

**UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS “CARLOS RAFAEL RODRÍGUEZ”
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES
DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA**

**MODELOS DE AJUSTE PARA LA PLANIFICACIÓN DE LOS MANTENIMIENTOS
EN LA DIVISIÓN TERRITORIAL RADIOCUBA CIENFUEGOS.**



**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL GRADO CIENTÍFICO DE MÁSTER EN
MATEMÁTICA APLICADA**

**AUTOR: ING. ELIZABET DE ARMAS SARDIÑAS
TUTORES: DRA. MARÍA DE LOURDES BRAVO ESTÉVEZ
DR. DOMINGO CURBEIRA HERNÁNDEZ**

CIENFUEGOS

2017

Pensamiento

“La posibilidad de realizar un sueño es lo que hace que la vida valga la pena”.

Paulo Coelho

Agradecimientos

A mi familia, la de siempre y la nueva, por su amor y apoyo incondicional en todas las épocas y ante cualquier adversidad.

A mis tutores por su tiempo, ayuda y comprensión. Sin ellos este trabajo no hubiera sido posible.

A mis compañeros de trabajo por ser una fuente inagotable de experiencia y apoyo.

A mis profesores de la maestría, por el conocimiento.

A mis amigos por siempre estar a mi lado.

A la universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”, por darme la oportunidad.

A todos los que de una forma u otra colaboraron conmigo y estuvieron a lo largo del camino.

A mi esposo por apoyarme y sostenerme en la recta final

Y a la vida, por permitirme realizar un sueño.

Dedicatoria

A Elisa y Fermín, con todo mi amor, gracias.

Resumen

La difusión de radio y televisión dentro del territorio nacional es responsabilidad de la empresa de Radiocomunicación y Difusión de Cuba, RADIOCUBA. En el marco económico y social actual, es una necesidad de dicha empresa, elevar el nivel de eficiencia en sus procesos productivos. Por las características de los mismos, elevar la productividad, es posible actuando directamente sobre el plan de mantenimiento de esta empresa. Modificar las actividades de mantenimiento en función del historial de fallas de los sistemas transmisores, permite evitar interrupciones innecesarias del servicio y aumentar los niveles de productividad. Esta tesis de maestría realiza un estudio y aplicación de modelos matemáticos y técnicas estadísticas en la obtención de mejores políticas para la planificación de los mantenimientos de la División Territorial Radiocuba Cienfuegos. En la investigación se aportan fundamentos teóricos sobre la planificación de los mantenimientos, los análisis estadísticos y la modelación matemática para el ajuste de datos de fallas a modelos probabilísticos. La variedad de los métodos y técnicas utilizados permitieron, a partir de los registros de datos recopilados en la empresa, obtener modelos de ajuste para una adecuada planificación de los mantenimientos, a través de la aplicación de herramientas científicas con bases matemáticas.

Índice general

Introducción1

CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS Y TÉCNICAS ESTADÍSTICAS PARA LA PLANIFICACIÓN DE MANTENIMIENTOS.....9

1.1 Los mantenimientos: antecedentes históricos, definición y objetivos.....9

1.1.1 Tipos de mantenimientos11

1.2 Planificación de los Mantenimientos. Conceptos asociados y parámetros.....14

1.3 Evolución de la tasa de fallas a lo largo del tiempo19

1.4 Modelos de ajuste de fallas a distribución de probabilidades22

1.4.1 Distribución Exponencial de Fallas. Tasa de fallas constantes24

1.4.2. Distribución de Weibull. Tasas de fallas crecientes y decrecientes.....25

1.4.4 Distribución Normal.....28

1.5 Procedimiento de Mantenimiento en la Empresa RADIOCUBA29

Conclusiones parciales del capítulo31

CAPÍTULO II: DESARROLLO DE MODELOS MATEMÁTICOS DE MANTENIMIENTO32

2. 1 Políticas Óptimas de Mantenimiento32

2.2 Características de los Mantenimientos en la División Territorial Radiocuba Cienfuegos40

2.3 Análisis Estadísticos43

2.3.1 Tratamiento estadístico según el tipo de variable44

2.4 Sistema de gestión de datos de averías. Registros de datos48

2.4.1 El Malecón. Reseña Histórica.....49

2.4.2 Centro Transmisor de Televisión “18 Plantas”51

2.5 Características de los Registros de Datos53

Conclusiones parciales del capítulo	54
CAPÍTULO III: ALTERNATIVAS DE PLANIFICACIÓN DE LOS MANTENIMIENTOS DE LA DIVISIÓN TERRITORIAL RADIOCUBA CIENFUEGOS.....	55
3.1 Estadísticos descriptivos	55
3.2 Cálculo de distribuciones de probabilidad de cada Transmisor	60
3.3 Cálculo de la variable MTBF de cada Transmisor	65
3.4 Cálculo de funciones asociadas a la distribución de Weibull	68
3.5 Propuesta de un nuevo plan de mantenimiento.....	70
Conclusiones parciales del capítulo	77
Conclusiones.....	78
Recomendaciones.....	79
Bibliografía.....	80
Anexos.....	85
Anexo 1. Objetivo de las entrevistas realizadas.....	85
Anexo 2: Registro de datos de fallas del SPSS	86
Anexo 3. Tablas de Parámetros de las Distribuciones.	91
Anexo 4. Gráficos de Distribuciones de Weibull.	94
Anexo 5. Tablas de nuevos planes de mantenimiento.	97

Introducción

El uso de técnicas estadísticas y modelos matemáticos en la toma de decisiones es una necesidad del momento actual, debido a la gran complejidad que se presentan en los problemas a los que se enfrenta el ser humano para solucionar determinadas situaciones.

El desarrollo de los modelos matemáticos según Pluas (2003), es una aproximación ampliamente utilizada con el fin de analizar, comprender y predecir el funcionamiento de cualquier sistema de maquinarias en función de las condiciones que rigen su dinámica. Un modelo es una representación matemática simplificada de una realidad compleja, es además una herramienta de ayuda a la toma de decisiones, por lo que sus resultados deben ser inteligibles y útiles.

Modelar, en opinión de Duran (2006), se puede entender simultáneamente como ciencia y como arte. Es una ciencia pues se basa en un conjunto de procesos estructurados: análisis y detección de las relaciones entre los datos, establecimiento de suposiciones y aproximaciones en la representación de los problemas, desarrollo o uso de algoritmos específicos de solución. Es un arte porque materializa una visión o interpretación de la realidad no siempre de manera unívoca.

En la utilización de técnicas estadísticas es muy importante considerar la correcta modelación del problema en cuestión, así como sus variables y las restricciones del modelo considerado con vistas a obtener una adecuada precisión en los resultados, más aún en los problemas asociados con aspectos del proceso de producción en las empresas, como expresa Cardozo (2007).

Hoy en día, el rápido avance tecnológico, el desarrollo de productos altamente sofisticados, el incremento de las perspectivas del consumidor y la intensa competencia global, han obligado a las empresas a mejorar la calidad de sus productos o servicios.

Sin embargo, en opinión de Lazcano (2014), todo usuario sabe que independientemente de la perfección del diseño de un sistema, de la tecnología de su producción o de los materiales usados en su fabricación, a lo largo de su operación se producirán cambios irreversibles, producto del desgaste u obsolescencia de los materiales. La desviación de esas características respecto a los valores apreciados, es lo que se considera como falla del sistema.

Plantea Castañeda (2009), que un componente o equipo ha fallado cuando llega a ser completamente inoperante, puede todavía operar, pero no puede realizar satisfactoriamente la

función para la que fue diseñado. En general, todo lo que existe, se deteriora, rompe o avería con el correr del tiempo. Puede ser a corto plazo o a muy largo plazo. El solo paso del tiempo provoca en algunos equipos, disminuciones evidentes de sus características, cualidades o prestaciones.

Hay muchos sistemas para los cuales se puede recuperar capacidad de funcionamiento y se les denomina sistemas recuperables. Para que un sistema recupere la capacidad de realizar una función es necesario realizar ciertas actividades, conocidas como actividades de mantenimiento. Este concepto se ha incorporado definitivamente a la terminología técnica y social y engloba actividades tan importantes como pueden ser, las actividades productivas clásicas.

La base de sustentación del mantenimiento es esencialmente económica, según refieren Ramos (1998) y Pentón (2005). Los mismos autores plantean que una máquina deteriorada reduce la producción, por lo cual disminuyen las utilidades; se incrementan los riesgos laborales, aparecen las interrupciones e inevitablemente se incrementan los costos. La actividad de mantenimiento, independientemente de la entidad en que se desarrolle, debe lograr la reducción de las averías imprevistas y del tiempo de reparación de los activos fijos, debe procurar la prolongación de la vida útil de los componentes, con el correspondiente ahorro de recursos y energía y con ello reducir el costo de mantenimiento de las instalaciones, dando como resultado la mejora continua de la calidad y la eficiencia de los servicios.

Existen distintos tipos de mantenimiento: correctivo, preventivo, detectivo y mantenimiento basado en la condición; este último ayuda a predecir la falla de un sistema a través del monitoreo de ciertas características del sistema (Ramos, 2009).

Para conseguir el objetivo del mantenimiento, plantea Paladines (2005), la mejor opción es una adecuada simbiosis entre distintos tipos de mantenimientos, pero aplicados en distintas escalas y proporciones, lo cual constituye el mantenimiento planificado.

Con la temática de planificación y secuenciación se tienen un conjunto de modelos matemáticos y técnicas estadísticas, los que permiten resolver varios de los problemas que surgen en diferentes actividades de la vida real. En estas aparecen situaciones en las que se necesita de forma eficiente resolver la asignación de recursos a distintas actividades durante determinado instante de tiempo.

