

ANÁLISIS EMPÍRICO DE FALLAS PARA EL DESARROLLO DE MODELOS
ESTADÍSTICOS APLICADOS A UNA FLOTA DE CARGADORES DE
RUEDAS CAT 988H

CHRISTIAN CAMILO CHAPARRO TÉLLEZ
GILBERTO JULIO MERLANO TORRES

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA MECÁNICA
BARRANQUILLA, COLOMBIA

2012

ANÁLISIS EMPÍRICO DE FALLAS PARA EL DESARROLLO DE MODELOS
ESTADÍSTICOS APLICADOS A UNA FLOTA DE CARGADORES DE
RUEDAS CAT 988H

CHRISTIAN CAMILO CHAPARRO TÉLLEZ
GILBERTO JULIO MERLANO TORRES

Monografía De Grado De La Línea Gestión De Mantenimiento Presentada
Como Requisito Parcial Para Optar El Título De Ingeniero Mecánico

Director Disciplinario
Antonio Manuel Saltarín Jiménez
Ingeniero Mecánico

Director Metodológico
Franz Quesada
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BARRANQUILLA

2012

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Barranquilla, 19 de Noviembre del 2012

AGRADECIMIENTOS

Se quiso tomar este espacio en el proyecto de grado para expresar mi más profundo y sincero agradecimiento ante todo a Dios, que sin el nada de esto fuera posible y a todas aquellas personas que me rodearon con su apoyo gracias a su ayuda hicieron posible la realización del presente trabajo, al Ingeniero Antonio Saltarín Jiménez, asesor disciplinario, por la orientación, el seguimiento, control y supervisión continúa de la misma.

Este esfuerzo es de todas aquellas personas que estuvieron a mi lado corrigiendo, leyendo, opinando con paciencia para que mi trabajo se llevara a cabo de la mejor manera, para esos que siempre tenían una voz de aliento en los momentos difíciles. A todos mis compañeros de clases lo cuales estuvieron y compartieron por cinco años a mi lado.

Este triunfo se lo agradezco sobre todo a mis familiares padre, madre y hermanos que a pesar de la distancia siempre estuvieron apoyándome, esa motivación y ese apoyo recibido a lo largo de toda la carrera fueron las que al final me dieron fuerzas para realizar mi proyecto de grado.

Gracias a todos.

Gilberto Julio Merlano Torres

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo y antes que nada gracias a Dios, por estar conmigo en cada paso que he dado, por darme la fuerza y el coraje para hacer este trabajo realidad.

Dedico este triunfo en especial a mis padres JOSÉ DAVID CHAPARRO y FLOR ÁNGELA TÉLLEZ, familia y amigos que estuvieron allí apoyándome para lograr una de mis metas que es graduarme de Ingeniero Mecánico y continuar en mi vida profesional.

A mi tutor el Ingeniero Mecánico ANTONIO MANUEL SALTARÍN JIMENEZ por ser parte fundamental al guiarnos en este proceso arduo y complejo.

Christian Camilo Chaparro Téllez

CONTENIDO

	pág.
LISTA DE TABLAS	8
LISTA DE FIGURAS	9
INTRODUCCION	10
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
1.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA	13
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
2. JUSTIFICACIÓN.....	16
3. OBJETIVOS.....	17
3.1 OBJETIVO GENERAL	17
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	17
4. MARCO REFERENCIAL.....	18
4.1 MARCO HISTORICO.....	18
4.2. MARCO CONCEPTUAL	19
4.3 MARCO TEÓRICO	24
5. METODOLOGIA	37
1. REVISAR LAS RECOMENDACIONES DEL FABRICANTE.....	37
2. RECOLECCIÓN HISTORIAL DE FALLAS.....	37
3. ANÁLISIS ANALÍTICO DE LA TASA DE FALLA EMPÍRICA	37
4. MEJORAS.....	38
6. CALCULOS Y RESULTADOS.....	39
6.1 HISTORIAL DE FALLAS.....	39
6.2 CALCULOS DE TASA DE FALLA EMPIRICA	44
6.3 RESULTADOS OBTENIDOS.....	45
6.4 ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS TASAS DE FALLA	46
7. ANALISIS DE RESULTADOS.....	51

8. CONCLUSION	53
9. RECOMENDACIONES	55
ANEXOS	56
BIBLIOGRAFÍA.....	61

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Registro comunes de fallas.....	40
Tabla 2. Procentajes de falla.	41
Tabla 3. Datos suministrados de fallas.	43
Tabla 4. Resultados obtenidos.....	45

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Curva de la bañera	33
Figura 2. Mortalidad infantil.....	34
Figura 3. Vida util	35
Figura 4. Desgaste por envejecimiento.....	35
Figura 5. Visualización del diagrama de pareto.	41
Figura 6. Visual del comportamiento de la tasa de falla para el análisis.....	46

INTRODUCCION

El mantenimiento en todo equipo industrial es de vital importancia, si se quiere tener equipos óptimos para la producción y eficiencia en el desempeño en las áreas de labor. Muchas de las empresas colombianas no tienen este concepto claro, por lo tanto no lo aplican, no saben en qué estado se encuentran los equipos que utilizan diariamente y que en cualquier momento pueden detener la producción en caso de falla. Los efectos que causan se ven reflejado en los costos que implican el detener el equipo, aumentan los costos de mantención, recurren a mantenimientos correctivos y realizan cambios innecesarios de piezas y repuestos que aún le restan tiempo de vida útil.

Es por esto que en esta investigación se tiene como propósito realizar un análisis de fallas de forma empírica y la utilización de un modelo estadístico a una flota de Wheel loader (cargadores) con el fin de identificar los porcentajes de falla y así poder realizar mantenimientos preventivos obteniendo como resultado más vida útil en estos equipos. Para lograr este propósito se establecieron pautas u objetivos específicos como, revisar las recomendaciones del fabricante acerca de estos tipos de cargadores, posteriormente se recolectan los datos históricos de fallas en los equipos en un intervalo de operación, obteniendo esta información se puede realizar un análisis del comportamiento de las fallas utilizando un modelo estadístico como lo es Weibull, y finalmente se establecen recomendaciones y mejoras en el plan de mantenimiento de estos cargadores establecidos por el fabricante.

Esta monografía se organizo de tal manera que se encuentra distribuida en temas que aportan a la estructura de el documento final consistencia y coherencia, como lo es el planteamiento del problema, análisis, costos para la realización del proyecto y cronograma o tiempo en que se desarrollo el mismo.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los análisis de fallas empíricos y los modelos estadísticos derivados pueden ser utilizados eficaz y eficientemente para controlar de una mejor forma los mantenimientos preventivos en una amplia variedad de equipos industriales, mediante la identificación del tipo de tasa de fallas y su conexión con la edad productiva de los mismos, para así reducir costos y aumentar ciclo de vida. Es por esto que se trata de recolectar datos históricos de los equipos, horas de trabajo, datos que nos permita compararlos entre sí para obtener resultados y conclusiones como predecir en qué momento va a fallar el equipo y después de esta implementar un plan de mantenimiento preventivo con el fin de minimizar costos en la parte de mantención de estos y alargar su vida útil.

La base de esta investigación es un modelo de distribución estadístico el cual se asemeja a los problemas que encontramos en el campo industrial con respecto a la frecuencia de ocurrencia, esta es una herramienta útil que todo ingeniero debe tener para ejercer su cargo de mejor forma en el área de mantenimiento obteniendo beneficios interesantes como aumentar la producción en dicha empresa.

La distribución Weibull se utiliza ampliamente en el área del mantenimiento y “se usa cuando se sabe de antemano que ésta es una de las ecuaciones que mejor describe la distribución de fallos o cuando se han producido muchos fallos (al menos 10) y los tiempos correspondientes no se ajustan a una distribución más simple”¹ dado que es el único modelo estadístico que contempla la posibilidad de inicios de fallas después de haber transcurrido un tiempo de operación y se describe como “un modelo continuo asociado a variables de tipo tiempo de vida y

¹ TAMBORERO DEL PINO, José María. Fiabilidad: La distribución de Weibull. Encontrado en: http://www.jmcprl.net/ntps/@datos/ntp_331.htm

tiempo de fallo”² además esta distribución estadística posee la flexibilidad de ajustarse a las otras distribuciones conocidas, por ejemplo si la tasa de falla es 1, entonces la distribución de mantenimiento es exponencial y esta a un modelo particular de Weibull.

Este proyecto será aplicado a una flota de cargadores CAT 988H, los cuales se encuentran en una compañía reconocida, GECOLSA S.A. Es una empresa que se encarga de representar la marca CATERPILLAR en Colombia, única compañía autorizada para la venta de repuestos en el país, se tomo esta empresa para aplicar nuestro proyecto porque este tipo de cargadores son usados en las minas de carbón del país y GECOLSA S.A está presente en todos estos proyectos del país.

GECOLSA S.A cuenta con las mejores instalaciones en la ciudad de Barranquilla y así mismo con la mejor tecnología para la reparación y ensamble de componentes (motores, transmisiones, frenos, etc.) así también para la fabricación de algunas piezas para estos equipos. Para esto la compañía está dividida en distintos departamentos como:

- CRC (centro de reconstrucción de componentes).
- Machine Shop (Soldadura, Rectificaciones y Maquinado)
- Servicio.
- Repuesto.

Dentro del tipo de fallas que encontramos en los equipos tenemos las siguientes:

- Luces.
- Transmisión.

²LA DISTRIBUCION DE WEIBULL. Encontrado en <http://www.ub.edu/stat/GrupsInnovacio/Statmedia/demo/Temas>

- Línea de grasa.
- Radiador.
- Batería.
- Aire acondicionado.
- Sistema hidráulico.

Actualmente GECOLSA S.A maneja este tipo de problemas con este tipo de cargadores desde una perspectiva económica. Basándose en el costo de la reparación o el costo del cambio de la pieza del componente o en su defecto el componente. Sin embargo también cuenta con un departamento de ingeniería de servicios el cual se encarga de la mejora continua de los componentes y procesos de la empresa donde se trabaja el proyecto de grado.

