probabilidad de falla y $R_i(t)$ es la confiabilidad, donde β es el parámetro de la forma que caracteriza la estructura del tiempo medio entre fallas. El tiempo t_0 es el parámetro de localización y representa el tiempo de aparición de la primera falla o inicio del deterioro del equipo, produciendo que la tasa instantánea de falla se incremente luego de t igual a t_0 . Finalmente η es el parámetro de la escala y representa la vida característica del activo.

t_0	β	Característica
0	< 1	La tasa de fallas disminuye con la edad, sin llegar a cero. Se supone que el componente se encuentra en la etapa de juventud con un margen de seguridad bajo.
	1	La tasa de fallas se mantiene constante, indicando una característica de fallas aleatoria o pseudo-aleatoria. En este caso, la distribución Weibull coincide con la exponencial.
	$1 < \beta < 3,44$	La tasa de fallas se incrementa con la edad de forma continua, lo que indica que las interrupciones comienzan en el momento en que el equipo es puesto en servicio.
	> 3,44	Se cumple que la media es igual a la mediana y la distribución Weibull es sensiblemente igual a la normal .
> 0	< 1	Hay fatiga u otro tipo de desgaste y la tasa de fallas disminuye con el tiempo después de un súbito incremento de t_0 .
	> 1	Hay erosión o desgaste similar al anterior y la constante de duración de la carga disminuye continuamente con su incremento .
< 0	< 1	Hay fatiga u otro tipo de desgaste y la tasa de fallas disminuye con el tiempo después de un súbito incremento de t_0 .
	> 1	Hay erosión o desgaste similar al anterior y la constante de duración de la carga disminuye continuamente con su incremento .

Con el análisis de los resultados se pudo estimar que las fallas totales registradas por las empresas CADAPE y ENELBAR, desde 2006 al 2008, son del 12, 21 y 8% que corresponden a interrupciones temporales a causas de fallas de los componentes de las líneas aéreas en los sistemas de 13.8; 24 y 34.5 kV, Para los casos que se analizaron se demostró que la causa predominante de la suspensión del servicio eléctrico es debida a las fallas en las líneas de transmisión que alimentan a las subestaciones, a la falta de capacidad de generación y por fallas en sus componentes.

Componente	13,8 kV			24 kV		
	Ip	R	Pf	Ip	R	Ip
Conductor	0,39	0,57	0,43	0,39	0,64	0,36
Cortacorriente	0,07	0,49	0,51	0,16	0,29	0,71
Conector	0,24	0,34	0,66	0,3	*	*
Tranformador de distribución	0,02	*	*	0,02	0,39	0,61
Descargador de sobretensión	0,09	0,43	0,57	0,09	*	*
Seccionador	0,03	0,26	0,74	0,03	*	*
Aislador	0,12	0,43	0,54	0,16	0,14	0,86

En el cuadro destaca: Ip=Índice de importancia, R= confiabilidad, Pf= probabilidad de falla.

En todos los casos se concluye que el componente con mayor índice de importancia y probabilidad de falla es el conductor y los conectores los cuales deben ser intervenidos con metodologías de mantenimiento CBM.

También existen diferentes metodologías para analizar la confiabilidad de un sistema⁷, en este artículo se evalúa y simula la confiabilidad de un grupo de 3 bombas, con redundancia de 2/3 por medio del análisis de Markov

La recolección de los datos se realizó en un sistema de tres bombas durante un año encontrando los siguientes resultados:

$$\begin{aligned} \lambda_{B1} &= 3 \text{ Fallas / año} & \text{TPPR}_{B1} &= 2 \text{ Semanas} \\ \lambda_{B2} &= 4.1 \text{ Fallas / año} & \text{TPPR}_{B2} &= 1.8 \text{ Semana:} \\ \lambda_{B3} &= 3.6 \text{ Fallas / año} & \text{TPPR}_{B3} &= 2.3 \text{ Semanas} \\ \lambda_{\text{FALLACOMUN}} &= 0.5 \text{ Fallas / año} \\ \text{TPPR}_{\text{FALLACOMUN}} &= 4 \text{ Semanas} \end{aligned}$$

Se toma sistema de las tres bombas como un sistema paralelo, donde solo son necesarios 2 de las tres para que el sistema cumpla con 100% de sus función de

⁷ (Casanova, 2009)

diseño. La confiabilidad de que sigan funcionando dos bombas de tres, la respuesta de cada una variable utilizadas se han agrupado en funcional, degradado y no funcional, con el fin poder hacer cortes el cualquier tiempo “t” y la suma de probabilidades de cada una de las variables de ser igual a 1.