En esta dirección se presentan variados problemas reales que se pueden catalogar y estudiar en función de diferentes parámetros que permiten analizar las distintas posibilidades que se pueden presentar en la práctica. Una buena parte de las investigaciones que se han realizado con esta temática, por solo mencionar algunos autores como Herquedas (2001), Abella (2005), Duran (2006), Cardozo (2007), Ramos (2009), Montoya (2011), Rubio (2011) y Lazcano (2014), se centran en los problemas de planificación, para los que, a pesar de que han sido desarrollados varios modelos matemáticos y técnicas estadísticas de solución, continúan surgiendo nuevas líneas con el objetivo de mejorar las técnicas existentes.

El plan de mantenimiento anual de los equipos transmisores de la Empresa de Radiocomunicación y Difusión de Cuba, RADIOCUBA, permite realizar un análisis objetivo debido a su marcado carácter estático, de cuanto puede mejorar la planificación empresarial con la aplicación de un modelo matemático y técnicas estadísticas de análisis de fallas, adecuados al desempeño real de los equipos.

El 1ro de octubre de 1995 se fundó la Empresa de Radiocomunicación y Difusión de Cuba, RADIOCUBA, la cual tiene la misión de brindar al pueblo un servicio de calidad en cuanto a difusión de radio, televisión y servicios asociados. La misma cuenta con divisiones territoriales en todas las cabeceras provinciales del país.

La División Territorial Radiocuba Cienfuegos cuenta con una red de 60 sistemas transmisores de radio y televisión, agrupados en 17 Centros Transmisores, quedan cobertura a todo el territorio cienfueguero. Los ingresos de la empresa provienen de su único cliente: El Instituto Cubano de Radio y Televisión (ICRT); y es parte de la política de los trabajadores, no solo por compromisos comerciales, sino por estar conscientes de la importante labor que realizan, mantener la señal en el aire las 24 h del día.

Los sistemas de transmisión están compuestos por: equipos de transporte de señales, equipos trasmisores de radio y televisión y sistemas de radiación. Los equipos de transporte de señales y los trasmisores de radio y televisión normalmente se encuentran dentro de los locales de los centros transmisores por lo que pertenecen a la Planta Interior. Siguiendo la misma clasificación, los sistemas de radiación pertenecen a la Planta Exterior. Cada uno de los equipos que conforman estos sistemas de transmisión posee una planificación anual de mantenimiento.

Durante el tiempo en que los sistemas de transmisión están fuera de servicio por trabajos de mantenimientos planificados, la Empresa Radiocuba no pierde ingresos, pero la población sufre regularmente una interrupción del servicio. Por otro lado, son frecuentes los mantenimientos correctivos, estos ocurren cuando se produce una falla en los equipos transmisores o en algún elemento del sistema de radiación; no son planificados, por lo que además de ser la principal fuente de pérdidas de ingreso de la empresa, provocan gran incomodidad en los radioyentes (televidentes) dado que el tiempo de solución del problema, varía en dependencia de la magnitud de la falla.

La frecuencia de los mantenimientos y las acciones que se realizan en los mismos están especificadas en el Procedimiento General de la Dirección de Mantenimiento elaborado y distribuido por Rodríguez & González (2011), especialistas de la División Nacional de Radiocuba. Para la elaboración del mismo, los autores utilizaron como referencias normativas el Manual de Instalación de los Transmisores y la Norma Cubana de Pintura y Sistemas de Iluminación.

El procedimiento rige la forma en que deben ser registradas todas las fallas en cualquiera de los equipos, elementos y componentes de los sistemas de transmisión. La aplicación de este procedimiento ha generado un registro de datos, que recoge todas las causas de interrupción del servicio tanto por mantenimiento preventivos como correctivo de estos sistemas. Fecha, lugar, causa, duración y tipo de falla, son los principales datos que se almacenan. Sin embargo, no se pudo encontrar durante el proceso investigativo de este trabajo, evidencia de la existencia de un mecanismo de retroalimentación que permita modificar la planificación de los mantenimientos de cada equipo, en base al historial de fallas del mismo.

En el proceso productivo se requiere la elevación de los indicadores de eficiencia de los Centros Transmisores con el objetivo de que la empresa no pierda ingresos por fallas imprevistas, de ahí que es necesario, entre otros aspectos, la mejora de los instrumentos utilizados para lograr la planificación de los mantenimientos de cada equipo, en base al historial de fallas del mismo. Esto evidencia una contradicción entre el nivel de eficiencia actual y las necesidades que tiene este proceso productivo de ser más eficiente.

En aras de solucionar este problema, se detectó que no se han realizado estudios en la División Territorial Radiocuba Cienfuegos científicamente fundamentados y con ayuda de técnicas estadísticas y modelos matemáticos, que permitan optimizar la planificación de los

mantenimientos de forma tal que estos tengan en cuenta, el tiempo de explotación del equipo, las recomendaciones del fabricante y el historial de fallas del mismo.

Esta contradicción determinó la formulación del problema científico de esta investigación:

¿Cómo realizar una planificación de mantenimientos teniendo en cuenta los registros de datos del desempeño técnico real de los sistemas transmisores de la División Territorial Radiocuba Cienfuegos?

El objeto de estudio es el proceso de planificación de mantenimientos teniendo en cuenta los registros de datos del desempeño técnico real de los sistemas transmisores de la División Territorial Radiocuba Cienfuegos.

El campo de acción lo constituyen los modelos de ajuste para la planificación de mantenimientos teniendo en cuenta los registros de datos del desempeño técnico real de los sistemas transmisores en la División Territorial Radiocuba Cienfuegos.

Para dar solución al problema científico y transformar el objeto de estudio se plantea como objetivo determinar los modelos de ajuste que permitan una planificación de los mantenimientos de equipos de transmisión en la División Territorial Radiocuba Cienfuegos, que tenga en cuenta los registros de datos del desempeño técnico real de dichos equipos.

Lo planteado permite formular la siguiente hipótesis:

Si se aplican modelos de ajuste en la planificación de los mantenimientos de los sistemas de transmisión de la División Territorial Radiocuba Cienfuegos, que tengan en cuenta los registros de datos del desempeño técnico real de dichos sistemas, entonces se tiene una herramienta para la planificación de estos mantenimientos.

Con la intención de organizar el proceso de investigación se formulan las siguientes tareas científicas:

1. Análisis de la información existente sobre los mantenimientos y su planificación, técnicas estadísticas y modelos matemáticos relacionados con la planificación de mantenimientos.
2. Diagnóstico de la situación actual en la División Territorial Radiocuba Cienfuegos, atendiendo al historial de fallas de los sistemas transmisores, procedimientos de mantenimientos de la empresa, características técnicas de los equipos y especificaciones técnicas de los fabricantes.
3. Preparación de listado de clasificación de las fallas de los equipos según la naturaleza de las mismas.

4. Obtención de los modelos de ajuste para la planificación de mantenimientos de la División Territorial Radiocuba Cienfuegos.

5. Determinación de un plan de mantenimiento para los casos de estudio.

Los métodos del nivel teórico utilizados en la investigación fueron:

Histórico Lógico: para analizar el desarrollo de los principales aspectos de las políticas globales de planificación de mantenimientos en su decurso histórico.

Analítico Sintético: para procesar toda la información relacionada con los aspectos abordados y poder elaborar una planificación de mantenimiento más eficaz.

Hipotético Deductivo: para a partir de la hipótesis, establecer las generalizaciones y obtener los desarrollos de las técnicas estadísticas y modelos matemáticos.

Modelación: para obtener los modelos estadísticos que se adecuen a la solución del problema.

Los métodos de nivel empíricos utilizados fueron:

Análisis Documental: para la revisión de la información de las fuentes primarias a nivel mundial relacionadas con el objeto de estudio, así como los procedimientos que rigen la actividad de mantenimiento en la empresa.

Entrevistas: para definir a partir de la experiencia acumulada por los profesionales de la Empresa RADIOCUBA, el estado del arte de los análisis de fallas y la aplicación de los mismos a la planificación de los mantenimientos en dicha entidad.

En el transcurso de esta investigación se aplicaron métodos, técnicas y procedimientos de la Estadística Matemática tales como: las técnicas de la estadística descriptiva e inferencial y la simulación matemática para crear datos que se ajusten a modelos estadísticos.

Los programas utilizados en esta investigación son: la hoja de cálculo del tabulador electrónico Microsoft Office Excel 2010 para la creación de registros sobre las fallas de los sistemas transmisores, el paquete Estadístico para las Ciencias Sociales (en inglés *Statistical Package for the Social Sciences* SPSS) versión 23.0, para los análisis estadísticos, la obtención de las distribuciones de probabilidad y los parámetros de las mismas; y para el cálculo de las funciones de probabilidad asociadas a las distribuciones estadísticas se utilizó el programa matemático Laboratorio de Matrices (en inglés *Matrix Laboratory, MATLAB*).

El aporte práctico de la investigación está dado por la obtención de modelos de ajuste que permitan una planificación de los mantenimientos de equipos de transmisión en la División

Territorial Radiocuba Cienfuegos, que tenga en cuenta los registros de datos del desempeño técnico real de dichos equipos.

La novedad científica de esta investigación radica en la aplicación de un enfoque matemático que permita incluir en la planificación de mantenimientos de la División Territorial Radiocuba Cienfuegos, los registros de datos del desempeño técnico de los sistemas transmisores, a partir de los cuales se obtienen modelos de ajuste que ayudan en la toma de decisiones a la hora de definir frecuencia, tipo y principales actividades a realizar en los mantenimientos de estos sistemas, más acorde con la realidad técnica, geográfica y económica de la empresa lo que conducirá a una mejor calidad del servicio y a un aumento de la productividad.