1.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA

En el departamento de mantenimiento de una empresa se entiende como mantenimiento: “comprobaciones, mediciones, remplazos, ajustes y reparaciones necesarios para mantener o reparar una unidad funcional de forma que esta pueda cumplir sus funciones”³. Para poder resolver estos problemas y hacer que la unidad pueda ser funcional se necesita encontrar el problema o el causante de las fallas. Es por esto que se trata de realizar un análisis del comportamiento real de la tasa de falla en cuatro cargadores pero no sin antes comprobar las recomendaciones del fabricante acerca de estos ya que este tipo de problemas parten de aquí, con la aplicación de este análisis de tasa de fallas se puede deducir un comportamiento, frecuencia y modalidad del estado estadístico de

³GARCIA GARRIDO, Santiago. Mantenimiento Industrial. Encontrado en <http://mantenimientoindustrial.wikispaces.com/Mantenimiento+industrial>

estas máquinas y por otra lado ver el comportamiento en el tiempo con la vida útil de este.

Se puede ver como un ejemplo de la aplicación de los modelos estadísticos a Business Intelligence Solutions, una empresa encargada de soluciones empresariales que utiliza modelos estadísticos para resolver estas dificultades, esta menciona: “Examinar los datos disponibles ,las fuentes de información a la luz de los objetivos del proyecto y las cuestiones de negocios, la recolección de juicios necesarios de expertos y la creación de conjunto de datos para el análisis estadístico. Definir el papel de las variables y la formulación del problema de negocio en términos estadísticos, son básicos para el desarrollo de una metodología adecuada para resolver los problemas, por ello es seleccionar el método estadístico adecuado para resolver el problema en cuestión, teniendo en cuenta el cálculo del tamaño de la muestra justificable.”

En muchas empresas este tipo de método estadístico no es utilizado, por ello muchas veces no se sabe el origen de las fallas en muchos de los equipos de trabajo, así como la frecuencia de ocurrencia de las mismas. Lo que causa una elevación en los costos de mantención y reparación de dichos equipos, que es lo que las empresas quieren reducir del departamento de mantenimiento.

La disponibilidad actual del sistema de un grupo de 11 cargadores es del 70% donde los estándares indican que esta debe ser de al menos 93%. Teniendo claro que la pérdida de disponibilidad en su mayor parte corresponde a una serie de trabajo de mantenimiento del mismo, donde se ha observado a través del tiempo el aumento de las fallas de tipo correctivo, situación que debe resolverse, dado que está afectando la rentabilidad del negocio, la calidad y seguridad del servicio prestado por estos equipos, de la cual es la máxima preocupación a mejorar.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La pregunta problema que se genera a partir del análisis realizado para esta monografía sería ¿La modelación empírica de las fallas mejoraría el plan de mantenimiento de una flota de cargadores?

De aquí se desprenden interrogantes como:

- ¿Cuál es el perfil de fallas de la flota en función del tiempo?
- ¿Que establece el fabricante en su plan de mantenimiento preventivo?
- ¿Que nos puede decir un análisis de fallas empírico respecto a las decisiones a tomar para mejorar el desempeño?
- ¿Cuál sería el plan ajustado que mejorara la disponibilidad?

2. JUSTIFICACIÓN

Los ingenieros mecánicos trabajan para utilizar de manera más efectiva los distintos recursos necesarios por resolver problemas con maquinaria aumentando la seguridad y disminuyendo el impacto ambiental, los cuales son beneficios generales que siempre deben priorizarse.

Si se quiere obtener el comportamiento de vida útil de equipos pesados en una empresa es necesario implementar un análisis del comportamiento real de la tasa de falla en los mismos. Con este método se espera saber en qué momento del tiempo puede fallar el equipo dependiendo del tiempo (horas) de operación en las que se ve involucrada el mismo. Por eso se utilizara una herramienta muy útil en cuanto a la vida del equipo llamado curva de la “bañera” esta es implementada con respecto al tiempo y nos ayudaría con la reducción de costos en mantención ya que al predecir el momento de falla se puede tener un plan preventivo.

Para la serie de equipos complejos es necesaria la comparación de datos registrados en un tiempo (horas) de operación continua. El objeto de comparar resultados de cada equipo es poder obtener una conclusión que nos permitan predecir dicha falla. Con esto se pueden implementar mejoras que sean beneficiosas para la empresa obteniendo reducción de costos por la disminución de los mantenimientos correctivos y aumentos de vida útil en los equipos.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis de fallas empírica para el patrón evaluativo a una flota de cargadores con el fin de identificar los porcentajes de falla y así poder realizar mantenimientos preventivos mejorados obteniendo como resultado más vida útil en estos equipos.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Revisar las recomendaciones del fabricante acerca del mantenimiento preventivo de estos tipos de camiones para confirmar su seguimiento.
- Procesar los datos históricos de fallas en los equipos en un intervalo de operación para obtener el patrón evaluativo de fallas empíricas.
- Realizar un análisis de patrón de fallas para establecer el comportamiento de los equipos e identificar las oportunidades de mejora.
- Cuantificar económicamente las mejoras propuestas.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 MARCO HISTORICO

El concepto de mantenimiento ha venido desarrollándose al pasar del tiempo por motivo de mantener sus equipos y herramientas de la mejor manera posible aunque para nuestra época serian utensilios un poco rudimentarios.

Con el objetivo de conservar un equipo se implementan filosofías como lo es el concepto de mejoramiento continuo, implementado primero en Japón aprobando ser efectivo y luego en América, este concepto se adapto asía el mantenimiento enfocándose en la reducción de costos y mantención en los equipos.

Para realizar un buen gestión del mantenimiento es necesaria una buena elección de mantención para los equipos analizados en este caso donde estudiamos una serie de camiones complejos que operan en una mina subterránea donde es fundamental conocer el comportamiento de la tasa de falla en un tiempo determinado para cada equipo, el cual se describe como de tipo bañera muy utilizados en equipos complejos. Es necesario tener en cuenta los costos directos asociados con la mantención preventiva y correctiva, aparte de los costos propios de mantención y los inducidos.

La mantención de los equipos está compuesta por dos elementos importantes:

Tasa de falla: Se puede decir que es la proporción de fallas en un tiempo determinado.

Frecuencia: Es la medida que indica el número de repeticiones de un fenómeno o suceso ocurridos en un tiempo determinado.

4.2. MARCO CONCEPTUAL

En todo trabajo de grado ya sea proyecto o monografía es importante definir conceptos para que haya un mejor entendimiento de lo que se quiere decir y no dejar lagunas que lleven a la confusión del mismo.

4.2.1 Modelo Estadístico: Es una expresión matemática que simboliza una igualdad o ecuación que se puede emplear en todos los diseños experimentales, Los modelos estadísticos pueden clasificarse en función de la información que utilizan y del objetivo que se desea obtener, cuando se estudia un fenómeno en un intervalo de tiempo se dice que el modelo puede ser estático o transversal y cuando se estudia a lo largo del tiempo se le conoce como dinámico o longitudinal. “En general, los modelos estadísticos usan una descomposición de las valores de una o varias variables respuesta o dependientes en una parte sistemática o predecible y otra parte aleatoria o no predecible”⁴.

Reducción de Costos: Es la acción de eliminación de desperdicios y despilfarro que generen mayor ingreso a mediano, corto, y largo plazo. “dependen de la interrelación de una serie de factores, los cuales producto de la misma variabilidad de su comportamiento en el tiempo dan lugar a variaciones en los niveles antes mencionados como el uso de recursos a los efectos de la producción de bienes o servicios, o bien, el consumo de recursos o energías para el logro de los fines del ente”⁵.

⁴CSIC. El Método Estadístico. Encontrado en: http://humanidades.cchs.csic.es/cchs/web_UAE/metodo/metodo.htm

⁵KAISEN. Reducción de Costos. Encontrado en: <http://www.monografias.com/trabajos14/reduccion-costos/reduccion-costos.shtml>

Riesgos: Situaciones que involucran incertidumbre, generando un rango de posibles resultados inciertos, también se entiende como la probabilidad y magnitud que suceda un evento, impacto o consecuencia de adversos o como medida de la posibilidad y magnitud de impactos adversos teniendo como consecuencia el peligro y llevando a cabo una pérdida económica.

Dentro de los tipos de riesgos podemos encontrar:

- Riesgos físicos
- Riesgos Químico
- Riesgos biológicos
- Riesgos Ergonómicos
- Riesgos Psicosociales

Análisis de Riesgo: Puede ser cualquier método, cualitativo que permita evaluar el impacto de riesgo en la toma de decisiones.

Prueba: Demostración o veracidad de una teoría en nuestro caso un modelo estadístico.

Seguimiento: Es un proceso que tiene como fin recopilar sistemáticamente y con cierta regularidad los datos obtenidos al desarrollo de un programa a lo largo del tiempo específico.

Inspección visual: “La Inspección Visual es de los métodos No-Destructivos el más importante y el más usado. Es fácil de realizar, rápido, barato, no se requiere de equipo especial”⁶ por otro lado este método es muy utilizado en el campo del

⁶VALDEZ, Manu el. Inspección Visual. Encontrado en: http://www.manuelhaces.com/spanish/index.php?option=com_content&view=article&id=58:inspeccion-visual&catid=36:servicios&Itemid=55

mantenimiento ya que a diario estamos revisando nuestras máquinas para ver cómo va su operación con relación a los componentes de ella a lo largo del tiempo o cuando notamos una falla el primer método utilizado es la inspección visual, por ejemplo cuando queremos cambiar la correa del tiempo de nuestro vehículo primero recurrimos a la inspección visual para ver si hay la necesidad de cambiarla a pesar del tiempo o de lo que dice el fabricante ya que todos los ambientes de operación no son iguales.