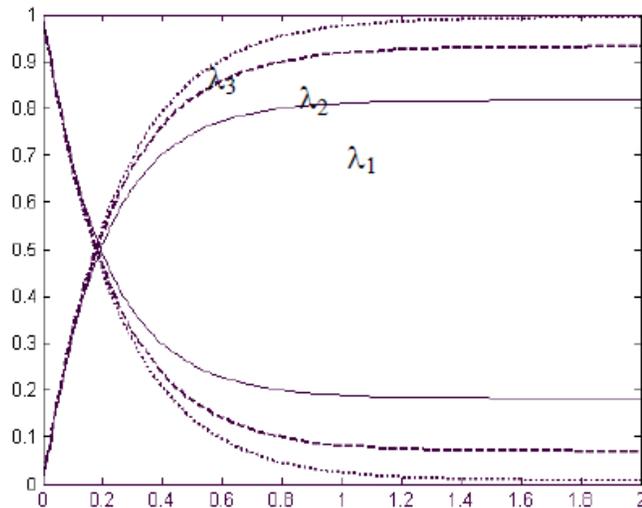


Figura 4 Sistema de dos estados con frecuencia de fallas en disminución progresiva

En la Figura 4 se observa como modificando la frecuencia de falla λ se aumenta las probabilidades de que el sistema permanezca en el estado funcional también se observa si aumenta λ sirve para predecir fallas, de tal manera de que se use en la corrección, con acciones de mantenimiento preventivo esto con el fin mejorar la confiabilidad.

Además de los métodos antes mencionados también podemos encontrar una estimación de la confiabilidad-disponibilidad-mantenibilidad mediante una simulación tipo Monte Carlo⁸ para sistema de compresión de gas amargo de una plataforma costa fuera, a partir de las tasas de fallas de los equipos mecánicos e

⁸ (Melo Gonzales, Lara Hernandez, & Jacobo Gordillo, 2009)

instrumentos, con el fin evaluar el desempeño operativo de los compresores de tres etapas, de $7.54 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (230 MMPCSD) cada uno.

Las tasas de falla y de reparación se simularon con Monte Carlo los diagramas de bloque de confiabilidad de los casos base que corresponden al contexto actual de operación, se realizaron 100000 simulaciones Monte Carlo para cada uno de los casos analizados, la disponibilidad del sistema se estabiliza en un valor de 99.9656%, el tiempo de simulación se realizó en 331 segundos con el fin de considerar un tiempo de operación de 8760 horas equivalentes al mantenimiento preventivo anual por lo encontramos los siguientes resultados

<i>Descripción general del sistema</i>		
General		-
	Disponibilidad media (Todos los eventos):	0.999565
	Desviación estándar	0.001214
	Disponibilidad media (Sin MP e inspección):	0.999565
	Disponibilidad puntal (Todos los eventos) a 8760:	0.99948
	Confiabilidad a 8760:	0.65734
	Número esperado de fallas	0.43636
	MTTF:	20889.7393
Tiempo operando/Fuera de operación del sistema		-
	Tiempo operando	8756.18575
	Tiempo fuera por mantenimiento correctivo:	3.814246
	Tiempo de inspección	0
	Tiempo fuera por mantenimiento preventivo	0
	Tiempo fuera total	3.814246
Eventos que sacan de operación al sistema		-
	Número de fallas	0.43636
	Número de mantenimientos correctivos	0.43636
	Número de inspecciones	0
	Número de mantenimientos preventivos	0
	Totales de eventos	0.43636
Costos		-
	Costo total	0
Rendimiento		-
	Rendimiento total	50316.944

Se puede observar que este tipo sistemas operará en modo degradado; es decir, con un solo tren de compresión alrededor de 261 horas acumuladas en un año, dado que el otro tren estará en estado de falla, la mantenibilidad arroja que el tiempo promedio de mantenimiento correctivo es 28.4, se espera que para el 7% de las fallas que presente el sistema se requieran de dos a siete días para restablecerlo a un estado operativo y el 3% de las fallas restantes requerirá más de una semana para reparar.

Este tipo técnicas busca tener una visión general de las fallas y sus tiempos de reparación con el fin poder planear un *stock* de refacciones para los modos de falla más críticos, tareas de mantenimiento preventivo, basados en las condiciones y/o detecciones utilizando un mantenimiento centrado en confiabilidad.

Por otro lado, tenemos la confiabilidad de plantas de generación, se presenta una metodología para calcular la confiabilidad de componentes, sistemas y unidades de generación, así como el alcance de un sistema computacional para evaluar dicha confiabilidad.

En la actualidad, el análisis de confiabilidad se está utilizando en las plantas termoeléctricas y plantas petroquímicas, entre otras, para pronosticar posibles problemas en los sistemas que las conforman, así como para mejorar su funcionamiento, contribuyendo en la programación del mantenimiento preventivo de los componentes y sistemas que integran dichas plantas.

La confiabilidad de componentes se puede calcular por modelos exponenciales y weibull, En este modelo⁹, se supone que la unidad generadora se encuentra en su vida útil. Calculados estos valores por componente, se evalúa el sistema completo usando los sistemas series y paralelos, para el cálculo de la confiabilidad total de planta.

Los datos necesarios para calcular el tiempo real de operación son las horas del periodo, las horas equivalentes que la unidad esta fuera de servicio por fallas, las horas equivalentes que la unidad esta fuera de servicio por mantenimiento programado, las horas equivalentes fuera de servicio por mantenimiento excedidas, las horas equivalentes fuera de servicio por causas externas, el número de mantenimientos excedidos y el número de fallas, en función de los cuales se calcula la confiabilidad de una unidad generadora.