El cuerpo de la tesis está estructurado de la siguiente forma: resumen, introducción, tres capítulos, conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos. El contenido de los capítulos se describe de forma general a continuación.

Capítulo 1: “Fundamentos teóricos de los modelos matemáticos y técnicas estadísticas para la planificación de mantenimientos”. Se hará un resumen de los antecedentes históricos de los mantenimientos y su planificación. Se analizarán los antecedentes de las técnicas estadísticas y modelos matemáticos utilizados en la optimización de los mantenimientos. Se describirá el proceso de mantenimiento en la empresa RADIOCUBA.

Capítulo 2: “Desarrollo de modelos matemáticos de Mantenimiento”. Se analizarán algunas de las políticas de mantenimiento con mayor aplicación en la industria. Se realizará una valoración del proceso de planificación de los mantenimientos en la División Territorial Radiocuba Cienfuegos, fortalezas, debilidades y aspiraciones. Se realizará una breve introducción sobre tratamiento estadístico. Se creará un el registro de datos “Historial de fallas de los Sistemas de Transmisión de Radiocuba Cienfuegos” a partir de la utilización de Microsoft Office Excel 2010.

Capítulo 3: “Alternativas de planificación de los mantenimientos de la División Territorial Radiocuba Cienfuegos”. Se realizará un análisis estadístico inicial con la utilización del paquete Estadístico para las Ciencias Sociales V.23. Se obtendrá un modelo estadístico que ajuste los datos de las fallas analizadas mediante el paquete Estadístico para las Ciencias Sociales V.23. Con la utilización del software Laboratorio de Matrices se calcularán los parámetros del modelo estadístico seleccionado para cada uno de los elementos o equipos que conformen los registros de datos de los casos de estudio. Se analizarán y valorarán los

resultados arrojados por el modelo estadístico empleado. Con este análisis se tomarán las decisiones de mantenimiento óptimas y se elaborará una nueva propuesta de planificación de mantenimiento. Se comparará con la planificación actual que utiliza la empresa.

CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS Y TÉCNICAS ESTADÍSTICAS PARA LA PLANIFICACIÓN DE MANTENIMIENTOS.

En este capítulo se realiza una introducción a la teoría del mantenimiento, así como a los modelos matemáticos y técnicas estadísticas más utilizados en su planificación. Se realiza una introducción a la actividad de mantenimiento en la División Territorial Radiocuba Cienfuegos.

1.1 Los mantenimientos: antecedentes históricos, definición y objetivos

La palabra mantenimiento se emplea para designar las técnicas utilizadas para asegurar el correcto y continuo uso de equipos, maquinaria, instalaciones y servicios. Para los hombres primitivos, el mantenimiento radicaba en el hecho de afilar herramientas y armas, coser y remendar las pieles de las tiendas y vestidos, cuidar de sus piraguas y otros (Abella, 2005).

La actividad de mantenimiento empezó con el pensamiento del hombre y con la aplicación de un mantenimiento correctivo incipiente, que se desarrolló lentamente hasta principios de la Revolución Industrial en 1780. Esta primera técnica de mantenimiento que se utilizaba, se limitaba a reparar o sustituir los componentes que presentaban averías. Autores como Montoya (2011) y Rubio (2011) hacen referencia al surgimiento de estas primeras técnicas y su decursar histórico.

El mantenimiento ha sido objeto de continuos cambios, desde su aparición en el escenario industrial. A partir de 1925, se hace patente en la industria americana la necesidad de organizar el mantenimiento con una base científica. Se empieza a pensar en la conveniencia de reparar antes de que se produzca el desgaste o la rotura, para evitar interrupciones en el proceso productivo, con lo que surge el concepto del mantenimiento preventivo. Pero no es hasta los años 40 según Castañeda (2009), que surge lo que es llamada la primera generación del mantenimiento en la industria, cuya única técnica empleada era la reparación a la fallas.

En la década del 50, nace una segunda generación, enfocada en aumentar la disponibilidad y aprovechar al máximo, la vida útil de los activos físicos, todo esto al más bajo costo posible. Para lograrlo, se desarrollaron actividades de mantenimiento preventivo, sistemas de planificación y control.

Actualmente el mantenimiento afronta lo que se podría denominar como su tercera generación, que surge a partir de los años 80, cuyos esfuerzos están dirigidos a mejorar la calidad de los productos, aumentar la confiabilidad y efectividad de los activos físicos,

mejorar la seguridad y cuidar el ambiente, es decir, hacer el proceso productivo más eficiente, empleando técnicas y procedimientos como, estudios de riesgos, análisis de confiabilidad, disponibilidad, efectividad y mantenimiento basado en condición, que permitieran alcanzar las metas propuestas.

Como concepto, define Barron (2010), que el mantenimiento no es una función "miscelánea", produce un bien real, que puede resumirse en: capacidad de producir con calidad, seguridad y rentabilidad.

Por otra parte Abella (2005) expresa que el mantenimiento se puede definir como el control constante de las instalaciones (en el caso de una planta) o de los componentes (en el caso de un producto), así como el conjunto de trabajos de reparación y revisión necesarios para garantizar el funcionamiento regular y el buen estado de conservación de un sistema en general. Por lo tanto, las tareas de mantenimiento se aplican sobre las instalaciones fijas y móviles, sobre equipos y maquinarias, sobre edificios industriales, comerciales o de servicios específicos, sobre las mejoras introducidas al terreno y sobre cualquier otro tipo de bien productivo.

El mantenimiento, está relacionado muy estrechamente en la prevención de accidentes y lesiones en el trabajador ya que tiene la responsabilidad de mantener en buenas condiciones, las máquinas, herramientas y equipo de trabajo en general, lo cual permite un mejor desenvolvimiento y seguridad evitando en parte riesgos en el área laboral (Barron, 2010).

El objetivo final del mantenimiento se puede sintetizar en los siguientes puntos:

- Evitar, reducir, y en su caso, reparar las fallas sobre los bienes.
- Disminuir la gravedad de las fallas que no se lleguen a evitar.
- Evitar detenciones inútiles o paros de máquinas.
- Evitar accidentes.
- Evitar incidentes y aumentar la seguridad para las personas.
- Conservar los bienes productivos en condiciones seguras y preestablecidas de operación.
- Reducir costes.
- Alcanzar o prolongar la vida útil de los bienes.

En resumen, un 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.

Existen varios tipos de mantenimientos, que se consideran útiles para este trabajo, los cuales son explicados brevemente a continuación.

1.1.1 Tipos de mantenimientos

Tradicionalmente, se consideraba que existían tres tipos de mantenimiento distintos: predictivo, preventivo, y correctivo. Sin embargo en opinión de Fibertel (2014), existen cuatro tipos de mantenimiento distintos, que son los que se asumen en este trabajo:

- Mantenimiento correctivo, también llamado trabajo a la falla.
- Mantenimiento preventivo, que puede ser de dos tipos: sustitución o reacondicionamiento cíclico.
- Mantenimiento predictivo, también llamado mantenimiento a condición.
- Mantenimiento detectivo o búsqueda de fallas.

A continuación, se realiza una breve caracterización de cada uno de los tipos de mantenimientos mencionados.

Mantenimiento Correctivo.

Es el conjunto de actividades de reparación y sustitución de elementos deteriorados por repuestos que se realiza cuando aparece la falla. Este sistema resulta aplicable en sistemas complejos, normalmente componentes electrónicos o en los que es imposible predecir las fallas y en los procesos que admiten ser interrumpidos en cualquier momento y durante cualquier tiempo, sin afectar la seguridad. También para equipos que ya cuentan con cierta antigüedad. Tiene como inconvenientes, que la falla puede sobrevenir en cualquier momento, muchas veces, el menos oportuno, debido justamente a que en esos momentos se somete al bien a una mayor exigencia.

Asimismo, fallas no detectadas a tiempo, ocurridas en partes cuyo cambio hubiera resultado de escaso coste, pueden causar daños importantes en otros elementos o piezas que se encontraban en buen estado de uso y conservación. Otro inconveniente de este sistema, es que se debe disponer de un capital importante invertido en piezas de repuesto. A este tipo de mantenimiento hacen referencia autores como Rivera & Palacio (2008), Ramos (2009) y Castaño (2014).

Mantenimiento Preventivo.

Es el conjunto de actividades programadas de antemano, tales como inspecciones regulares, pruebas, reparaciones y otras, encaminadas a reducir la frecuencia y el impacto de las fallas de un sistema. Autores como Rubio (2011), Velázquez (2012) y Castaño (2014), caracterizan de la siguiente forma este tipo de mantenimiento.

Las desventajas que presenta el mantenimiento preventivo son las siguientes:

- Cambios innecesarios: al alcanzarse la vida útil de un elemento se procede a su sustitución, encontrándose muchas veces, que el elemento que se cambia podía ser utilizado durante un tiempo más prolongado. En otros casos, ya con el equipo desmontado, se observa la necesidad de aprovechar para realizar el reemplazo de piezas menores en buen estado, cuyo coste es escaso frente al correspondiente de desmontaje y montaje, con el fin de prolongar la vida del conjunto. Este es el caso de una anticipación de reemplazo o sustitución prematura.
- Problemas iniciales de operación: cuando se realizan las primeras pruebas de funcionamiento o se montan piezas nuevas, pueden aparecer diferencias en la estabilidad o seguridad del equipo.
- Coste en inventarios: el coste en inventarios sigue siendo alto aunque previsible, lo cual permite una mejor gestión.
- Mano de obra: se necesita contar con mano de obra intensiva y especial, a efectos de liberar el equipo para el servicio lo más rápidamente posible.
- Mantenimiento no efectuado: si por alguna razón, no se realiza un servicio de mantenimiento previsto, se alteran los períodos de intervención y se produce una degeneración del servicio.