Mantenimiento: Es un servicio que se presta bajo una serie de actividades que permite tener mayor disponibilidad y confiabilidad con los equipos, máquinas y herramientas, dentro del campo del mantenimiento encontramos los siguientes “objetivos:

Evitar, reducir, y en su caso, reparar, las fallas sobre los bienes precitados.

- Disminuir la gravedad de las fallas que no se lleguen a evitar.
- Evitar detenciones inútiles o para de máquinas.
- Evitar accidentes.
- Evitar incidentes y aumentar la seguridad para las personas.
- Conservar los bienes productivos en condiciones seguras y preestablecidas de operación.
- Balancear el costo de mantenimiento con el correspondiente al lucro cesante.
- Alcanzar o prolongar la vida útil de los bienes.

El mantenimiento adecuado, tiende a prolongar la vida útil de los bienes, a obtener un rendimiento aceptable de los mismos durante más tiempo y a reducir el número de fallas”⁷.

Disponibilidad: Es el porcentaje de tiempo analizado en el cual el equipo puede producir, esta la podemos determinar de la siguiente manera:

Ecuación 1. Disponibilidad

$$\text{Disp} = \frac{\text{hrs de periodo} + \sum \text{hrs de mtto}}{\text{hrs periodo}}$$

Hrs de periodo = calculamos las horas entre las fechas seleccionadas.

Hrs de mtto= sumamos las horas de paradas en todas las OT.

También se encontró que la disponibilidad “debe ser solo mayor que la disponibilidad necesaria si el equipo no está en operación continua o para equipos de operación continua difícilmente llegue al 100%, siempre será algo menor, pero lo mayor posible”⁸.

Confiabilidad: Es la probabilidad de que los equipos operen sin presentar fallas durante un periodo específico, la confiabilidad la podemos determinar de la siguiente manera:

⁷Mantenimiento Industrial. Encontrado en: <http://www.monografias.com/trabajos15/mantenimientoindustrial/mantenimiento-industrial.shtml>

⁸CHRISTENSEN, Claudio. Presentación Confiabilidad & Disponibilidad. Encontrado en: http://www.uruman.org/material_tecnico/X%20Titulos/Confiabilidad%20&%20Disponibilidad.pdf

Ecuación 2. Confiabilidad

$$\text{Conf} = \frac{\text{hrs de periodo} + \sum \text{hrs de mtto corr}}{\text{hrs periodo}}$$

Hrs de periodo = calculamos las horas entre las fechas seleccionadas.

Hrs de mtto corr = sumamos las horas de paradas en todas las OT correctivas.

También se define la confiabilidad como “la expresión de alguna manera de la confianza de nuestro equipo para trabajar un determinado periodo sin fallas y es posible lograr una confiabilidad del 100%, más aun cuando los equipos no son de uso continuo, o pertenecen a un sistema redundante”⁹.

Mantenibilidad: Es la posibilidad de poder ejecutar un determinada operación de mantenimiento en el tiempo prefijado y bajo las condiciones planeadas y nos indica la accesibilidad para realizar un mantenimiento o “como la rapidez con la cual los fallos o el funcionamiento defectuoso de los equipos son diagnosticados y corregidos o la conservación programada es ejecutada con éxito”¹⁰ y este es altamente mantenible cuando el esfuerzo asociado a la restitución es bajo.

Rendimiento: Es un concepto asociado al trabajo que realiza una máquina, quiere decir obtener buenos y esperado resultados con poco, las máquinas simples pueden ofrecer un rendimiento del 100% porque ellas reciben energía

⁹Ibid., p. 10.

¹⁰Determinación de la Confiabilidad del Equipo. Encontrado en: <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r62107.PDF>

mecánica y dan como resultado energía mecánica mientras que las máquinas complejas lo que hacen son transformaciones como por ejemplo en calor o energía eléctrica.

4.3 MARCO TEÓRICO

Estadística: Una ciencia que estudia la recolección, análisis e interpretación de datos, ya sea para ayudar en la toma de decisiones o para explicar condiciones regulares o irregulares de algún fenómeno o estudio aplicado, de ocurrencia en forma aleatoria o condicional. Sin embargo la estadística es más que eso, en otras palabras es el vehículo que permite llevar a cabo el proceso relacionado con la investigación científica.

“Es transversal a una amplia variedad de disciplinas, desde la física hasta las ciencias sociales, desde las ciencias de la salud hasta el control de calidad. Se usa para la toma de decisiones en áreas de negocios o instituciones gubernamentales.

La estadística se divide en dos grandes áreas:

- La estadística descriptiva: Se dedica a la descripción, visualización y resumen de datos originados a partir de los fenómenos de estudio. Los datos pueden ser resumidos numérica o gráficamente. Ejemplos básicos de parámetros estadísticos son: la media y la desviación estándar. Algunos ejemplos gráficos son: histograma, pirámide poblacional, Clúster, entre otros
- La estadística inferencial: Se dedica a la generación de los modelos, inferencias y predicciones asociadas a los fenómenos en cuestión teniendo

en cuenta la aleatoriedad de las observaciones. Se usa para modelar patrones en los datos y extraer inferencias acerca de la población bajo estudio. Estas inferencias pueden tomar la forma de respuestas a preguntas si/no (prueba de hipótesis), estimaciones de un grupo o una características numéricas (estimación), pronósticos de futuras observaciones, descripciones de asociación (correlación) o modelamiento de relaciones entre variables (análisis de regresión). Otras técnicas de modelamiento incluyen series de tiempo y minería de datos”¹¹.

Existe también una rama de la estadística llamada estadística matemática, que es la que se refiere a las bases teóricas de la misma, uno de los objetivos de la estadística en un proyecto es investigar la casualidad y extraer una conclusión de acuerdo a los datos o valores obtenidos, existen dos tipos de estudios estadísticos que son los estudios experimentales y estudios observacionales.

Distribución De Probabilidades: Asigna a cada suceso de una variable aleatoria de que ocurra suceso, el conjunto de todos estos sucesos se le llama distribución de probabilidad, esta función está dada por:

Ecuación 3. Función de probabilidad

$$F_x(x) = P(X \leq x)$$

Se tiene dos tipos de distribución que son:

¹¹ BEST, Joel. Damned Lies and Statistics: Untangling Numbers from the Media, Politicians, and Activists. University of California Press. ISBN 0-520-21978-3. 2001

Distribuciones de variable discreta: Es aquella cuya probabilidad solo toma valores positivos dentro de un conjunto de valores de X infinito o finito, dentro de este grupo encontramos otros tipos de distribución que son:

- Distribución Binomial
- Distribución Binomial negativa
- Distribución Poisson
- Distribución Geométrica
- Distribución Hipergeométrica
- Distribución de Bernoulli
- Distribución Rademacher
- Distribución Uniforme discreta

Distribuciones de variables continuas: Es aquella que puede tomar cualquier valor infinito dentro de un intervalo, dentro de este grupo encontramos otro grupo de probabilidades que son las siguientes:

- Distribución ji cuadrado
- Distribución Exponencial
- Distribución T de Student
- Distribución Normal
- Distribución Gamma
- Distribución Beta
- Distribución F
- Distribución Uniforme (continua)

Mantenimiento Preventivo (MPP): Es el tipo de mantenimiento que se da de una forma periódica para que los ajustes, reparaciones, análisis, limpieza, lubricación y calibración se den en un plan establecido y no como una urgencia del operario, “Su propósito es prever las fallas manteniendo los sistemas de infraestructura, equipos e instalaciones productivas en completa operación a los niveles y eficiencia óptimos”¹².

Una de las características de este tipo de mantenimiento es que se puede inspeccionar las máquinas con el fin de darse cuenta de las fallas y al mismo tiempo corregirlas, dentro del tipo de mantenimiento preventivo encontramos las siguientes ventajas:

- Confiabilidad, los equipos operan en mejores condiciones de seguridad, ya que se conoce su estado, y sus condiciones de funcionamiento.
- Disminución del tiempo muerto, tiempo de parada de equipos y máquinas.
- Mayor duración de los equipos.
- Disminución de existencias en Almacén y, por lo tanto sus costos, puesto que se ajustan los repuestos de mayor y menor consumo.
- Uniformidad en la carga de trabajo para el personal de Mantenimiento debido a una programación de actividades.
- Menor costo de las reparaciones.

Pasos para realizar un mantenimiento preventivo con el fin de obtener las anteriores ventajas mencionadas.

- Inventario técnico, con manuales, planos, características de cada equipo.
- Procedimientos técnicos, listados de trabajos a efectuar periódicamente.
- Control de frecuencias, indicación exacta de la fecha a efectuar el trabajo.

¹² Tipos de Mantenimiento: Mantenimiento Preventivo. Encontrado en: http://www.solomantenimiento.com/m_preventivo.htm

- Registro de reparaciones, repuestos y costos que ayuden a planificar.

Mantenimiento Predictivo: Este tipo de mantenimiento nos sirve para pronosticar el punto futuro en el cual el componente de una maquinaria fallara, cuya información nos sirve para actuar de manera inmediata y remplazar el componente en base a un plan preventivo justo antes de que falle. Así, el tiempo muerto del equipo se minimiza y el tiempo de vida del componente se prolonga.