En otro artículo del mismo autor titulado como: Impacto de la confiabilidad conseguida desde la construcción y commissioning, mostrara el impacto que

⁹ (Murillo, 2012)

puede conseguir la confiabilidad en seguridad y disponibilidad desde la ingeniería, compras, construcción y finalmente puesta en marcha del proyecto. Se ha demostrado que la gran mayoría de fallas y catástrofes nacen desde el mismo momento en que se realiza la ingeniería, construcción y puesta en marcha de los equipos.

En los análisis RCA una de las causas latentes es “Ingeniería y Diseño” como causa raíz de la falla, esto incluye fallas por diseño técnico inadecuado, estándares de ingeniería y monitoreo inadecuado en construcción, entre otras.

Fallas en Construcción e Ingeniería: Caso Histórico en Termoeléctrica. Durante la construcción de una termoeléctrica de 750 Mws se presentaron durante el arranque fallas que afectaron la confiabilidad de la turbina que estaba vendida para un 99% de confiabilidad.

Fallas desde la Construcción: Caso Histórico Oil and Gas, Una PSV fue reinstalada después de ser calibrada; cuando se realizaron las pruebas funcionales de commissioning de la bomba asociada con este equipo, la presión en este sistema aumentó y el Gasket en la entrada de la PSV falla, produciendo una fuga de gas.

Fallas en Pre-Commissioning de Cables: Caso Histórico Minería

En las revisiones de precomisioning de los arrancadores de motores de 3.45 kv se observa cable de potencia [1/0 AWG] flojo, se retiró la cinta aislante y se encontró sin ponchar en el terminal, se revisaron los restantes cables y se hallaron 3 más en las mismas condiciones. En el transformador de 10 MVA se encontró con bajo torque cable en el lado de alta tensión (23 kv), también se encontraron flojos cables de las conexiones de las protecciones y suelto un cable del aislamiento de la conexión al cubículo de 23 kv dentro de la subestación. En el MCC de la subestación se encontraron flojos los cables del transformador del tablero de alumbrado y una conexión de la protección del MCC.

Si estas condiciones no se hubieran detectado; durante la energización, estas fallas encontradas hubieran desencadenado serios problemas en los equipos, daños catastróficos, riesgo en la operación y baja confiabilidad de la planta.

Incremento de la confiabilidad y seguridad desde la ingeniería y construcción Para nuevas facilidades y en operación, la industria de la construcción ha adoptado nuevos requerimientos de seguridad recomendados por la OSHA (Occupational Safety and Health Administration), otra compañías han diseñado sus propios criterios y guías de diseño, fabricación y construcción de nuevas facilidades o modificaciones en las existentes para incorporar más seguridad y confiabilidad durante su operación.

6. TIPO DE INVESTIGACION.

Tipo de investigación	Características
<ul style="list-style-type: none"> • Histórica 	<p>Analiza eventos del pasado y busca relacionarlos con otros del presente.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Documental 	<p>Analiza la información escrita sobre el tema objeto de estudio.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Descriptiva 	<p>Reseña rasgos, cualidades o atributos de la población objeto de estudio.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Correlacional 	<p>Mide grado de relación entre variables de la población estudiada.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Explicativa 	<p>Da razones del porqué de los fenómenos</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Estudios de caso 	<p>Analiza una unidad específica de un universo poblacional</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Seccional 	<p>Recoge información del objeto de estudio en oportunidad única</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Longitudinal 	<p>Compara datos obtenidos en diferentes oportunidades o momentos de una misma población con el propósito de evaluar cambios.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Experimental 	<p>Analiza el efecto producido por la acción o manipulación de una o más</p>

	variables independientes sobre una o varias dependientes.
--	---

7. MARCO METODOLOGICO

7.1. RECOLECCION DE DATOS

El estudio será dirigido hacia los siguientes activos: Fresadoras.

MAQUINA	FRESADORA WIRTGEN W150	
CÓDIGO	FR-005	
		
DESCRIPCIÓN DE LA MAQUINA		
PROPIEDAD	CONCRESCOL	
MODELO	2010	
SERIAL	0513 0147	
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		
Peso de operación sin carga	16700 Kilogramos	
DIMENSIONES DE LA MAQUINA		
Longitud total	12950 mm	
Ancho total delantero	2450 mm	
Altura incluyendo ROPS	6450 mm	
Altura hasta el volante	2900 mm	
Distancia entre ejes	3900 mm	
Ups libre del suelo	710 mm	

- Vibro compactadores.

MAQUINA	VIBROCOMPACTADOR HAMM HD 90	
CODIGO	VC-008	
		
DESCRIPCION DE LA MAQUINA		
PROPIEDAD	CONCRESCOL	
MODELO	2010	
SERIAL	H1811831	
CARACTERISTICAS TECNICAS		
PESO EMBARQUE	8145 KILOGRAMOS	
PESO DE OPERACIÓN	9180 KILOGRAMOS	

- Compactadores de llantas.