Por lo tanto, la planificación para la aplicación de este tipo de mantenimiento según explica Burga (2010) consiste en:

- Definir qué partes o elementos serán objeto de este mantenimiento.
- Establecer la vida útil de dichos elementos.
- Determinar los trabajos a realizar en cada caso.
- Agrupar los trabajos según época en que deberán efectuarse los mantenimientos.

Mantenimiento Preventivo Legal.

Es el mantenimiento que se realiza tanto en plazos como en operaciones impuestas por imperativos de la reglamentación vigente. No obedece a razones puramente técnicas. De este modo se ha esquematizado un procedimiento racional de acometer el objetivo de mantenimiento: adelantarse mediante un mantenimiento planificado consistente en una parte predictiva y otra preventiva (Paladines, 2005).

Mantenimiento Predictivo.

Es el conjunto de actividades de seguimiento y diagnóstico continuo (monitorización) de un sistema, que permiten una intervención correctora inmediata como consecuencia de la detección de algún síntoma de falla.

El mantenimiento predictivo según Cardozo (2007), se basa en el hecho de que la mayoría de las fallas que se producen lentamente y previamente, en algunos casos, arrojan indicios evidentes de una futura falla, bien a simple vistazo por la monitorización, es decir, mediante la elección y medición de algunos parámetros relevantes que representen el buen funcionamiento del equipo analizado. Por ejemplo, estos parámetros pueden ser: la temperatura, la potencia directa, la potencia reflejada, las corrientes, los voltajes y otras. En otras palabras, este método, persigue predecir la evolución de las futuras fallas (Mariani, 2007).

Este sistema tiene la ventaja de que el seguimiento permite contar con un registro de la historia de la característica en análisis, sumamente útil ante fallas repetitivas; puede programarse la reparación en algunos casos, junto con la parada programada del equipo y existen menos intervenciones de la mano de obra en mantenimiento.

Mantenimiento Detectivo.

El mantenimiento detectivo consiste en la prueba de dispositivos de protección bajo condiciones controladas, para asegurarse que estos dispositivos serán capaces de brindar la protección requerida cuando sean necesarios. En este mantenimiento según explican autores como Planas (2005), no se está reparando un elemento que falló (mantenimiento correctivo), no se está cambiando ni reacondicionando un elemento antes de su vida útil termine (mantenimiento preventivo), ni se están buscando síntomas de que una falla está en el proceso de ocurrir (mantenimiento predictivo). Por lo tanto, el mantenimiento detectivo es un cuarto tipo de mantenimiento, al que también se le llama búsqueda de fallas o prueba funcional, y al intervalo en el cual se realiza esta tarea, intervalo de búsqueda de fallas (en inglés *Failure-*

Finding Interval FFI). Por ejemplo, arrojar humo a un detector contra incendios es una tarea de mantenimiento detectivo (Rubio, 2011).

En la actualidad existen variados sistemas para acometer el servicio de mantenimiento de las instalaciones en operación. Algunos de ellos no solamente centran su atención en la tarea de corregir las fallas, sino que también tratan de actuar antes de la aparición de las mismas haciéndolo tanto sobre los bienes, tal como fueron concebidos, como sobre los que se encuentran en etapa de diseño, introduciendo en estos últimos, las modalidades de simplicidad, diseño robusto, análisis de su mantenibilidad, diseño sin mantenimiento y otros.

1.2 Planificación de los Mantenimientos. Conceptos asociados y parámetros

En opinión de Giret (2004), planificar es el proceso de seleccionar y secuenciar actividades cuya ejecución consigue uno o más objetivos y satisfacen un conjunto de restricciones operativas del entorno.

Por su parte, Paladines (2005) plantea que el surgimiento de la decisión impostergable de planificar e implementar la reestructuración del proceso de mantenimiento y las actividades relacionadas, para adecuarlo a las exigencias y tendencias actuales y lograr un adecuado nivel de confiabilidad, priorizando la atención de los equipos críticos y haciendo uso racional y económico de los recursos, fue una necesidad del contexto histórico.

Los mantenimientos planificados dieron lugar al surgimiento de los planes de mantenimiento. El plan de mantenimiento está formado por un conjunto de actividades de mantenimiento planificadas y programadas en el tiempo. El responsable del mantenimiento de una empresa deberá realizar los planes de mantenimiento para cada equipo o medio y, después, organizar el conjunto de trabajos resultante de todos ellos, generando a diario las correspondientes órdenes de trabajo a realizar por los técnicos de mantenimiento.

Los planes de mantenimiento se realizan de acuerdo a las indicaciones del fabricante en el manual de cada máquina, a los conocimientos técnicos de los responsables de mantenimiento y a su experiencia adquirida durante el funcionamiento, reparación de averías y explotación de las mismas.

Antes de comenzar a elaborar planes de mantenimiento para un determinado equipo, se debe tener un claro entendimiento del contexto en el que funciona el mismo. Un ejemplo de esto se puede encontrar en la presentación “RCM - Mantenimiento Centrado en Confiabilidad” (2005), donde se explica que dos equipos similares operando en distintas condiciones, pueden

resultar en planes de mantenimiento totalmente distintos si sus contextos de operación son diferentes. Un caso típico es el de un sistema de reserva, que suele requerir tareas de mantenimiento muy distintas a las de un sistema principal, aun cuando ambos sistemas sean físicamente idénticos. Entonces, antes de comenzar el análisis se debe esclarecer el contexto operacional de los equipos donde se debe indicar: régimen de operación del equipo, disponibilidad de mano de obra y repuestos, consecuencias de indisponibilidad del equipo.

Existe un conjunto de conceptos asociados al mantenimiento que es necesario en esta investigación tenerlos presente, por lo que se comentan seguidamente.

Autores como Mariani (2007), Orjuela (2008) y Castaño (2014) hacen alusión a algunos conceptos de vital importancia, en aras de caracterizar el comportamiento de cualquier equipo al que se le vaya a realizar un mantenimiento. A continuación se definen algunos:

- **Falla:** es toda alteración o interrupción en el cumplimiento de la función requerida.
- **Fiabilidad (de un elemento):** es la probabilidad de que funcione sin fallas durante un tiempo (t) determinado, en unas condiciones ambientales dadas.
- **Mantenibilidad:** es la probabilidad de que, después de la falla, sea reparado en un tiempo dado.
- **Disponibilidad:** es la probabilidad de que este en estado de funcionar (ni averiado ni en revisión) en un tiempo dado.

Se adopta para simplificar, que el esquema de vida de una máquina consiste en una alternancia de tiempos de buen funcionamiento y tiempos de averías. En la Figura 1.1 se puede observar el significado de cada segmento.

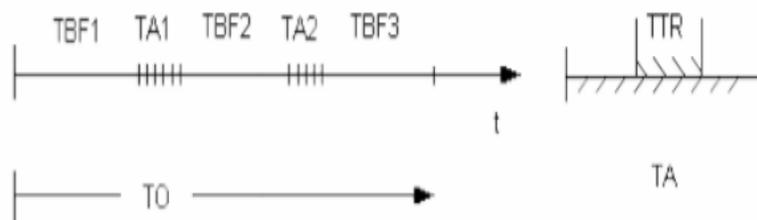


Figura 1.1. Esquema de vida de una máquina

Fuente: Análisis de fiabilidad de equipos (2009).

TBF: Tiempo entre fallas.

TA: Tiempo de parada.

TTR: Tiempo de reparación.

TO: Tiempo de operación.

n: Número de fallas en el período considerado.

Se pueden definir estas variables como medidas características de los conceptos anteriormente mencionados. A continuación, se profundiza en la definición de estos conceptos.

Fiabilidad.

La teoría de la fiabilidad es el conjunto de teorías y métodos matemáticos y estadísticos, procedimientos y prácticas operativas que, mediante el estudio de las leyes de ocurrencia de fallas, están dirigidos a resolver problemas de previsión, estimación y optimización de la probabilidad de supervivencia, duración de vida media y porcentaje de tiempo de buen funcionamiento de un sistema.

Tiene sus orígenes en la aeronáutica (seguridad de funcionamiento). Un paso significativo según se explica en Análisis de fiabilidad de equipos (2009), se dió en Alemania cuando se trabajó con el misil V1. Von Braun consideraba erróneamente que en una cadena de componentes, cuyo buen funcionamiento era esencial para el correcto funcionamiento del conjunto, la probabilidad de fracaso dependía exclusivamente del funcionamiento del componente más débil. Erich Pieruschka matemático del equipo, dio vida a la fórmula de la fiabilidad del sistema a partir de la fiabilidad de los componentes, que permite afirmar que la fiabilidad del conjunto es siempre inferior a la de sus componentes individuales.

Posteriormente en el sector militar en EEUU, para garantizar el funcionamiento de sistemas electrónicos y finalmente en el industrial, para garantizar la calidad de los productos y eliminar riesgos de pérdidas valiosas, le dieron el impulso definitivo para su paulatina implantación en otros campos.

Se define entonces el tiempo medio entre fallas (del inglés *Mean Time Between Failures*; MTBF) como medida de la Fiabilidad de la siguiente forma:

$$MTBF = \frac{\sum_0^n TBF}{n} \text{ (Días)} \quad (1.1)$$

y su inversa (λ) conocida como la tasa de fallas:

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \quad (1.2)$$

(Número de fallas / año)

Otra medida de la fiabilidad es el factor de fiabilidad (FF), donde:

HT: Horas totales de período.

HMC: Horas de Mantenimiento Correctivo (Averías).