A continuación se ven distintas técnicas aplicadas al mantenimiento predictivo:

Análisis de vibraciones: Lo que se quiere con este análisis es la identificación de las amplitudes predominantes de las vibraciones detectadas en la maquinaria, la determinación de las causas de la vibración, y la corrección del problema que ellas representan. “Las consecuencias de las vibraciones mecánicas son el aumento de los esfuerzos y las tensiones, pérdidas de energía, desgaste de materiales, y las más temidas: daños por fatiga de los materiales, además de ruidos molestos en el ambiente laboral, etc.”¹³, dentro del análisis de vibración encontramos varios parámetros y tipos de vibraciones como los siguientes:

Parámetros

- Frecuencia
- Desplazamiento
- Velocidad y Aceleración
- Dirección

¹³ ROSALER, Robert C. Manual del Ingeniero de Planta. Mac-Graw-Hill/Interamericana de Editores, S.A. de C.V. 2002

Tipos de vibración

- Vibración libre
- Vibración forzada

Análisis de Lubricantes: Estos se utilizan según la necesidad, esta necesidad se dividen en tres análisis los cuales son:

- Análisis iniciales: Este tipo de análisis se le realiza aquellos productos los cuales presentan dudas desde provenientes de los estudios de lubricación.
- Análisis Rutinarios: se utiliza en equipos de gran capacidad con objetivo de evaluar nivel del aceite, desgaste del mismo o contaminación.
- Análisis de Emergencia: Este se utiliza para detectar cualquier anomalía en el equipo o en el lubricante, en cuanto a los equipos tenemos:
 - ✓ Bombas de extracción
 - ✓ Envases para muestras
 - ✓ Etiquetas de Identificación
 - ✓ Formatos

Análisis Por Ultrasonido: Este método es utilizado para el estudio de ondas que tiene baja frecuencia las cuales no son alcanzadas a escuchar por el oído humano; el ultrasonido nos permite:

- Detectar fricción en máquinas alternativas.

- Detectar fallas o fugas en válvulas.
- Detectar fugas en tubos.
- Pérdidas de Vacío.

Mantenimiento Proactivo: “Esté mantenimiento tiene como fundamento los principios de solidaridad, colaboración, iniciativa propia, sensibilización, trabajo en equipo” ¹⁴, de modo tal que todos los involucrados directa o indirectamente en la gestión del mantenimiento deben conocer la problemática del mantenimiento, es decir, que tanto técnicos, profesionales, ejecutivos, y directivos deben estar consientes de las actividades que se llevan a cabo para desarrollar las labores de mantenimiento. Cada individuo desde su cargo o función dentro de la organización, actuará de acuerdo a este cargo, asumiendo un rol en las operaciones de mantenimiento, bajo la premisa de que se debe atender las prioridades del mantenimiento en forma oportuna y eficiente. El mantenimiento proactivo implica contar con una planificación de operaciones, la cual debe estar incluida en el Plan Estratégico de la organización. Este mantenimiento a su vez debe brindar indicadores (informes) hacia la gerencia, respecto del progreso de las actividades, los logros, aciertos, y también errores.

Mantenimiento Correctivo: También conocido como mantenimiento Reactivo, este tipo de mantenimiento se da después de que ocurre una falla imprevista, es decir que solo actúa cuando se presenta un error en el sistema del equipo o maquinaria, en caso de que no se presente ninguna falla el mantenimiento se considerara como nulo y habrá que esperar hasta que se presente el desperfecto de dicha máquina para hacer las correcciones inmediatas. “Este mantenimiento trae consigo las siguientes consecuencias:

- No previstas en el proceso productivo, disminuyendo las horas operativas.

¹⁴ Tipos de Mantenimiento, Op. Cit., p. 12.

- Las cadenas productivas, es decir que los ciclos productivos anteriores se verán parados a la espera de la corrección de la etapa anterior.
- Presenta costos por reparación y repuestos no presupuestados, por lo que se dará el caso que por falta de recursos económicos no se podrán comprar los repuestos en el momento deseado.
- La planificación del tiempo que estará el sistema fuera de operación no es predecible”¹⁵.

Distribución Weibull: Este es método continuo asociado a variables del tiempo de vida, aproximadamente hasta que momento un mecanismo fallara como también ¹⁶La distribución modela la distribución de fallos (en sistemas) cuando la tasa de fallos es proporcional a una potencia del tiempo:

Un valor $k < 1$ indica que la tasa de fallos decrece con el tiempo.

Cuando $k = 1$, la tasa de fallos es constante en el tiempo.

Un valor $k > 1$ indica que la tasa de fallos crece con el tiempo.

“La distribución Weibull también complementa a la distribución exponencial y a la normal, se usa cuando se sabe de antemano que una de ellas es la que mejor describe la distribución de fallos o cuando se han producido muchos fallos (al menos 10) y los tiempos correspondientes no se ajustan a una distribución más simple”¹⁷, como ya se había mencionado antes esta distribución nos ayuda a controlar las fallas.

¹⁵ Tipos de Mantenimiento, Op. Cit., p. 18.

¹⁶ Weibull, W. «A statistical distribution function of wide applicability», J. Appl. Mech.-Trans. ASME 18 (3): 293–297.

¹⁷ UNIVERSIDAD DEL VALLE DE MEXICO. Encontrado en: http://cmapspublic.ihmc.us/rid=1183171909389_334596337_8722/Distribuci%C3%B3n.

La distribución de Weibull se representa normalmente por la función acumulativa de distribución de fallos $F(t)$:

Ecuación 4. Distribución de fallos.

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

Siendo la función densidad de probabilidad:

Ecuación 5. Función de densidad.

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

La tasa de fallos para esta distribución es:

Ecuación 6. Tasa de falla Weibull.

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

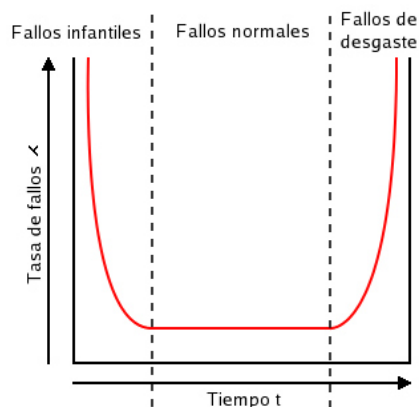
Las ecuaciones (1), (2) y (3) sólo se aplican para valores de $(t - t_0) \geq 0$. Para valores de $(t - t_0) < 0$, las funciones de densidad y la tasa de fallos valen 0. Las constantes que aparecen en las expresiones anteriores tienen una interpretación física:

- t_0 es el parámetro de posición (unidad de tiempos) o vida mínima y define el punto de partida u origen de la distribución.
- η es el parámetro de escala, extensión de la distribución a lo largo, del eje de los tiempos. Cuando $(t - t_0) = \eta$ la fiabilidad viene dada por:

$$R(t) = \exp - (1)^\beta = 1/\exp 1^\beta = 1 / 2,718 = 0,368 \text{ (36,8\%)}$$
Entonces la constante representa también el tiempo, medido a partir de $t_0 = 0$, según lo cual dado que $F(t) = 1 - 0,368 = 0,632$, el 63,2 % de la población se espera que falle, cualquiera que sea el valor de β ya que como hemos visto su valor no influye en los cálculos realizados. Por esta razón también se le llama usualmente vida característica.
- β es el parámetro de forma y representa la pendiente de la recta describiendo el grado de variación de la tasa de fallos.

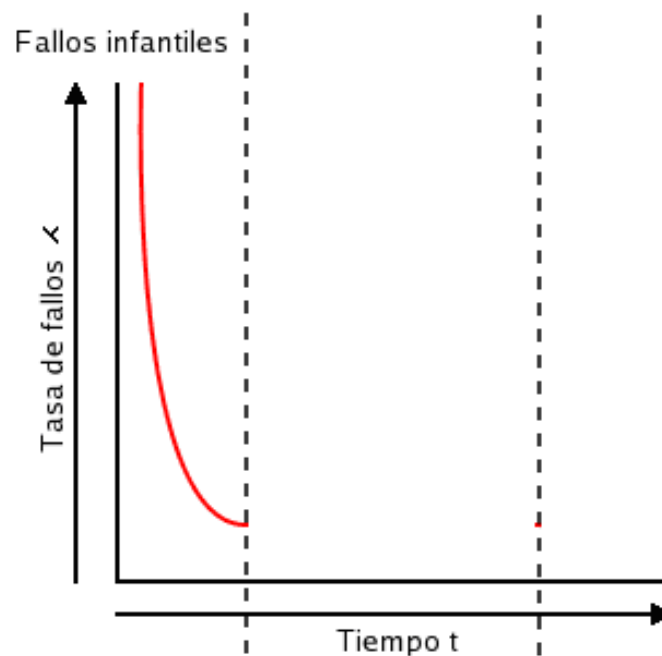
Curva De La Bañera: Es un gráfica que representa los fallos durante el período de vida útil de un equipo o máquina. Se llama así porque tiene la forma de una bañera cortada a lo largo, la grafica está formada por tres campos los cuales son:

Figura 1. Curva de la bañera



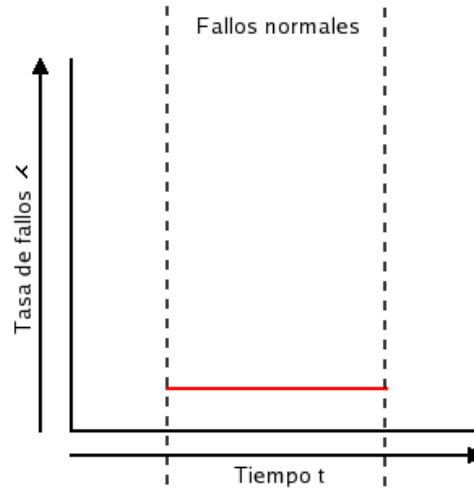
Mortalidad infantil: Esta etapa se caracteriza por tener una elevada tasa de fallos que desciende rápidamente con el tiempo. Estos fallos pueden deberse a diferentes razones como equipos defectuosos, instalaciones incorrectas, errores de diseño del equipo, desconocimiento del equipo por parte de los operarios o desconocimiento del procedimiento adecuado.