MAQUINA	COMPACTADOR DE LLANTAS HAMM GRW15	
CODIGO	CL-006	
		
DESCRIPCION DE LA MAQUINA		
PROPIEDAD	CONCRESCOL	
MODELO	2008	
SERIAL	901A22202423	
CARACTERISTICAS TECNICAS		
Peso de embarque	10985 Kilogramos	
Peso de operación sin carga	11680 Kilogramos	
Peso de operación con lastre de arena	24000 Kilogramos	
DIMENSIONES DE LA MAQUINA		
Longitud total	186.8" in. - 4745 mm	
Ancho total delantero	80.5" in. - 2045 mm	
Ancho total trasero	68.7" in. - 1744 mm	
Altura incluyendo ROPS	132" in. - 3355 mm	
Altura hasta el volante	65.7" in. - 1670 mm	
Distancia entre ejes	141,5" in. - 3595 mm	
Ups libre del suelo	13" in. - 330 mm	
Ancho de compactación	68.7" in. - 1744 mm	
Traslapo de neumático	0.25 in. - 6 mm	

- Pavimentadoras:

MAQUINA	PAVIMENTADORA ROADTEC RP-180-10 SERIE 290	
CÓDIGO	EA-005	
		
DESCRIPCIÓN DE LA MAQUINA		
PROPIEDAD	CONCRESCOL	
MODELO	2001	
SERIAL	290	
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		
Peso de operación sin carga	16170 Kilogramos	
DIMENSIONES DE LA MAQUINA		
Longitud total	6783 mm	
Ancho total delantero	3327 mm	
Altura menos tubo de escape	2769 mm	
Distancia entre ejes	2540 mm	
Ups libre del suelo	150 mm	

Los cuales tienen un dato histórico de 10 meses con inspecciones pre-operacionales diarios.

Los datos de fallas se recolectan en documentos tipo check list como el que se muestra a continuación.

SISTEMA GESTIÓN HSE	INSPECCIÓN PREOPERACIONAL DE VEHICULOS Y MAQUINARIA												F 7.1																			
													Versión 1																			
													5/3/2013																			
Operador:	Equipo:						Periodo:			dd	mm	aa																				
Encargado de Obra:	Obra:									dd	mm	aa																				
CONDICIONES GENERALES												Día:			Día:			Día:			Día:			Día:			Día:					
												B	M	NA	B	M	NA	B	M	NA	B	M	NA	B	M	NA	B	M	NA	B	M	NA
MOTOR																																
Sistema de Refrigeración (Fugas)																																
Fugas de Lubricantes (Sellos y Empaques)																																
Fugas de Combustible (Mangueras, Acoples)																																
Correas (Compresor, Hidráulico)																																
Nivel de Lubricante																																
TRANSMISIÓN Y DIFERENCIAL																																
Ruido en transmisión																																
Ruidos en el Diferencial																																
Fugas Transmisión (Sellos y Empaquetaduras)																																
Fugas Diferencial (Sellos y Empaquetaduras)																																
Nivel de aceite																																
SISTEMA DE FRENOS																																
Fugas (Tubería, Mangueras, Acoples)																																
Bomba (Revisión de fugas y Funcionamiento)																																
Mandos de Emergencia (Rev. Funcionamiento)																																
SISTEMA ELECTRICO																																
Estado general de la batería																																
Luces delanteras (Focos y Direccionales)																																

Baliza y/o Banderolas																				
Motor de arranque																				
Alternador																				
Pito estándar																				
Pito de Reversa																				
SISTEMA DE REFRIGERACIÓN																				
Radiador																				
Fugas (Mangueras, Radiador, Tanque)																				
Nivel de refrigerante																				
CABINA																				
Estado general de asientos																				
Limpieza general																				
Instrumentos de control																				
Vidrios																				
Puertas																				
ELEMENTOS DE SEGURIDAD																				
Extintor Vencimiento:																				
Botiquín Vencimiento:																				
Cinturones de seguridad																				
Limpia parabrisas																				
Espejos retrovisores																				
Luces externas de carrocería																				
Soat Vencimiento:																				
Tecnomecanica Vencimiento:																				
Cintas señalizadoras reflectivas																				
EQUIPO DE TRABAJO																				
Bases, portapuntas, puntas, bandas y cadenas																				
Rodillos, cauchos y sistema de riego																				

7.2. PROPUESTA DE SOLUCION.

- A partir de los datos colectados de los check list (listas de chequeo) se clasifica la información de acuerdo a los sistemas mantenibles del activo con el fin de organizar esta información sobre el tiempo entre fallas en orden ascendente en una planilla de Excel donde se realizarán los cálculos correspondientes.
- Se enumerarán los valores observados de 1 en adelante (número de orden n). En el caso de dos observaciones con el mismo valor, se debe calcular medida geométrica de los números de orden igual.
- La probabilidad de falla se calcula de la manera siguiente

$$P_f(t) = \frac{n}{N + 1}$$

n= No de orden de la observación

N= No total de observaciones

- Se diseña la planilla de análisis de fallas para determinar la probabilidad de supervivencia: $P_s = 1 - P_F$.
- Luego, utilizando el método de mínimos cuadrados y la función de sobrevivencia se pueden estimar los valores teóricos de V (coeficiente de dispersión) y K (vida característica o edad característica).
- Además de lo anterior, se realizarán análisis de los datos en el programa SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), con el fin de realizar de correlacionar variables con mayor facilidad determinando causas probables.

7.3. ANALISIS DE DATOS

El estudio se realizó con dieciséis activos los cuales se dividieron en cuatro grupos cada uno compuesto de cuatro activos, a los cuales se realizó el cálculo de confiabilidad y tiempo medio entre fallas (TPEF) con el método de mínimos cuadrados con el fin de encontrar en condición se encuentra el activo.