HMP: Horas de Mantenimiento Preventivo (Programado).

$$FF = \frac{HT-HMC}{HT} \quad (1.3)$$

El desarrollo ocurrido en el campo de la fiabilidad durante las últimas cuatro décadas según explica Monsalve (2006), ha tenido impacto significativo en los siguientes temas:

- Herramientas para la toma de decisiones relacionadas con el estudio de riesgos, sistemas expertos, modos de falla y análisis de efectos.
- Modelación de fallas y optimización de la confiabilidad, que incluyen: gráficas, pruebas, análisis, interpretación y toma de decisiones.
- Nuevas técnicas de mantenimiento y filosofías de mejoramiento continuo en sus procesos, destacándose entre otras, el Mantenimiento Productivo Total (TPM), el Control Total de la Calidad (TQC), el Mantenimiento según Estado, el Control Estadístico de Proceso (SPC), ISO 9000 con ciclos PRVA (planear, rehacer, verificar, actuar), el Justo a Tiempo (ITT), las Cinco S, el RCM y el RCM 2 (RCM Plus) (Monsalve, 2006).
- Diseño de equipos con mayor énfasis en la confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad.
- Cambios en los procesos de pensamientos, diseño y mejoramiento de estructuras organizacionales que incluyen la participación multidisciplinaria de las personas, el trabajo en pequeños grupos y la flexibilidad en la implementación.
- Entrenamiento y capacitación orientada hacia el diseño, el mantenimiento y la operación eficiente de los equipos de producción.
- Los costos de la inversión y el análisis técnicos del ciclo de vida útil.
- El análisis de los sistemas de seguridad integral en las personas, las instalaciones físicas, el medio ambiente y el cumplimiento de normas regulatorias.

Mantenibilidad.

La capacidad de mantenimiento o mantenibilidad es el conjunto de características y factores de diseño de un equipo que permite que su mantenimiento sea cumplimentado por personal de cualificación normal dentro de una gama de tiempos límite. También se define como el tiempo total bajo el cual puede esperarse que se repare un porcentaje fijo de fallas. La distribución

estadística quedará fijada por el llamado tiempo medio de reparación (por su siglas en inglés *Mean Time To Repair*, MTTR) (Fibertel, 2014).

El tiempo medio de reparación (MTTR) como medida de la mantenibilidad se define con los siguientes parámetros:

$$MTTR = \frac{\sum_0^n TTR_i}{n} \text{ (Días)} \quad (1.4)$$

y su inversa (μ) conocida como la tasa de reparación:

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \text{ (No de Reparaciones/Año)} \quad (1.5)$$

Disponibilidad.

La disponibilidad en opinión de Montoya (2011), es la probabilidad de un sistema de estar en condiciones de funcionamiento en un tiempo t . El sistema no debe haber tenido fallas, o bien, en caso de haberlas sufrido, debe haber sido reparado en un tiempo menor que el máximo permitido para su mantenimiento (Planas, 2005). La disponibilidad (D) es una medida derivada de las anteriores y la definimos con los siguientes parámetros:

$$D = \frac{\sum_0^n TBF_i}{TO} = \frac{\sum TBF_i}{\sum TBF_i + \sum TA_1} = \frac{\sum TBF_{i/n}}{\sum TBF_{i/n} + \sum TA_{1/n}} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (1.6)$$

Es decir, la disponibilidad es función de la fiabilidad y de la mantenibilidad.

Otra medida de la disponibilidad es el factor de disponibilidad:

$$FD = \frac{HT - HMC - HMP}{HT} \quad (1.7)$$

donde se pone claramente de manifiesto que la disponibilidad es menor que la fiabilidad, puesto que, al contabilizar el tiempo de buen funcionamiento, en la disponibilidad se prescinde de todo tipo de causas posibles (se incluye el tiempo de mantenimiento preventivo planificado):

$$D = \frac{TO - \sum_0^n TA_i}{TO} \quad (1.8)$$

Sin embargo, en el cálculo de la fiabilidad al contabilizar el tiempo de buen funcionamiento, no se incluye el tiempo de mantenimiento preventivo programado.

El esquema siguiente es un resumen de los parámetros que caracterizan la vida de los equipos:

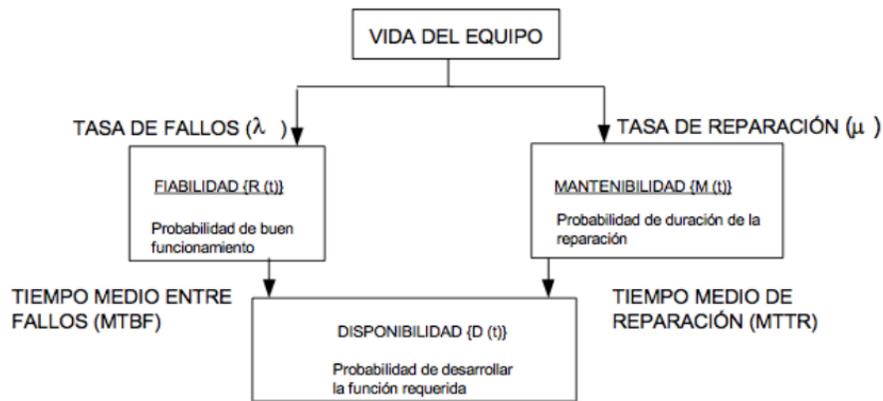


Figura.1.2 Parámetros de vida de un equipo.

Fuente: Análisis de fiabilidad de equipos (2009).

Cuando se trata de los parámetros de vida de un equipo, es necesario referirse a la tasa de fallas del mismo. A continuación se trata este tema.

1.3 Evolución de la tasa de fallas a lo largo del tiempo

La duración de la vida de un equipo según autores como Serra (2002), Serra& Díaz (s.f), Abella (2005), Cardozo (2007) y Lazcano (2014) se puede dividir en tres períodos diferentes. Estos tres períodos se distinguen con claridad en un gráfico en el que se represente la tasa de fallas del sistema frente al tiempo. Este gráfico se denomina “Curva de bañera”. Aunque existen hasta seis tipos diferentes de curva de bañera, dependiendo del tipo de componente del que se trate, una curva de bañera convencional se adapta a la siguiente figura:

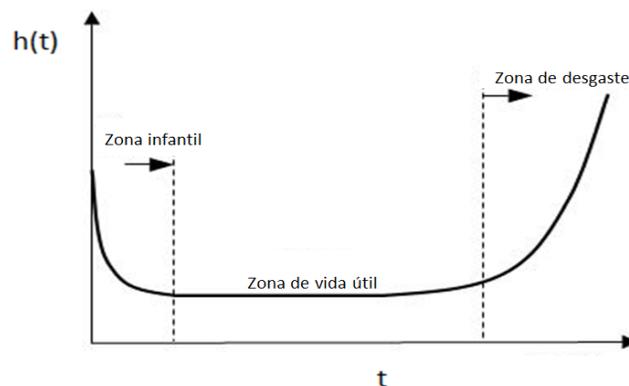


Figura 1.3. Curva de “bañera”

Fuente: Análisis de fiabilidad de equipos (2009).

En una curva de la bañera de tipo convencional se aprecian las tres zonas, al cuales se describen a continuación:

- Zona infantil.

Las averías van disminuyendo con el tiempo, hasta tomar un valor constante y llegar a la vida útil. En esta zona fallan los componentes con defectos de fabricación, por lo que la tasa de averías disminuye con el tiempo. Los fabricantes, para evitar esta zona, someten a sus componentes a un "quemado" inicial ("*burn-in*" en inglés), desechando los componentes defectuosos. Este quemado inicial se realiza sometiendo a los componentes a determinadas condiciones extremas, que aceleran los mecanismos de falla. Los componentes que pasan este período son los que nos venden los fabricantes, ya en la zona de vida útil.

- Zona de vida útil.

Con tasa de fallas aproximadamente constante. Es la zona de mayor duración, en la que se suelen estudiar los sistemas, ya que se supone que se reemplazan antes de que alcancen la zona de envejecimiento.

- Zona de envejecimiento o desgaste.

En esta zona la tasa de averías vuelve a crecer, debido a que los componentes fallan por degradación de sus características por el transcurso de tiempo. Aún con reparaciones y mantenimiento, las tasas de fallas aumentan, hasta que resulta demasiado costoso el mantenimiento.

Conforme ha evolucionado el mantenimiento, en el diseño de los equipos se han incorporado una serie de patrones estadísticos de falla que caracterizan la vida útil de los componentes diseñados y ensamblados en las máquinas cuando estas trabajan en condiciones operativas previamente conocidas.

Se han identificado según Monsalve (2006) seis Patrones de Falla típicos que han sido investigados, desarrollados e incorporados en las diferentes tecnologías a través de todo el mundo por más de 60 años (período comprendido durante la segunda guerra mundial hasta la actualidad). Estos patrones son identificados como tipo A, B, C, D, E y F. Sus principales características relacionadas con el diseño y la confiabilidad se detallan a continuación:

A-El patrón A, es conocido como la curva de la bañera que se caracteriza por tener una combinación de dos o más patrones de falla diferentes: el primero de ellos, al inicio de la

curva en la zona denominada "mortalidad infantil" presenta alta tendencia a las fallas, seguida de una segunda zona central con probabilidad condicional de falla constante o gradual (fallas aleatorias), y finalmente presenta una tercera zona de desgaste acelerada típicamente de fatiga que la hace propicia para realizar mantenimientos detallados generales o para el reemplazo de componentes a intervalos definidos.