Figura 2. Mortalidad Infantil



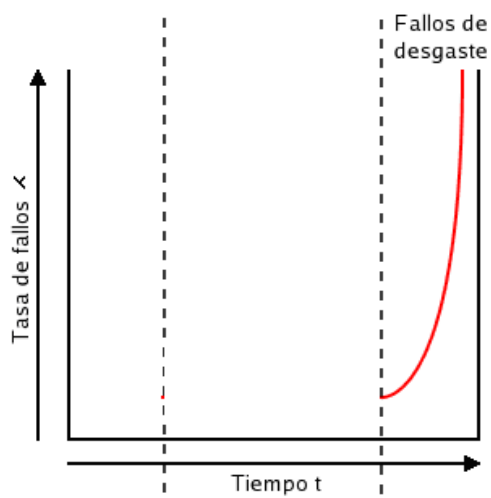
Fallas Aleatorias Sobre la vida Útil: Etapa con una tasa de errores menor y constante. Los fallos no se producen debido a causas inherentes al equipo, sino por causas aleatorias externas. Estas causas pueden ser accidentes fortuitos, mala operación, condiciones inadecuadas, falta de mantenimiento, errores electrónicos, entre otros.

Figura 3. Vida Util



Desgaste por Envejecimiento: Etapa caracterizada por una tasa de errores rápidamente creciente. Los fallos se producen por desgaste natural del equipo debido al transcurso del tiempo, estos se pueden dar por corrosión, fatiga, rodamientos, entre otros.

Figura 4. Desgaste por envejecimiento



En resumen, en la vida temprana de un equipo en la curva de la bañera, este posee un porcentaje de fallas alto, pero disminuye rápidamente, pues se identifican y se desechan los equipos defectuosos, con mal diseño, logrando de esta manera que todas las fuentes tempranas de fallas se superen. En la mitad de la vida del equipo, generalmente, una vez que alcance su eficiencia máxima, el porcentaje de fallas es bajo y constante. En la última etapa de la vida del equipo, se produce un aumento en el porcentaje de fallas, ya sea por el periodo de vida útil o por el desgaste del mismo.

5. METODOLOGIA

El siguiente trabajo de investigación es de tipo cuantitativo ya que se tomara una muestra de datos históricos de estas máquinas para asociar los distintos números de fallas de una flota de cargadores.

Para realizar un análisis de tasa de fallas empírico en este tipo de máquinas con el objetivo de hacerlo con éxito necesitamos conocer y tener en cuenta los siguientes ítems.

1. REVISAR LAS RECOMENDACIONES DEL FABRICANTE

Con esto se busca saber si la información dada por el fabricante es veraz y siguiendo estas reduciríamos las fallas en estos equipos y así mismo los mantenimientos correctivos.

2. RECOLECCIÓN HISTORIAL DE FALLAS

De esto depende el trabajo, ya que por medio del número de fallas registradas podremos obtener los resultados por medio de un análisis de fallas empírico.

3. ANÁLISIS ANALÍTICO DE LA TASA DE FALLA EMPÍRICA

De acuerdo a los resultados obtenidos matemáticamente se podrá obtener un histograma en el cual obtendremos la función deseada y aquí se decide qué tipo de distribución debemos aplicar viendo el tipo de función que arroja nuestra grafica.

4. MEJORAS

En este paso se aplicara las mejoras a estos equipos ya que conociendo los patrones de fallas sabríamos en que momentos debemos intervenir en ellos logrando nuestro objetivo principal.

6. CALCULOS Y RESULTADOS

6.1 HISTORIAL DE FALLAS

A continuación se presentan los datos suministrados por la empresa para el análisis, se resalta que la base del trabajo son datos creíbles, lo cual requiere un registro confiable de los mismos. Esto es un problema porque la empresa analizada no posee un registro completo y se recurre a información con un grado de subjetividad, la cual proviene de realizar una investigación con ayuda de los mecánicos, operarios y algunos registros disponibles que tiene la empresa, la asignación de fechas para recuentos de fallas con el fin de identificar el impacto que provoca estas en la elevación o disminución de costos de la empresa, a continuación mostraremos algunas fallas comunes como:

- Luces.
- Batería.
- Transmisión.
- Línea de grasa.
- Sistema hidráulico.
- Radiador.
- Aire acondicionado.
- Filtro primario.

Las fallas registradas en la compañía provienen a la hora de hacer los respectivos mantenimientos correctivos, sabiendo que estas no son todas las fallas que han tenido los equipos hasta el momento pero estos datos suministrados nos han ayudado ya que por medio de él diagrama de pareto nosotros decidimos trabajar en la transmisión ya que esta nos muestra un alto número de fallas y sobre todo

una elevación de costos, a continuación mostraremos el diagrama de pareto basado en algunos registro de fallas que posee la empresa.

La Tabla1. Nos muestra de manera ordenada en forma descendente el numero de fallas con sus respectivas fallas más comunes en estos tipos de camión.

Tabla 1. Registro comunes de fallas.

FALLAS	# DE FALLAS
Transmission	17
Luces	9
Líneas de Grasa	5
Bacteria	6
Aire Acondicionado	4
Filtro Primario	7
Radiador	2
Sistema Hidráulico	2
TOTAL	52

Fuente. Datos suministrados por la empresa.

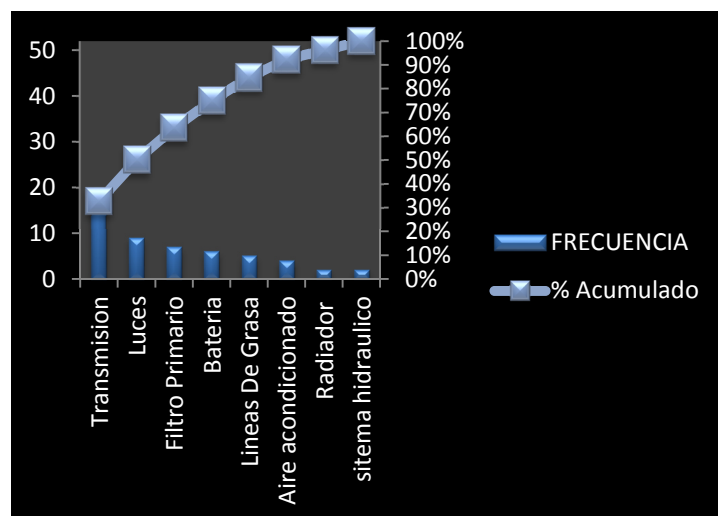
La Tabla 2. Nos muestra los porcentajes de falla y así mismo los porcentajes acumulativo para poder construir de esta manera el diagrama de pareto con el fin de identificar que componente vamos a trabajar.

Tabla 2. Procentajes de falla.

FALLAS	FRECUENCIA	%	% Acumulado
Transmission	17	33%	33%
Luces	9	17%	50%
Filtro Primario	7	13%	63%
Batería	6	12%	75%
Líneas De Grasa	5	10%	85%
Aire Acondicionado	4	7%	92%
Radiador	2	4%	96%
Sistema Hidráulico	2	4%	100%
TOTAL	52	100%	

Fuente. Autores, aplicación diagrama de pareto para los datos suministrados por la empresa.

Figura 5. Visualización del diagrama de pareto.



Fuente. Autores, representación grafica del diagrama de pareto.

Con el análisis realizado a través del diagrama de Pareto podemos ver cómo nos muestra los resultados de forma decreciente, desde el factor más frecuente al menos frecuente que afecta el proceso o en este caso como las fallas afectan al equipo por ende la producción.

Claramente se observa que el sistema de transmisión es el que más frecuencia presenta las anomalías y fallas con un porcentaje de 33%, esto es alarmante, si observamos los datos, nos damos cuenta que son 52 fallas en un periodo de (1 año) y que de estas fallas 17 son por transmisión. En el diagrama se observan los demás tipos de fallas que encontramos más frecuentes en estos equipos, detallando a fondo observamos que existe una diferencia amplia entre la falla por transmisión que por las otras fallas, hasta duplicando la falla que le antecede demostrando que son cifras de consideración.

Por otro lado si persiste esta falla provocara el daño total de la transmisión, obligando a su reemplazo generando un costo mayor de reparación cuantificado en \$ 78.443.550 superando hasta en 7 veces el costo de la falla siguiente en la grafica, el cambio de luces con un costo de \$ 10.800.000.

Basándonos en el diagrama de Pareto se decidió hacer una mejora al plan de mantenimiento dado por el fabricante con respecto a la transmisión para esto se produjo a realizar el análisis de la tasa de falla empírica con los datos suministrados de los equipos por la empresa GECOLSA S.A.

Inicialmente se tenían 11 cargadores y por asignación a otras áreas, por ventas y por daños, su número ha disminuido parcialmente y en el momento de análisis hay 3 en normal operación.

La tabla 3. Muestra el resumen de la información organizada para el desarrollo de cálculos posteriores con intervalos de tiempo de 1000 horas de operación

N_i = numero de fallas ocurridos en el intervalo de análisis Δt .

n_i = número de equipos al inicio de cada periodo de análisis

Tabla 3. Datos suministrados de fallas.

ANALISIS DE TASA DE FALLA EMPIRICA		
t (horas de operación)	N_i	n_i
1000	11	10
2000	7	10
3000	5	9
4000	4	9
5000	3	9
6000	1	8
7000	2	8
8000	3	8
9000	2	7
10000	3	7
11000	5	7
12000	6	3

Fuente: Datos suministrados por la empresa.

6.2 CALCULOS DE TASA DE FALLA EMPIRICA

La tasa de fallas mide la velocidad con la cual ocurren las fallas en unidades de número de fallas/horas.

La ecuación 7 es la utilizada para el cálculo de fallas con datos empíricos de ahí su nombre tasa de fallas empírica.

Ecuación 7. Tasa de falla empírica.

$$\lambda = \frac{N_i}{n_i + \Delta t}$$

El significado para los parámetros de la ecuación anteriormente mencionada son los siguientes:

N_i = número de fallas ocurridos en el intervalo de análisis Δt .

n_i = número de equipos al inicio de cada periodo de análisis.

Δt = intervalo de tiempo para el análisis.

A continuación se realizó un análisis aplicando la fórmula mencionada anteriormente (ecuación 7.) obteniendo las fallas por horas que se tiene para estos cargadores los cuales están presentados en la tabla 4.