Se utilizó los datos obtenidos en los periodos comprendidos entre Enero a Octubre de 2015 al cual se le aplicó el método de mínimos cuadrados con el fin de conseguir los valores V que correspondan a la vida característica o edad característica y el factor K para hallar la condición de operación de los activos

$$V = 0,4357$$

La vida característica de cada equipo es de $V = 0,4357$ con este valor se puede calcular el factor K y la curva de confiabilidad

$$K = 1,967$$

Como el valor de K es cercano a 2 esto me indica que los activos se encuentran en una condición de obsolescencia

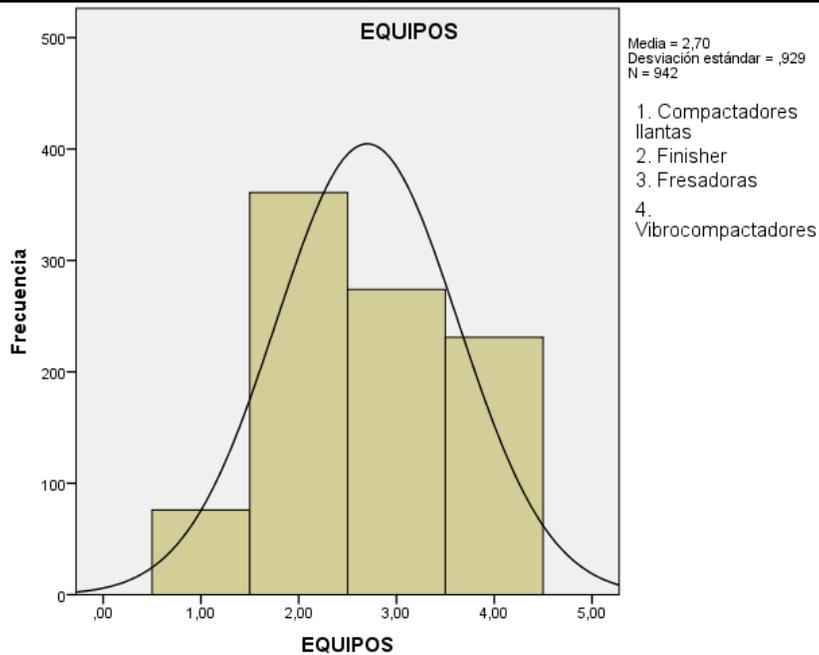
Realizando el cálculo de TPEF o MTEF

$$TPEF = 0,65$$

Adicionalmente se utilizó un análisis estadístico con el programa SPSS esto con el fin de identificar cual grupo de activos presentan más fallas y de cada activo en que sistema se está evidenciado más fallas con el fin de poder realizar entrar a evaluar cual sería la estrategia más óptima de mantenimiento y las respectivas estrategias para mitigar las numero fallas.

EQUIPOS

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	compactador llantas	76	8,1	8,1	8,1
	Finisher	361	38,3	38,3	46,4
	Fresadora	274	29,1	29,1	75,5
	vibrocompactadores	231	24,5	24,5	100,0
	Total	942	100,0	100,0	



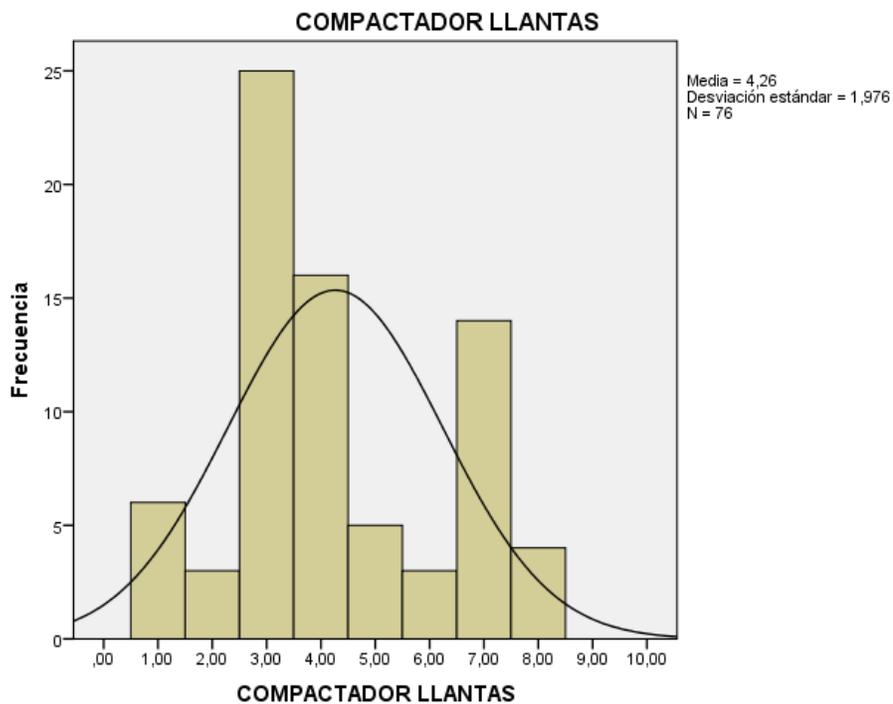
La tabla de frecuencias anterior muestra el porcentaje de incidencia de cada grupo de activos encontrando que los grupos más críticos son la finisher 38,3 %, fresadoras 29,1 % y Vibrocompactadores 24,5 %

Se va realiza el análisis por grupo con el fin saber que sistemas están incidiendo más fallas.