- B- El patrón B, es un modelo válido para equipos simples y algunos complejos donde se logre determinar con cierta precisión los "modos de falla típicos" normalmente asociados con fallas de fatiga, corrosión, entre otras. En la zona inicial, su función de distribución de probabilidad condicional de falla es constante o de poca variación (pendiente baja), por lo cual presenta pocas fallas prematuras durante este periodo de vida útil, y finaliza con una zona de desgaste similar al patrón A. La función de distribución de probabilidad característica es la normal.
- C- El patrón C muestra una probabilidad condicional de falla que crece lentamente durante todo el tiempo de operación, razón por la cual no tiene definido claramente un límite de edad para el desgaste como en el caso de los patrones A y B. La falla típica en los componentes diseñados con este patrón es la fatiga causada por esfuerzos cíclicos.
- D- El patrón D presenta una baja probabilidad condicional de falla cuando el equipo nuevo inicia su proceso de operación, seguido de un crecimiento rápido hasta un valor constante donde no se identifica un límite de edad de desgaste. Su función de distribución de falla está asociada con la distribución de Weibull cuando el parámetro de forma (β), es ($1 < \beta < 2$).
- E- El patrón E muestra una probabilidad condicional de falla que es constante durante toda la vida de servicio que indica que las fallas de los componentes diseñados con este patrón, tienen un comportamiento aleatorio y la función de distribución que rige este modelo es una distribución exponencial. El comportamiento de estos elementos pueden predecirse por las curvas de fallas. En estos casos donde se está presentando un proceso de deterioro acelerado de un componente y/o equipo se recomienda un monitoreo continuo de la condición, ya que en cada intervalo, las técnicas y los costos asociados a la inspección son diferentes pues están asociados a problemas también diferentes.
- F- El patrón F, es el más común de los seis patrones según los estudios reportados en literatura; presenta una zona inicial de alta mortalidad infantil que cae rápidamente a otra zona con una probabilidad condicional de falla constante o que se incrementa lentamente

con el tiempo de operación y no tiene un límite claramente definido para la vida útil del componente y/o equipo durante el período de funcionamiento. Este patrón, junto con el patrón A (curva de la bañera) que se considera un caso especial, también se caracteriza porque su probabilidad condicional de falla disminuye con el tiempo de funcionamiento después de pasar por la etapa crítica de mortalidad infantil.

Los análisis de tasas de fallas, están directamente asociados a los modelos de ajuste de fallas y a la teoría de la fiabilidad o confiabilidad, según el autor. A continuación se trata dicho tema.

1.4 Modelos de ajuste de fallas a distribución de probabilidades

Para evaluar la fiabilidad se usan dos procedimientos (Análisis de fiabilidad de equipos, 2009):

- Usar datos históricos. Si se dispone de muchos datos históricos de aparatos iguales durante un largo período no se necesita elaboración estadística. Si son pocos aparatos y poco tiempo hay que estimar el grado de confianza.
- Usar la fiabilidad conocida de partes para calcular la fiabilidad del conjunto. Se usa para hacer evaluaciones de fiabilidad antes de conocer los resultados reales.

Dado que las fallas de los equipos son eventos aleatorios, para estimar el grado de confianza de un elemento se utilizan conceptos y modelos estadísticos que permiten controlar y mejorar la fiabilidad.

Se define la variable aleatoria T como la vida del bien o componente. Se supone que T tiene una función $F(t)$ de distribución acumulada expresada por:

$$F(t) = P(T \leq t) \quad (1.9)$$

Además existe la función $f(t)$ de densidad de probabilidades expresada por la ecuación:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (1.10)$$

La función de fiabilidad $R(t)$, también llamada función de supervivencia, se define como:

$$R(t) = P(T > t) = 1 - F(t) \quad (1.11)$$

En otras palabras, $R(t)$ es la probabilidad de que un componente nuevo sobreviva más del tiempo t . Por lo tanto, $F(t)$ es la probabilidad de que un componente nuevo no sobreviva más del tiempo t . Por otra parte, la probabilidad de que un componente nuevo falle entre t y $t+s$ (s es un incremento de tiempo respecto a t) es igual a:

$$P\{t < T \leq t + s, T > t\} = \frac{P\{t < T \leq t + s\}}{P\{T > t\}} = \frac{F(t+s) - F(t)}{R(t)} \quad (1.13)$$

Dividiendo entre s y haciendo que s tienda a cero:

$$\lambda(t) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{s} \frac{F(t+s) - F(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (1.14)$$

$\lambda(t)$ es la función de tasa de fallas o función de riesgo o tasa instantánea de fallas, y es una característica de fiabilidad del equipo.

La función de tasa de fallas no tiene interpretación física directa, sin embargo, para valores suficientemente pequeños de t se puede definir como la probabilidad de falla del componente en un tiempo infinitamente pequeño dt cuando en el instante t estaba operativo.

Tiempo medio entre fallas (MTBF)

En la práctica, la fiabilidad se mide como el tiempo medio entre ciclos de mantenimiento o el tiempo medio entre dos fallas consecutivas (*Mean Time Between Failures*; MTBF). Por ejemplo si disponemos de un producto de N componentes operando durante un período de tiempo T , y suponemos que en este período han fallado varios componentes (algunos en varias ocasiones), para este caso el componente i -ésimo habrá tenido n_i averías, luego el número medio de averías para el producto será:

$$\bar{n} = \sum_{i=0}^N \frac{n_i}{N} \quad (1.15)$$

Siendo el MTBF el cociente entre T y \bar{n} , es decir:

$$\text{MTBF} = \frac{T}{\bar{n}} \quad (1.16)$$

Alternativamente se puede emplear la relación, para determinar el MTBF, en función de la confiabilidad:

$$\text{MTBF} = \int_0^{\infty} R(t) dt = \int_0^{\infty} [1 - F(t)] dt \quad (1.17)$$

El tiempo medio hasta la avería (*Mean Time To Failure*; MTTF), es otro de los parámetros utilizados, junto con la tasa de fallas $\lambda(t)$ para especificar la calidad de un componente o de un sistema. Por ejemplo si se ensayan N elementos idénticos desde el instante $t = 0$, y se miden los tiempos de funcionamiento de cada uno hasta que se produzca alguna avería. Entonces el MTTF será la media de los tiempos t_i medidos, es decir:

$$\text{MTTF} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N} \quad (1.18)$$

A continuación se introduce el tema de la fiabilidad de un sistema.

Un sistema se constituye mediante el arreglo (agrupación, interconexión) de componentes o subsistemas, de tal manera que la fiabilidad del sistema dependerá de la fiabilidad de sus componentes y de la forma que están interconectados los mismos. Existen varias configuraciones de sistema:

- Configuración en serie. Se considera que un sistema tiene componentes que están colocados en serie cuando la falla de uno o más componentes antes de terminar el proceso origina la falla de todo el sistema. El tiempo de vida de un sistema en serie es igual al tiempo de vida más pequeño entre todos los componentes del sistema.
- Configuración en paralelo. Se dice que un sistema tiene componentes que están en paralelo cuando solamente la falla de todas las componentes en el sistema origina la falla del sistema. Es decir, para que un sistema en paralelo funcione, es suficiente que al menos uno de los componentes opere sin falla.
- Configuración serie-paralelo o mixto. Estos sistemas presentan varios componentes o subsistemas en serie y otros en paralelo. La fiabilidad el mismo se debe ir determinando por etapa.

Se ha referido en este epígrafe a los principales conceptos de la teoría de la fiabilidad, así como al cálculo de fiabilidades de sistemas. A continuación se caracterizan los modelos de distribución utilizados en este trabajo.

1.4.1 Distribución Exponencial de Fallas. Tasa de fallas constantes

Al construir un modelo estadístico-matemático de un fenómeno real, siempre es necesario hacer ciertas suposiciones que simplifican el modelo para hacerlo manejable matemáticamente, por esta razón es muy común en la práctica suponer que ciertas componentes o sistemas se distribuyen exponencialmente, lo cual quiere decir que no se deterioran con el tiempo. Por ejemplo, si se tiene un artículo que ha estado en servicio un determinado tiempo, se asume que la probabilidad de que se produzca una falla en el próximo instante es independiente de cuánto tiempo ha estado trabajando (Lazcano, 2014).

Se supone siempre que el parámetro λ , que representa tasa de fallas del componente y/o sistema es una constante:

$$\lambda(t) = \lambda \quad t > 0 \quad (1.19)$$

Esto implica que la unidad no presenta síntomas de envejecimiento. Es igualmente probable que falle en el instante siguiente, dado que se asume una tasa de fallas constantes. En este caso, la función de fiabilidad correspondiente se puede escribir como:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad t > 0, \lambda > 0 \quad (1.20)$$

Por lo tanto, la función de distribución $F(t)$ se expresa:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad t > 0, \lambda > 0 \quad (1.21)$$

la función de densidad $f(t)$:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad t > 0, \lambda > 0 \quad (1.22)$$

y el tiempo medio entre falla (MTBF):

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (1.23)$$

La figura 1.4 muestra la gráfica de la distribución Exponencial con $\lambda = 0.5$ y $\lambda = 1$.

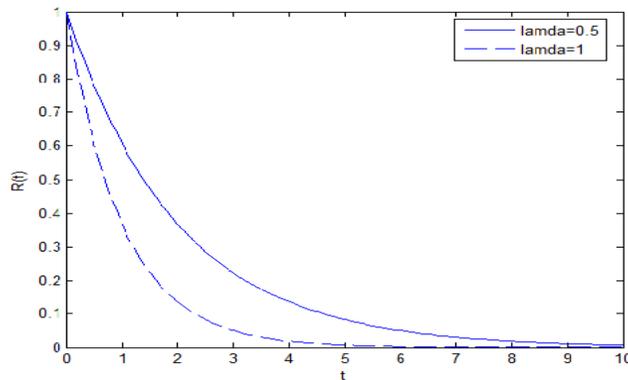


Figura 1.4. Función de confiabilidad de la distribución Exponencial con $\lambda = 0.5, 1$.

Fuente: Lazcano (2014).