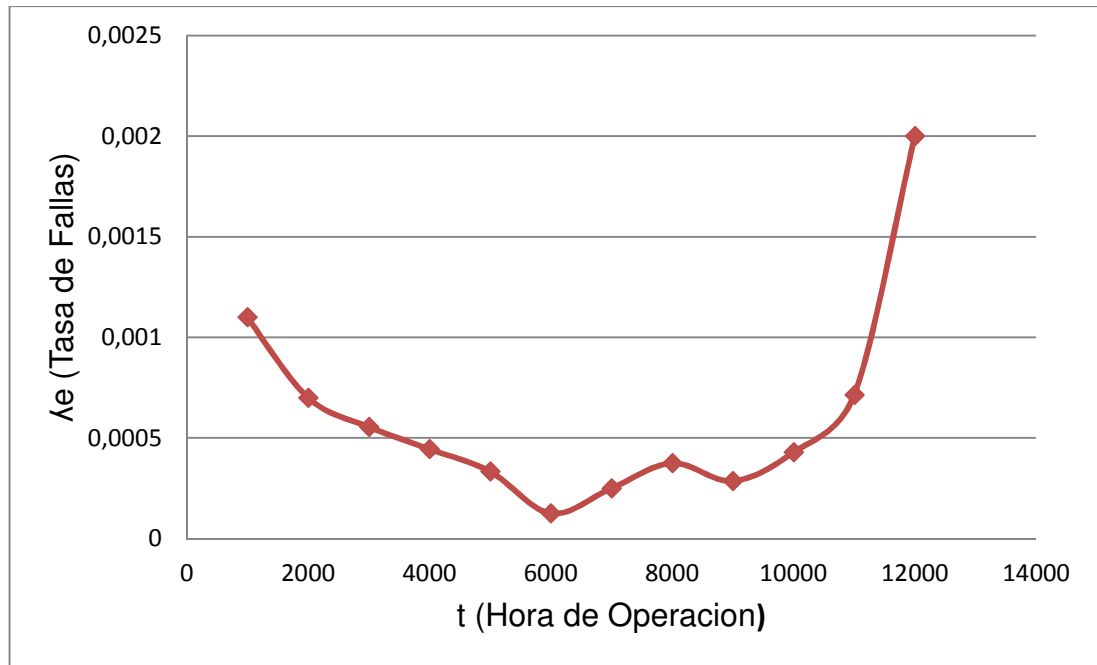
En la tabla 4. Se relaciono los intervalos de tiempo de cada 1000 horas (mil) con respecto a la tasa de falla/hora de estos cargadores.

6.3 RESULTADOS OBTENIDOS

Tabla 4. Resultados obtenidos para desarrollar el perfil de la tasa de falla para la evolución de la tasa de fallas.

t (horas de operación)	λ_e (Tasa de Fallas)
1000	0,0011
2000	0,0007
3000	0,00055556
4000	0,00044444
5000	0,00033333
6000	0,000125
7000	0,00025
8000	0,000375
9000	0,00028571
10000	0,00042857
11000	0,00071429
12000	0,002

Figura 6. Visual del comportamiento de la tasa de falla para el análisis.



Fuente: Autores

6.4 ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS TASAS DE FALLA

Mediante el análisis de tasa de fallas empíricas realizado a los cargadores 988H se observó al inicio del estudio en la figura 6 una tasa de errores entre (0 y 6000 horas) lo cual no favorece a la empresa y a la máquina ya que las fallas tienen tendencias a disminuir a medida que se usan los equipos, en este intervalo la tasa de falla llegó a 0,001 fallas/hora y 0,0055 fallas/hora con un promedio de 0,0075 fallas/hora, esto representa aproximadamente 50 fallas en los primeros 6000 horas de uso.

Para los cargadores este valor es un poco mayor al indicado por el fabricante que establece una tasa de falla de 0,0065 fallas/hora, esto evidencia que el modo de

operar el equipo o las condiciones de trabajo son más exigentes de lo esperado y se debe mejorar el plan de mantenimiento.

En la etapa siguiente se observa una tasa de fallas aleatorias (no asignables a componentes específicos) donde las fallas prevalecen constantes entre (6000 y 10000 horas) estas podrían ser por factores diversos de degradación en piezas con vida útil menor al de los componentes mayores, es en esta etapa donde se realizan planes de mantenimiento preventivos para aumentar la vida útil del equipo.

Estos cargadores 988H presentan anomalías en la etapa de envejecimiento identificada, ya que la tasa de fallas comienza a subir a partir de la tasa constante que le antecede, esta situación resulta en baja disponibilidad y aumento acelerado en los costos de mantenimiento. Por lo cual en esta etapa se debe realizar un mantenimiento de Overhaul general a la máquina cambiando componentes y accesorios que se encuentran deteriorados. Es por esto que entre (10000 y 12000 horas) la figura 6 se muestra un incremento de fallas permaneciendo con tendencia al alza, analizando las causas de las fallas encontramos que la razón principal fue el paro del cargador por la transmisión.

Cuestionándose debido a que la transmisión se le había cambiado los componentes que se encontraban deteriorados por envejecimiento, se dio por realizar un prueba al lubricante antes del tiempo de cambio establecido por el fabricante, esta arrojó que; el lubricante que se estaba utilizando (SAE 50) no se le estaba haciendo en el intervalo correcto. Ya que según el fabricante el cambio de aceite se debe realizar cada (2000 horas) en condiciones normales pero las condiciones de trabajo de estos cargadores 988H no era el adecuado para este periodo de cambio por lo tanto se modifico este tiempo por cada (1000 horas), ya que las pruebas realizadas en este periodo el lubricante se encuentra todavía en optimas condiciones para realizar el cambio. Además de hacerle esta

modificación a los intervalos de mantenimiento proveniente del fabricante, esto genero un ahorro en los costos, debido a que la reparación de la transmisión cuesta aproximadamente \$78.443.550 (Setenta y ocho millones cuatrocientos cuarenta y tres mil quinientos cincuenta pesos) mas el tiempo del cargador sin laborar el cual es aproximadamente 4 (Cuatro) turnos de 12 hora, en total es costo de la reparación seria \$89.079.870 (Ochenta y nueve millones setenta y nueve mil ochocientos setenta pesos) pero haciendo un análisis de costos detallado es más rentable para la empresa como para la máquina en cuestión de obtención de mas vida útil hacer lo mencionado anteriormente ya que haciendo un cambio de aceite con un intervalo de 1000 horas los costos anuales serian los siguientes:

- Filtro: \$ 57.800 (Cincuenta y ocho mil pesos)
- Hora técnico: \$37.944 (Treinta y siete mil novecientos cuarenta y cuatro pesos)
- Galón de aceite SAE 50: \$41.072 (Cuarenta y un mil setenta y dos pesos)
- Hora operativa del cargador: \$221.590 (Doscientos veinte y un mil quinientos noventa pesos)

A continuación vamos hacer un análisis del por qué debemos aplicar dicha modificación en cuanto a que el cambio del lubricante no sea cada 2000 horas (Dos mil horas) como lo recomienda el fabricante si no cada 1000 horas (Mil horas) como sugerimos en nuestra monografía.

Este análisis parte de la duración de la transmisión (Años de vida útil), para una transmisión de un cargador de ruedas CAT 988H. El tiempo de vida útil es de 17000 (Diecisiete mil horas) aproximadamente, a continuación vamos hacer un análisis detallada de cuánto cuesta cada cambio del lubricante para este componente teniendo en cuenta que cada cambio de lubricante tiene una duración

aproximada de tres horas (3 horas) y que el mismo necesita una cantidad de 23 galones SAE 50. De acuerdo a la información anteriormente mencionada presentamos un análisis de costos para el cambio de aceite de un cargador 988h.

SUBCOMPONENTE	valor unidad (pesos)	CANTIDAD	SUBTOTAL (\$)
Filtro	57.800	1	57.800
Hora Técnico	37.944	3	113.832
Galón Aceite SAE 50	41.072	23	944.656
Hora operativa	221.590	3	664.770
TOTAL			1.781.058

A continuación se realizó un análisis de costos con los intervalos de cambios del lubricante como lo recomienda el fabricante y como se ha venido haciendo para el cargador de ruedas CAT 988H pero a este se le sumo el costo aproximado de la reparación del componente del mismo y teniendo en cuenta que la vida útil del mismo es de 17000 horas (diecisiete mil horas) y los cambios sugeridos por el fabricante son cada 2000 horas (Dos mil horas) tendríamos que hacer 8,5 cambios de lubricante, por ende tenemos los siguientes costos:

$$8,5 \text{ Cambios} * \$1.781.058 = \$15.138.993$$

$$\text{Costo reparación} = \$89.079.870$$

$$V_A = \$104.218.863$$

Ahora se realizó el análisis de costos pero con un intervalo de cambio de lubricante cada 1000 horas (Mil horas) como se sugirió, con esto se tiene que:

$$17 \text{ Cambios} * \$1.781.058 = \$30.277.986$$

Costo reparación controlada = \$0

$V_u = \$30.277.986$

$V_A - V_u = \text{ahorro}$

$V_A - V_u = \$73.940.877$

El ahorro que se tiene con esta modificación sería de \$73.940.877 (Setenta y tres millones novecientos cuarenta mil ochocientos setenta y siete pesos), tal vez surgirán interrogantes como por ejemplo el valor de \$0 en el costo de reparación controlada, la razón es porque el componente no presentaría daño ya que este se daba porque el aceite al cambiarlo cada 2000 horas (Dos mil horas) se encontraba en mal estado pero realizarlo a las 1000 horas (Mil Horas) este se encontraba todavía en su ciclo mínimo de vida.

7. ANALISIS DE RESULTADOS

Partiendo de los datos obtenidos de la empresa se puede ver como estos fueron analizados por cada 1000 horas de trabajo y en cada hora de trabajo se encuentra establecido los equipos que se encontraban en funcionamiento y los numero de fallas ocurridas en cada intervalo. De esta manera se fue tomando lo datos de acuerdo a el numero de cargadores a los que se le tomo el registro.