COMPACTADOR LLANTAS

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Cabina (1)	6	,6	7,9	7,9
	Motor (2)	3	,3	3,9	11,8
	Sistema eléctrico (3)	25	2,7	32,9	44,7

	Sistema hidráulico (4)	16	1,7	21,1	65,8
	Transmisión (5)	5	,5	6,6	72,4
	Bastidor (6)	3	,3	3,9	76,3
	Estanqueidad (7)	14	1,5	18,4	94,7
	Llantas (8)	4	,4	5,3	100,0
	Total	76	8,1	100,0	
Perdidos	Sistema	866	91,9		
Total		942	100,0		

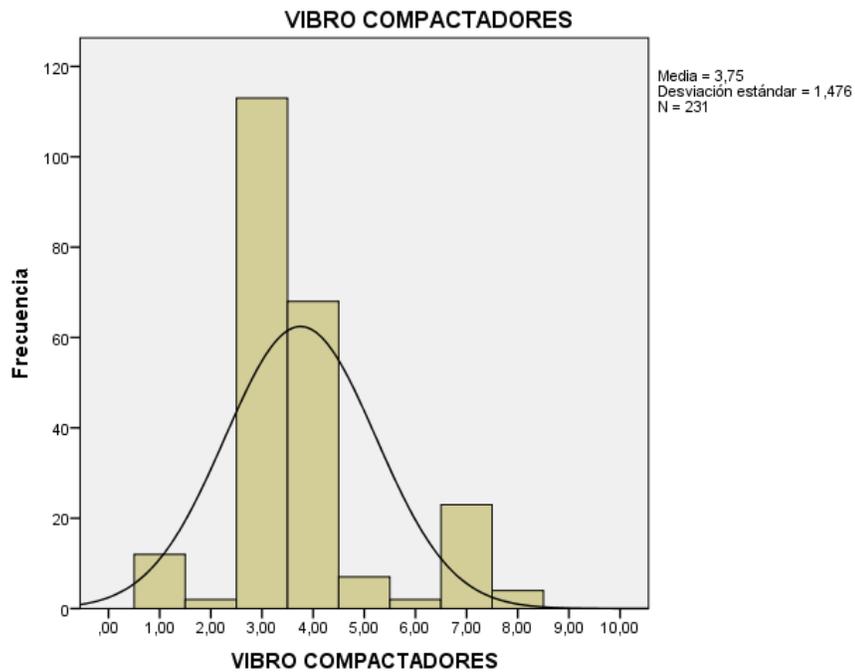


Como se observa en las gráficas y tabla los sistemas que presenta más fallas son sistema eléctrico 32,9%, sistema hidráulico 21,1 % y estanqueidad 18,4%.

VIBRO COMPACTADORES

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Cabina (1)	12	1,3	5,2	5,2
	Motor (2)	2	,2	,9	6,1
	Sistema eléctrico (3)	113	12,0	48,9	55,0

	Sistema hidráulico (4)	68	7,2	29,4	84,4
	Transmisión (5)	7	,7	3,0	87,4
	Bastidor (6)	2	,2	,9	88,3
	Estanqueidad (7)	23	2,4	10,0	98,3
	Rodillos (8)	4	,4	1,7	100,0
	Total	231	24,5	100,0	
Perdidos	Sistema	711	75,5		
Total		942	100,0		

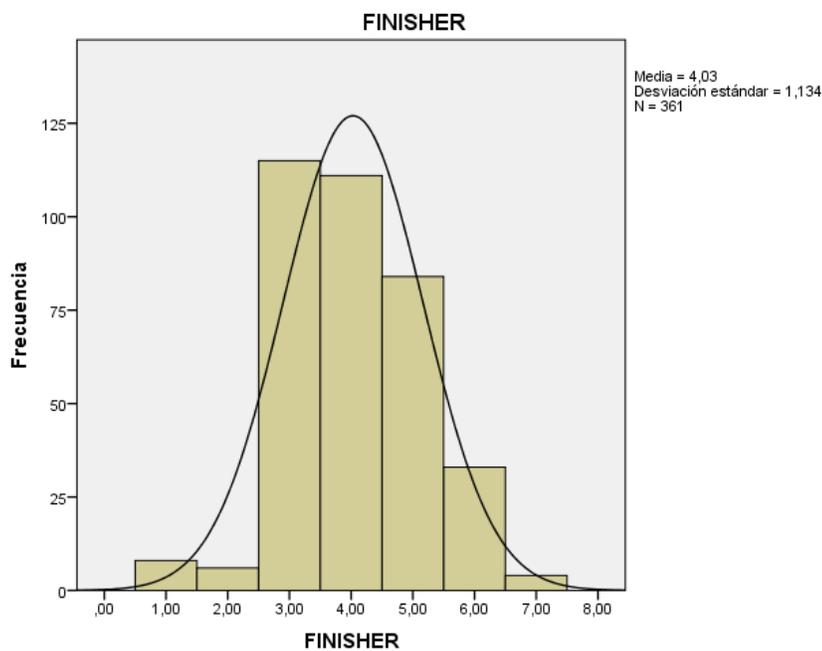


Como se observar en las gráfica y tabla los sistemas que presenta más fallas son sistema eléctrico 48,9 %, sistema hidráulico 29,4 % y estanqueidad 10%