A continuación se estudia modelos estadísticos para tasas de fallas variables con el tiempo.

1.4.2. Distribución de Weibull. Tasas de fallas crecientes y decrecientes

El modelo estadístico de Weibull según se expresa en Castaño (2014), es muy flexible, pues la ley tiene tres parámetros que permiten “ajustar” correctamente toda clase de resultados experimentales y operacionales. Este modelo fue usado por Weibull (1951) para describir las variaciones en la resistencia a la fatiga del acero y posteriormente se ha usado para representar la vida y el servicio de tubos y otros equipos electrónicos (Monsalve, 2006). Contrariamente al modelo exponencial, el modelo de Weibull cubre los casos en que la tasa de falla λ es variable

y permite por tanto ajustarse a los períodos de juventud y a las diferentes formas de envejecimiento.

La determinación de los tres parámetros que definen esta distribución, permite, utilizando tablas o determinados programas, evaluar la MTBF, ellos son:

- Parámetro de posición γ , que representa el tiempo antes del cual se supone que no ocurre ninguna falla, es decir el tiempo a partir del cual se genera la distribución.
- Parámetro de escala o característica de vida α , refleja el tamaño de las unidades en las cuales se mide la variable aleatoria t (tiempo para la falla), meses, años y otros.
- Parámetro de forma β , es la causa de la variación de forma en la función de densidad de probabilidad de falla (distribución). Cambiando el valor de β se pueden generar muchos grupos de curvas con el fin de modelar distribuciones reales de tiempos de falla.

Cuando se seleccionan adecuadamente los valores de cada uno de los parámetros de la función, es posible obtener mejores ajustes que los que se logran con otras distribuciones opina Lazcano (2014).

Según sean los valores del parámetro, esta distribución, como se muestra a continuación puede presentar tasas de fallas crecientes, decrecientes o constantes.

Cuando $\beta = 1$, se tiene el caso del modelo exponencial, que tiene una tasa de falla constante.

Cuando $\beta > 1$, se tiene una tasa de falla creciente.

Cuando $\beta < 1$, se tiene una tasa de falla decreciente.

La función para tasas de fallas crecientes o decrecientes se pueden observar en la Figura 5.

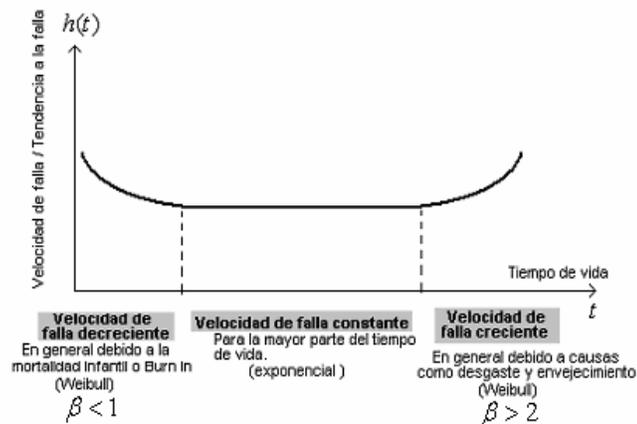


Figura 1.5. Funciones de tasas de fallas para la distribución de Weibull.

Fuente: Mariani (2007).

En la mayoría de la bibliografía consultada como fueron Monsalve (2006), Mariani (2007) y Lazcano (2014), para estudio de casos reales se asume la distribución de Weibull como una distribución biparamétrica definida por los parámetros de forma y de escala. En esta investigación se asumirá esta distribución de la misma forma. Por lo que su función de densidad será:

$$f(t) = \alpha\beta^{-\beta}t^{\beta-1}e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} \text{ con } t \geq 0, \lambda > 0, \beta > 0 \quad (1.24)$$

la función de fiabilidad R(t):

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} \text{ para toda } t \geq 0 \quad (1.25)$$

la función de distribución F(t):

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} \text{ para todo } t \geq 0 \quad (1.26)$$

la tasa de fallas:

$$\lambda(t) = \alpha\beta^{-\beta}t^{\beta-1} \quad (1.27)$$

La figura 1.6 muestra la gráfica de la distribución de Weibull con $\alpha = 1$ y $\beta = 0.5$ y 1.5 respectivamente.

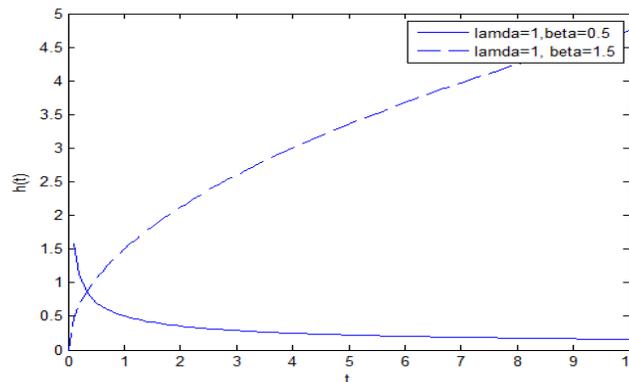


Figura 1.6. Tasa de falla de la Distribución de Weibull con $\alpha = 1, \beta = 0.5, 1.5$.

Fuente: Lazcano (2014).

y el tiempo medio entre falla (MTBF):

$$MTBF = \alpha\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (1.28)$$

Donde $\Gamma(x) = \int_0^\infty t^{x-1}e^{-t}dt$ es la función Gamma. Se define $\Gamma(x) = (x - 1)\Gamma(x - 1)$ y para n entero $\Gamma(x) = (n - 1)!$

Otra distribución de probabilidad para tiempos de falla variable con el tiempo es la Distribución Normal que se trata seguidamente.

1.4.4 Distribución Normal

La distribución normal es una de las distribuciones más utilizadas, debido a que puede representar muchos fenómenos de la vida cotidiana. Esta distribución se define a partir de dos parámetros, la media μ que indica la tendencia central de un conjunto de datos, y la desviación estándar σ que cuantifica el grado de dispersión de los datos.

En el área de ingeniería esta distribución es utilizada para construir Gráficas de Control de Procesos, las cuales fueron desarrolladas por Shewhart (1931). En una gráfica de control se representan los valores de algún tipo de medición realizada durante el funcionamiento de un proceso continuo, para detectar causas no naturales de variación en el proceso. Plantea Lazcano (2014), que para todo proceso en el que solo existe variación inherente o no causada, los resultados siguen las características de una distribución normal.

La distribución normal se representa cuando la vida útil de los componentes de un equipo y/o sistema son afectados, desde un comienzo, por el desgaste. Sin embargo, explica Monsalve (2006), que como la duración de vida de un componente tiene valores positivos, es necesario modificarla ligeramente para que sirva como modelo de distribución de fallas.

Las diferentes funciones que caracterizan a una distribución normal son:

función de densidad:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2}, -\infty < t < \infty, \mu \geq 0, \sigma > 0 \quad (1.29)$$

función de distribución:

$$F(t) = \int_{-\infty}^t f(x)dx = \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (1.30)$$

donde Φ es la función de distribución normal estándar con parámetros $\mu = 0, \sigma = 1$

función de confiabilidad:

$$R(t) = \int_t^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} dx = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (1.31)$$

Y el tiempo medio entre falla (MTBF):

$$MTBF = \mu \quad (1.32)$$

En la bibliografía consultada se encontraron referencias a otras distribuciones de probabilidad de fallas a las que se le hará alusión de manera breve:

- Distribución Gamma. Varias de las más importantes distribuciones en uso, en opinión de Monsalve (2006) son casos especiales de la distribución Gamma. Se utiliza cuando se requiere obtener la distribución del tiempo necesario para obtener un número determinado de ocurrencias del suceso. Se le conoce, también, como una generalización de la distribución exponencial, además de la distribución de Erlang y la distribución Chi-cuadrada (Arroyo, Llinás & Muñoz, 2014). Es una distribución de probabilidad continua adecuada para modelizar el comportamiento de variables aleatorias con asimetría positiva y/o los experimentos en donde está involucrado el tiempo.
- Distribución Log-Normal. La distribución Log-normal es una distribución de probabilidad de una variable aleatoria cuyo logaritmo está normalmente distribuido. Se simboliza mediante μ y σ , pues los parámetros de esta distribución son los mismos de los de la distribución normal. La distribución Log-normal es útil en diversas áreas: en Contabilidad se utiliza para modelar tiempos de reparación; en Medicina se utiliza para modelar el tiempo de supervivencia en pacientes con alguna enfermedad como cáncer y en Economía se usa para modelar la distribución personal de la renta y la distribución de ventas (Lazcano, 2014).

Una vez concluidas las descripciones de las distribuciones de probabilidad, se describe a continuación la actividad de mantenimiento en la Empresa RADIOCUBA.

1.5 Procedimiento de Mantenimiento en la Empresa RADIOCUBA

El Procedimiento General de la Dirección de Mantenimiento de la Empresa RADIOCUBA tiene como objetivos fundamentales: normar, organizar y controlar la ejecución de los mantenimientos con la calidad requerida y en el tiempo previsto según las indicaciones establecidas, logrando así mayor tiempo de vida útil en la tecnología instalada y un servicio de excelencia.

El mismo plantea las siguientes definiciones:

- Mantenimiento Preventivo. Es aquel que se efectúa para mantener el sistema en condiciones óptimas de explotación y con sus parámetros dentro de lo estipulado por el fabricante, previniendo cualquier falla o interrupción del sistema.
- Mantenimiento Correctivo. Es aquel que se efectúa cuando el sistema presenta alguna falla o interrupción imposibilitando la prestación del servicio adecuado.