Como se puede observar los cargadores disminuyen o aumentan dependiendo del número de estos que se encontraban down. En la parte de tasa de falla (λ_e) se puede ver qué.

Las fallas inician con números altos y van decreciendo oscilando entre (0,0011 y 0,00044444 fallas/horas) durante los intervalos de 1000 y 4000 horas en comparación con los datos que le anteceden los cuales se mantienen aproximadamente constantes, oscilando entre (0,00033333 y 0,00028571 fallas/horas) en 5000 y 9000 horas, luego finaliza con fallas más altas en comparación a las demás oscilando entre (0,00042857 y 0,002 fallas/horas) en 9000 y 12000 horas dejando una parábola que refleja la curva de bañera. Lo que hizo interpretar estas últimas fallas tan altas es que estos cargadores se encontraban en desgaste por envejecimiento por lo tanto la vida útil de estos componentes ya se encontraba en su etapa final.

También se puede observar que este tipo de falla trae consigo una elevación de costos alta, ya que. Influye en procesos como paro de producción, paro de operadores, perdida en disponibilidad del cargador y perdida de hora operativa, todo esto se ve reflejado en la economía de la empresa, por ejemplo como se puede ver el arreglo de la transmisión lleva un tiempo aproximado de 48 horas donde el equipo está down, los

operadores no tienen equipo para manejar, la producción se acumula en un pequeño porcentaje y cada hora que el equipo esta down tiene un valor de \$221.590 (Doscientos veinte y un mil quinientos noventa pesos), lo cual es perdida cada vez que este equipo deja de producir por cualquier motivo.

Observando estos resultados y leyendo el análisis anteriormente escrito se puede ver como hay un beneficio significativo para la empresa como para el cargador, ya que. La reducción de costos es alta y aparte la disponibilidad del equipo es mucho mayor porque habrían poco mantenimientos correctivos, así mismo hay un gran beneficio para el cargador ya que durante su próximo análisis de tasa de fallas su vida útil será más extensa que la actual por mejoras hechas para el mismo. Dándole mejor rendimiento y desarrollo del trabajo.

8. CONCLUSION

Mediante el análisis de los datos obtenidos de falla y con resultados obtenidos reflejados en la Figura 6 podemos deducir lo siguiente:

- ✓ Después de analizar los equipos en un intervalo de 1000 horas vemos que las tasas de fallas son bastante altas, es allí según el fabricante realiza el plan de mantenimiento correspondiente al cumplir 2000 horas de trabajo (ver Anexo), sabiendo que los cargadores frontales son operados en condiciones hostiles y de trabajo arduo.
- ✓ Observando los datos corroboramos que las fallas varían entre 11 y 1 fallas, queriendo decir que el número constante de equipos no influye en el resultado de estas.
- ✓ En el primer intervalo de tiempo podemos ver que la tasa de falla es la de más magnitud y que después de 1000 horas las fallas decrecen a medida que se reducen los equipos a analizar.
- ✓ Con el análisis estadístico aplicado a estos equipos podemos ver que estos equipos se encuentran ubicados en la parte de envejecimiento de la curva de “bañera”, según el fabricante y el plan de mantenimiento anexado después de 12000 horas de servicio en esta etapa de la vida útil del equipo se desechan partes o se cambian algunas componentes enumerados en el plan de mantenimiento ya que las fallas se vuelven frecuentes. En este caso se opta por un Overhaul con esto se logra que las fallas decrezcan y vuelva a la etapa de mortalidad infantil.
- ✓ Después del análisis de tasa de fallo se recomienda cambiar el intervalo de cambio de aceite de la transmisión a cada 1000 horas, ya que según el fabricante y al plan de mantenimiento el cambio es de cada 2000 horas de servicio afectando la vida útil del cargador.

- ✓ Con este análisis también se logro obtener más vida útil en estos cargadores, ya que nos enfocamos en que hubieran menos mantenimientos correctivos en el componente tratado (transmisión). Por ende hay menos reparaciones en este.
- ✓ Al modificar los intervalos del cambio del lubricante se obtendrá menos desgaste en los componentes internos de la trasmisión logrando así el mejor desempeño de este.
- ✓ La empresa obtendrá menos pérdidas económicas ya que tendrá una disponibilidad del cargador mayor beneficiándose de esta manera en la parte de producción ya que no habría tantos mantenimientos correctivos por ende el cargador no estaría Down.
- ✓ También se obtuvo otra disminución de costos ya que habría menos pérdida en horas operativas como se puede ver en la pag. 48 por cada reparación de la transmisión hay una pérdida de \$10.636.320 (Diez millones seiscientos treinta y seis mil trescientos veinte pesos)

9. RECOMENDACIONES

Después de este análisis y de haber estudiado los resultados obtenidos hemos diseñado unos intervalos de mantenimiento preventivo el cual recomendamos:

- ✓ Aplicar los intervalos que se modificaron de 2000 a 1000 horas después del Overhaul que el cargador requiere, ya que esta se encuentra localizada en la curva de la bañera en el estado de envejecimiento, esta modificación tiene como objetivo alargar la vida útil de la transmisión y por ende del equipo ya que tuvimos en cuenta el ritmo de trabajo que este lleva y el ambiente en que opera.
- ✓ Hacer un análisis más profundo del lubricante y del comportamiento de estos cargadores al implementar este intervalo de mantenimiento después de un periodo largo de tiempo (mínimo un año).
- ✓ Se recomienda a la empresa hacer un análisis comparativo de otros posibles lubricantes con características similares al aceite utilizado que puedan cumplir la misma función pero que se pueda utilizar en los intervalos que propone el fabricante.

ANEXOS

PROGRAMA DE INTERVALO DE MANTENIMIENTO

Cuando sea necesario

- ✓ Comprobar funcionamiento del aire acondicionado
- ✓ Recicle las baterías
- ✓ Inspeccione o reemplace las baterías o los cables
- ✓ Resetear los interruptores térmicos
- ✓ Limpie o reemplace el elemento primario del filtros de aire
- ✓ Sustituir- Filtro del motor de aire del elemento secundario
- ✓ Limpiar- El pre filtro del aire del motor
- ✓ Sustituir – El cilindro auxiliar de arranque
- ✓ Cebiar - El sistema de combustible
- ✓ Sustituir - Fusibles
- ✓ Sustituir- lámpara de alta intensidad de descarga (HID)
- ✓ Inspección – Filtro de aceite
- ✓ Limpiar – núcleo del radiador
- ✓ Limpiar - rejilla del radiador
- ✓ Ajuste – rieles de los asientos laterales
- ✓ Llenar – deposito de limpia vidrios
- ✓ Inspeccionar/Reemplazar – limpiaparabrisas

Cada 10 Horas de Servicio o Diariamente

- ✓ Prueba – alarma de retroceso
- ✓ Revise – sistema de refrigeración nivel de refrigerante
- ✓ Inspeccionar/Reemplazar – bordes cortantes
- ✓ Inspeccionar – filtro de aire del motor indicador de servicio
- ✓ Chequear – nivel de aceite de motor
- ✓ Chequear - nivel de aceite del sistema hidráulico
- ✓ Inspeccionar – cinturón de seguridad

- ✓ Chequear – nivel de aceite de la transmisión
- ✓ Limpiar – ventanas

Cada 50 Horas de Servicio o Semanal

- ✓ Lubricar – estabilizador buldócer
- ✓ Limpiar/Reemplazar – cabina filtro de aire
- ✓ Chequear/drenar – filtro primario del sistema de combustible (separador de agua)
- ✓ Drenaje – agua y sedimentos del tanque de combustible
- ✓ Lubricar – cilindro de soporte superior giratorio
- ✓ Lubricar – cilindro de levante superior del cojinete moñón
- ✓ Chequear – inflado de llantas

Cada 100 Horas de Servicio o 2 Semanas

- ✓ Lubricar – rodamientos de oscilación del eje
- ✓ Lubricar – rodamientos cilindro de dirección

Inicial 250 Horas de Servicio

- ✓ Inspeccionar/Ajustar – unidad electrónica inyectora
- ✓ Chequear – juego de válvulas del motor
- ✓ Inspeccionar – los rotores de válvulas del motor
- ✓ Sustituir – filtro de aceite de la transmisión

Cada 250 Horas de Servicio o Mensual

- ✓ Limpiar – baterías
- ✓ Inspeccionar/Ajustar/Reemplazar – Cinturones
- ✓ Chequear - acumulador de frenos
- ✓ Probar - sistema de frenos
- ✓ Chequear - nivel de aceite del diferencial y mando final
- ✓ Inspeccionar/Reemplazar – indicador de servicio del filtro de aire del motor
- ✓ Cambiar - aceite de motor (alta velocidad) y filtro de aceite
- ✓ Obtener – muestra de aceite del motor
- ✓ Cambiar – aceite de motor y filtro

Inicial 500 Horas de Servicio

- ✓ Obtener - muestra de refrigerante del sistema de refrigeración
- ✓ Ajuste - rieles laterales de asientos

Cada 500 Horas de Servicio o 3 Meses

- ✓ Reemplazar - filtro de aceite del enfriador
- ✓ Obtener - muestra del refrigerante del sistema de refrigeración
- ✓ Obtener - muestra de aceite del diferencial y mando final
- ✓ Cambiar - aceite de motor (alta velocidad) y filtro de aceite
- ✓ Cambiar - aceite de motor y filtro
- ✓ cambiar – filtro primario del sistema de combustible (separador de agua)
- ✓ cambiar - filtro secundario del sistema de combustible
- ✓ Limpiar tapa del tanque del combustible y filtro
- ✓ Cambiar filtro de aceite del sistema hidráulico (dirección e implemento de piloto)
- ✓ Obtener - muestra de aceite del sistema hidráulico
- ✓ Cambio - filtro de aceite de la transmisión
- ✓ Obtener muestra de aceite de la transmisión