FINISHER

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Cabina	8	,8	2,2	2,2
	Motor	6	,6	1,7	3,9
	Sistema eléctrico	115	12,2	31,9	35,7
	Sistema hidráulico	111	11,8	30,7	66,5
	Equipo trabajo	84	8,9	23,3	89,8

	Estanqueidad	33	3,5	9,1	98,9
	Llantas	4	,4	1,1	100,0
	Total	361	38,3	100,0	
Perdidos	Sistema	581	61,7		
Total		942	100,0		



Como se observa en la gráfica y tabla los sistemas que presentan más fallas son el sistema eléctrico 31,9 %, el sistema hidráulico 30,7 % y el equipo de trabajo 23,3 %

FRESADORAS

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Cabina	5	,5	1,8	1,8
	Motor	5	,5	1,8	3,6
	Sistema eléctrico	97	10,3	35,4	39,1

	Sistema hidráulico	100	10,6	36,5	75,5
	Equipo trabajo	45	4,8	16,4	92,0
	Sistema propulsión	5	,5	1,8	93,8
	Estanqueidad	14	1,5	5,1	98,9
	Llantas	3	,3	1,1	100,0
	Total	274	29,1	100,0	
Perdidos	Sistema	668	70,9		
Total		942	100,0		

Como se observar en las gráfica y tabla los sistemas que presenta más fallas son sistema eléctrico 35,4 %, sistema hidráulico 36,5 % y equipo trabajo 16,4 %.

8. FUENTES DE OBTENCIÓN DE LA INFORMACION.

8.1. FUENTES PRIMARIAS.

La fuente de información para la obtención de datos de confiabilidad se centra principalmente en los check list de los mantenimientos preventivos y correctivos que se realizan a los activos.

Aunque la información consignada en los check list no está completamente diligenciada y por tanto es necesaria complementar estos datos con la experiencia y los conocimientos que tienen los técnicos de mantenimiento de los equipos.

8.2. FUENTES SECUNDARIAS.

Con el fin de tener un análisis más objetivo de los datos se toma como fuente bibliográfica la información de mantenimiento preventivo y solución de fallas sugeridas en los manuales de operación, servicio y mantenimiento.

9. ANALISIS FINANCIERO

No.	Nombres y apellidos	Profesión	Dedicación semanal	Duración
1	Cristian Cerquera	Ingeniero Mecánico	12 hr	6 meses
2	Julio Barrantes	Ingeniero Mecánico	12 hr	6 meses
3	María Gabriela Mago	Ingeniero Mecánico	6 hr	6 meses

RUBROS	FUENTES			
	ECCI*	Contrapartida 1**	Contrapartida 2**	Total
PERSONAL	\$ 7.200.000,00	\$ 2.000.000,00	\$ 2.000.000,00	\$ 11.200.000,00
EQUIPOS		\$ 30.000,00	\$ 30.000,00	\$ 60.000,00
SOFTWARE				
MATERIALES Y SUMINISTROS		\$ 50.000,00	\$ 50.000,00	\$ 100.000,00
SALIDAS DE CAMPO				
SERVICIOS TÉCNICOS				
VIAJES		\$ 400.000,00	\$ 400.000,00	
BIBLIOGRAFÍA				
TOTAL	\$ 7.200.000,00	\$ 2.480.000,00	\$ 2.480.000,00	\$ 11.360.000,00

CALCULO ROI

Se va a calcular el ROI para cada equipo a continuación se muestra en la tabla las condiciones mínimas de alquiler de cada equipo y la facturación mensual mínima de cada activo que en el caso del cálculo del retorno sobre la inversión serían los beneficios que se pueden conseguir en caso de mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los activos.

EQUIPO	Precio alquiler/m3	Stand by/mensual	facturación mínima mensual
Fresadora	\$ 36.000,00 /m3	1000,00 /m3	\$ 36.000.000,00
Finisher	\$ 11.000,00 /m3	1000,00 /m3	\$ 11.000.000,00
Compactador llantas	\$ 5.500,00 /m3	1000,00 /m3	\$ 5.500.000,00
Vibro compactador	\$ 5.500,00 /m3	1000,00 /m3	\$ 5.500.000,00

En la siguiente tabla observamos el costo de cada activo por metro cubico, la inversión de cada equipo y perdida de producción de un equipo por día. Al igual que en la tabla anterior en este caso se relacionan las perdidas por la no disponibilidad del activo.

EQUIPO	Costo/m3	Inversión	Perdida día
Fresadora	\$ 33.277,04 /m3	\$ 900.000.000,00	\$ 1.800.000,00
Finisher	\$ 6.677,06 /m3	\$ 250.000.000,00	\$ 550.000,00
Compactador llantas	\$ 4.029,96 /m3	\$ 130.000.000,00	\$ 275.000,00
Vibro compactador	\$ 4.763,29 /m3	\$ 130.000.000,00	\$ 275.000,00

Como el TPEF nos dio que al menos un equipo falla una vez al mes calculamos el ROI para cada activo

EQUIPO	COSTO TPEF	Inversión	ROI
Fresadora	\$ 1.800.000,00	\$ 900.000.000,00	-0,20%
Finisher	\$ 550.000,00	\$ 250.000.000,00	-0,22%
Compactador llantas	\$ 275.000,00	\$ 130.000.000,00	-0,21%
Vibro compactador	\$ 275.000,00	\$ 130.000.000,00	-0,21%
EQUIPOS	\$ 2.900.000,00	\$ 1.410.000.000,00	-0,21%

Del resultado obtenido se puede observar como una falla mensual en un activo nos genera una pérdida del alrededor del 0,2% del valor total del activo, y por tanto seria el monto económico que podríamos reducir en caso de aplicar un cambio en la estrategia de mantenimiento de la compañía.

10. CONCLUSIONES

- Los activos se encuentran en periodo de obsolescencia según los cálculos realizados en la planilla de análisis de fallas ya que el factor $K=1,9$, este valor se refleja en los costos de mantenimiento que son muy elevados y que con el pasar del tiempo aumentan de forma exponencial, según el análisis estadístico de correlación realmente los activos que se encuentran en periodo de obsolescencia son los Finisher, Fresadoras y vibro

compactadores que efectivamente son los activos con mayor régimen de trabajo y más antigüedad en la compañía.

- Las fallas más comunes en los activos son el sistema hidráulico, sistema eléctrico y estanqueidad, observados en las gráficas de distribución generadas en el sistema SPSS.

Recomendaciones:

- Según los resultados obtenidos es conveniente reponer los activos que están en periodo de obsolescencia y aprovechar su valor remanente para adquirir los nuevos activos. Haciendo uso de un análisis del costo del ciclo de vida para comparar la viabilidad de estos reemplazos.
- Dado el caso que sea rentable mantener los activos el primer paso a seguir es realizar un reacondicionamiento completo “Overhaul”, de los sistemas eléctrico e hidráulico.
- Con el resultado del tiempo medio entre fallas obtenido es recomendable cambiar el enfoque realizando mantenimientos basados en condición, inspecciones, mantenimiento predictivo y mantenimiento autónomo. Con esto podemos disminuir costos de manutención por mantenimiento reactivo y cambiando la estrategia de los preventivos re calculando las frecuencias de intervención.

11. BIBLIOGRAFIA

- Casanova, C. (2009). Evaluación de confiabilidad de un grupo de 3 bombas con cadena de Markov. *Revista Colombiana de tecnologías de avanzada*, 119-123.
- Concrescol S.A. (18 de febrero de 2016). *Concretos Asfálticos de Colombia S.A.* Obtenido de Concretos Asfálticos de Colombia S.A.: <http://www.concrescol.com/>
- Hernández Prieto, J. S. (2012). *Propuesta de utilización de RCM, como herramienta para aumentar confiabilidad/disponibilidad en buses articulados del sistema Transmilenio*. Bogotá: Escuela Colombiana de carreras industriales.
- IBM. (2011). *Manual del usuario del sistema básico de IBM SPSS Statistics 20*. GSA ADP Schedule Contract.
- Lopez Camelo, A. (2011). *Análisis de confiabilidad a las bombas principales de inyección de agua para la extracción de crudo por medio de la distribución de Weibull en campo San Francisco de Hocol S.A.* Bogotá: Escuela Colombiana de Carreras Industriales.
- López, E. R. (2012). *Estudio de mejora del mantenimiento mediante la aplicación de la distribución de Weibull a un historico de fallos*. España: Fundacion UNED.
- Mago, M. G., Defendine, L., Olaya Florez, J. J., & Subero, D. (2014). Determinación de la confiabilidad o tiempo promedio entre fallas (TPEF) en transformadores de distribución. *Revista Ingeniería UC*, 5.
- Melo Gonzales, R., Lara Hernandez, C., & Jacobo Gordillo, F. (2009). Estimación de la confiabilidad-disponibilidad-mantenibilidad mediante una simulación tipo Monte Carlo de un sistema de compresión de gas amargo durante la etapa de ingeniería. *Tecnol*, 93-104.

- Mesa Grajales, D. (2006). La confiabilidad, La disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas moderna aplicadas al mantenimiento. *Scientia et Technica No. 30*, 6.
- Murillo, W. (2012). Confiabilidad de plantas de generacion. *RCM ingenieria*, 10-15.
- Pardo Garzón, M. E. (2012). *Estudio del análisis de modo y efectos de fallas para un equipo de work over de la empresa discovery energy service colombia s.a.* Bogotá: Escuela Colombiana de Carreras Industriales.
- Parra Márquez, C. A., & Crespo Márquez, A. (2012). *Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos.* Sevilla, España: Ingeman.
- Rodelo Rueda, C., & Rondón Almeida, D. (2010). Gestión de activos centrada en confiabilidad. Estudio de caso. *Revista CIER No. 57*, 11.
- Vásquez, C., Osal, W., Briceño, F., & Blanco , C. (2009). Índice de importancia, probabilidad de falla y confiabilidad de los componentes de las líneas áreas de distribución. *Publicaciones en Ciencias y Tecnología Vol 3*, 9.