Cada 1000 Horas de Servicio o 6 Meses

- ✓ Lubricar - articulación y rodamientos
- ✓ Apriete – batería sostener sujetado
- ✓ Cambiar - filtro de drenaje de aceite
- ✓ Lubricar - eje de accionamiento y soporte de rodamientos
- ✓ Inspeccionar estructura de protección contra vuelcos (ROPS)
- ✓ Cambio - aceite de transmisión

Cada 2000 Horas de Servicio o 1 Año

- ✓ Cambiar - aceite del diferencial y mando final
- ✓ Inspeccionar/ajustar – unidad electrónica de inyectores
- ✓ Chequear - juego de valvulas del motor

- ✓ Inspeccionar - rotadores de válvulas del motor
- ✓ Cambiar - aceite del sistema hidráulico
- ✓ Limpiar - tanque hidráulico de las válvulas de alivio
- ✓ Cambiar - secadora refrigerante

Cada Año

- ✓ Obtener - Muestra del refrigerante del sistema de refrigeración nivel 2

Cada 3000 Horas de Servicio o 2 Años

- ✓ Inspeccionar - amortiguadores de vibraciones del cigüeñal
- ✓ Inspeccionar - montaje del motor

Cada 3 Años Después de la Fecha de Instalación o Cada 5 Años Después de la Fecha de Fabricación

- ✓ Cambio – cinturón de seguridad

Cada 3000 Horas de Servicio o 2 Años

- ✓ Inspección - montaje del motor

Cada 4000 Horas de Servicio o 2 Años

- ✓ Cambio - aceite del sistema hidráulico

Cada 4000 Horas de Servicio o 2.5 Años

- ✓ Inspeccionar/ajustar - unidad electrónica de inyectores

Cada 5000 Horas de Servicio o 3 Años

- ✓ Inspección - alternador
- ✓ Inspeccionar - bomba de agua del motor
- ✓ Inspeccionar - motor de arranque
- ✓ Inspeccionar - turbo cargador

Cada 6000 Horas de Servicio o 3 Años

- ✓ Añadir - refrigerante al sistema de refrigeración
- ✓ Inspeccionar - motor de bomba de agua

Cada 12 000 Horas de Servicio o 6 Años

- ✓ Cambio - refrigerante del sistema de enfriamiento
- ✓ Cambio - agua del sistema de enfriamiento del regulador de temperatura



www.gecolsa.com.co

Distribuidor exclusivo
de CATERPILLAR en Colombia
NT. 880.902.076-1

A QUIEN INTERESE

A través de este comunicado, CERTIFICAMOS que los datos suministrados a los señores **CHAPARRO TELLEZ CHRISTIAN CAMILO** identificado con cedula de ciudadanía No. 1140825723 de Barranquilla (Atlántico) y **MERLANO TORRES GILBERTO JULIO** identificado con cedula de ciudadanía No. 1.122.810.110 de Barrancas (La Guajira) son veraces, de tal manera que no pueden ser ventilados a terceros ya que es información confidencial de la compañía.

Se expide la presente certificación a los 30 días del mes de agosto de 2012

Atentamente,


EDGAR CASTAÑEZ NIBLES
Ingeniero de Servicios

Barranquilla Centro
Calle 28 No. 458 - 139
Tel.: (5) 579 7118 - (5) 379 6560
Fax: (5) 379 7100

Barranquilla Miraflores
Ante el Aeropuerto
Cra. 19 Municipio de Galindes
A.A. 320 765 - (5) 342 9998
(5) 340 8754 - (5) 340 7033 Fax: (5) 340 8941



Barranquilla Norte
Carrera 518 No. 82 - 83
Tel.: (5) 386 1490 - (5) 378 8166
Fax: (5) 386 3714

Bogotá D.E.
Avenida de las Américas No. 424 - 21
Tel.: (1) 485 5554 - 144
Fax: (1) 368 8766 - A.A. 3684



Buenavista
Avenida Guadalupe Seca No. 33A - 33
Tel.: (7) 834 8982
Fax: (7) 658 4731

Cali
Km. 4 Antigua Carretera a Irbidón
Tel.: (3) 524 4157
Fax: (3) 668 8888 - 888 0798



Cartagena
Municipio de Amparo - Local 16 - 5
Diagonal 21 No. 64 - 11
Tel.: (5) 455 1313 - 555 2574 - 555 2985
Fax: (5) 463 2674 - 661 2939

Carepa
Zona Nueva Albania
Tel.: (5) 177 8584 - Fax: (5) 477 4382



Cúcuta
Diagonal Santander No. 8 - 18
Tel.: (7) 571 4889 - 560 1888
Tel/Fax: (7) 571 8480

Medellín
Calle 38 No. 55 - 195
Tel.: (4) 265 5288 - 265 5233
Fax: (4) 265 0257 - 265 6412



BIBLIOGRAFÍA

BEST, Joel (2001). *Damned Lies and Statistics: Untangling Numbers from the Media, Politicians, and Activists*. University of California Press. ISBN 0-520-21978-3.

BITTEL, L./Ramsey, J. (1992). *Enciclopedia del MANAGEMENT*. Ediciones Centrum Técnicas y Científicas. Barcelona, España.

DESROSIÈRES, Alain (2004). *La política de los grandes números*. Ed. Melusina. ISBN 84-933273-5-2.

D. KEITH DENTON. *Seguridad Industrial*. Mc Graw-Hill. 1984. México.
«Engineering statistics handbook». National Institute of Standards and Technology (2008).

FRÉCHET, Maurice (1927), «Sur la loi de probabilité de l'écart maximum», *Annales de la Société Polonaise de Mathématique*, Cracovie 6: 93–116.
Grimaldi-Simonds. *La Seguridad Industrial Su Administración*. Alfaomoga México 1985.

HACKING, Ian (1990). *The Taming of Chance*. Cambridge University Press. ISBN 0-521-38884-8.

JOHNSON, Norman L.; Kotz, Samuel; Balakrishnan, N. (1994), *Continuous univariate distributions*. Vol. 1, *Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics: Applied Probability and Statistics* (2nd edición), New York: John Wiley & Sons, MR1299979, ISBN 978-0-471-58495-7

LINDLEY, D. V. (1985). Making Decisions (2.^a edición) John Wiley & Sons. ISBN 0-471-90808-8.

BOTTINI. Mantenimiento y confiabilidad/Universidad AUSTRAL-Facultad de Ingeniería-ARGENTINA/Programa de Ingeniería y Gestión del Mantenimiento

MURALEEDHARAN, G.; Rao, A.G.; Kurup, P.G.; Nair, N. Unnikrishnan; Sinha, Mourani (2007), «Coastal Engineering», Coastal Engineering 54 (8): 630–638, doi:10.1016/j.coastaleng.2007.05.001

NELSON, Jr, Ralph (05-02-2008). «Dispersing Powders in Liquids, Part 1, Chap 6: Particle Volume Distribution». Consultado el 05-02-2008.

ROSALER, Robert C. (2002). Manual del Ingeniero de Planta. Mac-Graw-Hill/Interamericana de Editores, S.A. de C.V.

ROSIN, P.; Rammler, E. (1933), «The Laws Governing the Fineness of Powdered Coal», Journal of the Institute of Fuel 7: 29–36.

SAGIAS, Nikos C.; Karagiannidis, George K. (2005), «Gaussian class multivariate Weibull distributions: theory and applications in fading channels», Institute of Electrical and Electronics Engineers. Transactions on Information Theory 51 (10): 3608–3619, doi:10.1109/TIT.2005.855598, MR2237527, ISSN 0018-9448.

STIGLER, Stephen M. (1990). The History of Statistics: The Measurement of Uncertainty before 1900. Belknap Press/Harvard University Press. ISBN 0-674-40341-X.

TIJMS, Henk (2004). Understanding Probability: Chance Rules in Everyday life. Cambridge University Press. ISBN 0-521-83329-9.

VOLLE, Michel (1984). Le métier de statisticien (2.^a ed. edición). Económica. ISBN 2-7178-0824-8.

WEIBULL, W. (1951), «A statistical distribution function of wide applicability», J. Appl. Mech.-Trans. ASME 18 (3): 293–297.

Disponible desde:

<http://cmapspublic.ihmc.us/rid=1183171909389_334596337_8722/Distribuci%C3%B3n> [Acceso 15 de Marzo 2012]

Disponible desde:

<<http://www.amtce.com.mx/config>> [Acceso 10 de Octubre 2011]

Disponible desde:

<<http://capacitacionencostos.blogia.com/2006/091204-reduccion-de-costos-un-enfoque-sistemico.php>> [Acceso 22 de Abril 2012]

Disponible desde:

<<http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r62107.PDF>> [Acceso 8 de Mayo 2012]

Disponible desde:

<www.mantenacion.htm> [Acceso 14 de Octubre 2011]

Disponible desde:

<<http://www.mantenimiento/mundial>> [Acceso 3 de Noviembre 2012]

Disponible desde:

<www.mantenimientos.htm> [Acceso 7 de Enero 2012]

Disponible desde:

<<http://www.monografias.com/trabajos35/tipos-riesgos/tipos-riesgos.shtml>>

[Acceso 25 de Mayo 2012]

Disponible desde:

<http://recursostic.educacion.es/newton/web/materiales_didacticos/rendimiento/index.htm> [Acceso 21 de Marzo 2012]

Disponible desde:

<http://www.solomantenimiento.com/m_preventivo.htm> [Acceso 13 de Junio 2012]

Disponible desde:

<<http://www.ub.edu/stat/GrupsInnovacio/Statmedia/demo/Temas/Capitulo4/B0C4m1t9.htm>> [Acceso 27 de Mayo 2012]

Disponible desde:

<http://www.ucema.edu.ar/u/ffiorito/Handout_Simulacion_y_RISK_06.pdf>

[Acceso 19 de Abril 2012]

Disponible desde:

<http://www.uruman.org/material_tecnico/X%20Titulos/Confiabilidad%20&%20Disponibilidad.pdf> [Acceso 21 de Octubre 2011]