- Equipos Básicos. Son aquellos que manipulan la señal básica del servicio a prestar y definen el carácter de la Unidad organizativa.
 - Equipos auxiliares. Son aquellos complementarios que manipulan o en los que intervienen la misma señal de los equipos básicos, sin que definan el carácter de la unidad organizativa.
- Este procedimiento rige la elaboración de los modelos de planes de mantenimiento de cada división territorial y los modelos de control de la calidad y el cumplimiento de dichos mantenimientos.

Por otra parte también define todas las actividades a realizar de mantenimientos mensuales, trimestrales y anuales de los siguientes equipos: transmisores de ondas medias (OM) estado sólido, transmisores de ondas medias (OM) a válvula, sistemas de audio y video (equipos auxiliares), transformadores, pizarras de distribución (pgd), paneles de alimentación, interruptores magnéticos y mecánicos, fusibles, cables de alimentación, baterías y acumuladores (no de grupos electrógenos), motores eléctricos, estabilizadores automáticos de voltaje, transmisores de televisión (hasta 20000w de potencia), transmisores y trasladadores de televisión (hasta 1000 w), transmisores de frecuencia modulada (FM), transmisores de onda corta (100 Kw), sistema de radiación de ondas medias, sistemas de radiación de televisión y frecuencia modulada.

Identifica los motivos que afectan el Mantenimiento Preventivo en la Empresa RADIOCUBA, siendo válido para todas sus divisiones territoriales por compartir la misma tecnología y estar expuestas a factores de tiempo e explotación de la técnica, condiciones climatológicas y calidad del personal encargado de dar el mantenimiento bastante similares. Estos factores son: falta de personal calificado, falta de componentes específicos, falta de herramientas adecuadas, falta de instrumentos adecuados, falta de transporte, tiempo limitado, imposibilitado de desvío de tráfico o servicio, falta de información técnica, falta de materiales varios y causas imprevistas.

Siguiendo la misma metodología identifica las principales causas de falla o interrupción. A continuación, se especifican las claves de los fallos más comunes:

Energía externa (A), Energía interna (B), Fallo de estudio (C), Fallo de equipo (D). Sistema de radiación (E) y Otras causas (L).

Las referencias normativas utilizadas por Rodríguez & González (2011) en la confección de este procedimiento fueron el Manual de Instalación de los Transmisores y la Norma Cubana de Pintura y Sistemas de Iluminación.

Conclusiones parciales del capítulo

La actividad mantenimiento y su planificación ha seguido un largo proceso evolutivo, lo que le ha permitido adaptarse a las necesidades actuales de las empresas e industrias.

El estudio de patrones de fallas, probabilidades estadísticas y modelos matemáticos basados en las mismas, han hecho posible describir el comportamiento de vida de muchos equipos y maquinarias, lo que permite tomar decisiones oportunas de mantenimiento.

El Procedimiento General de la Dirección de Mantenimiento de la Empresa Radiocuba no maneja conceptos como mantenimientos predictivos o detectivos, lo que sugiere que esta actividad en dicha empresa tiene aun que ajustarse a las modernas técnicas de mantenimiento que se utilizan a nivel global.

CAPÍTULO II: DESARROLLO DE MODELOS MATEMÁTICOS DE MANTENIMIENTO

En este capítulo se analizan las características de las principales políticas de mantenimiento a nivel mundial. Se introducen los análisis estadísticos; y se abarca una síntesis histórica de los centros incluidos en los casos de estudio.

2.1 Políticas Óptimas de Mantenimiento

Un gran número de consultores sin una práctica real en el campo del mantenimiento, inducen muchas veces a errores, que se propagan a través de la lectura de las obras, o en las conferencias, ocasionando confusión entre conceptos de técnica y de herramientas en el tema del mantenimiento.

No es lo mismo, explica Rubio (2011), una técnica organizativa o de gestión, como puede ser el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (del inglés, *Realiability Centered Maintenance*, RCM) o el Mantenimiento Productivo Total (del inglés *Total Productive Maintenance*, TPM), que un mantenimiento predictivo, que es una “mantecnología” o una metodología tecnológica a utilizar como herramienta.

El presente epígrafe abarca el tema de las modernas técnicas organizativas o políticas de mantenimiento, para no confundirlas con las técnicas puras o “mantecnologías”, que son herramientas de aplicación de las mismas a aspectos tecnológicos concretos. Por ello, existen diferentes tipos de políticas de mantenimiento que se explican brevemente a continuación por la importancia que tienen para esta investigación.

El Mantenimiento Basado en la Edad es una política que parte de que las fallas de un sistema durante su operación pueden ser de poca o mucha importancia dependiendo del tipo de falla, llegando a ser muy costoso y peligroso. Una de las áreas importantes de la teoría de confiabilidad es el estudio de las políticas de mantenimiento para reducir los costos de operación (Lazcano, 2014).

La política de mantenimiento por edad, ocurre cuando el sistema ha alcanzado una edad de operación t_p o cuando el sistema es reemplazado en el tiempo de falla t , si $t < t_p$, es decir, lo que ocurra primero. Se supone que en ambos casos, luego del reemplazo, el sistema queda en el estado “*as good as new*”. Es decir, cada reemplazo, que puede ser mantenimiento preventivo o mantenimiento correctivo constituye una renovación del sistema.

La edad a la cual el sistema es reemplazado depende, entre otros, de los siguientes factores:

- Distribución del tiempo de falla.
- Costos de reemplazo por falla.
- Costos de reemplazo preventivo.
- Tiempo de inactividad por falla y reemplazo preventivo.
- Medida de efectividad: minimizar costos, maximizar disponibilidad, o lograr cierta confiabilidad.

Es importante señalar que el modelo solo será de utilidad en la etapa de desgaste u obsolescencia del componente o sistema, pues en esta etapa el sistema presenta una tasa de falla creciente (Laverde, 2015).

El Mantenimiento Preventivo a Intervalos Constantes es una política que según Lazcano (2014), considera que se realizan reemplazos preventivos a intervalos constantes, independientemente del número de fallas intermedias (que también tienen un costo). En caso de que ocurra una falla antes de t_p , se realiza mantenimiento correctivo.

De la misma forma que en la política anterior, la longitud del intervalo de tiempo (o edad) en el cual el sistema es reemplazado depende, entre otros, de los siguientes factores:

- Distribución del tiempo de falla.
- Costos de reemplazo por falla.
- Costos de reemplazo preventivo.
- Tiempo de inactividad por falla y reemplazo preventivo.
- Medida de efectividad: minimizar costos, maximizar disponibilidad, o lograr cierta confiabilidad.

Supone que el tiempo considerado para realizar reemplazos preventivos y correctivos es nulo y que los costos de mantenimiento preventivo son menores que los costos de mantenimiento correctivo. Este modelo podrá implementarse solo en la etapa de desgaste del componente, en la cual la tasa de falla es creciente.

Otra de las políticas de mantenimiento, es el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, el cual tiene sus orígenes en la década de los sesenta, donde surgió una seria preocupación por la alta incidencia de fallas en los aviones, que producían accidentes fatales. En efecto, de cada millón de aviones comerciales que despegaban de algún aeropuerto, 60 sufrían este tipo de accidentes. Previendo un gran aumento en el tráfico aéreo, en los EE.UU se vio la necesidad

de estudiar cómo reducir esta incidencia de accidentes, para evitar que la industria de la aviación se tornara no viable por la inseguridad, considerando que otro motivo que limitaría el éxito de la aviación civil comercial eran los altísimos costos de mantenimiento de aviones (Paladines, 2005).

Esos primeros estudios, dirigidos por Stanley Nowlan y Howard Heap, originaron el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, (del inglés *Reliability Centered Maintenance*, RCM). En la década de los ochenta, explica Velázquez (2012), la técnica RCM comenzó a penetrar en la industria en general. John Moubray fue pionero en elaborar una rigurosa metodología de aplicación de esta técnica en la industria, dando lugar a RCM2; que es hoy el procedimiento mundialmente más difundido para la aplicación de RCM.

Esta técnica se basa en la búsqueda de mejora de resultados, con base en las siguientes premisas:

- Analizar con una metodología rigurosa y auditable cada tipo de falla o avería, de la forma más estricta y profunda, estudiando el modo y forma en que se producen dichas fallas y como éstos se traducen en costos y repercusiones.
- La productividad global del Departamento de Mantenimiento, debe mejorarse mediante una forma de trabajo más avanzada, proactiva y planificada y no haciendo mantenimientos inútiles.

El RCM, expresa Fibertel (2014), se implementa sobre la base de una serie de pasos muy planificados y relacionados. Primero es necesario, examinar bien las metas de productividad y de mejora que ha definido la Dirección, para lo que se precisará una clara estrategia por parte de ésta, sobre los principales parámetros a mejorar (costos, fiabilidades, y otros). Una vez claro esto, hay que evaluar las maneras y métodos, por los que estas metas pueden alcanzarse y los efectos de las averías o de las fallas.

Teniendo claras las metas y cómo se pretenden alcanzar, se debe llevar a cabo un trabajo casi de investigación, para deducir los modos de fallas más factibles y la mejor manera de eliminar o reducir las consecuencias de cada falla. En determinados casos, el análisis de fallas asociado al análisis de costos, aconsejará dejar que el equipo siga funcionando hasta que falle, y no hacer ningún tipo de mantenimiento preventivo. En otros, por ejemplo, también se inducirá a dejar que el equipo siga trabajando hasta que falle, pero con un sistema alternativo en paralelo,

cuya incorporación mediante una reforma, es más barata que realizar el periódico mantenimiento preventivo (Rubio, 2011).

En la Figura 2.1 aparece un resumen de los resultados obtenidos en la aplicación de RCM en diferentes contextos, que, por sí mismos, anticipan una gran crítica a la generalización de la histórica curva de bañera

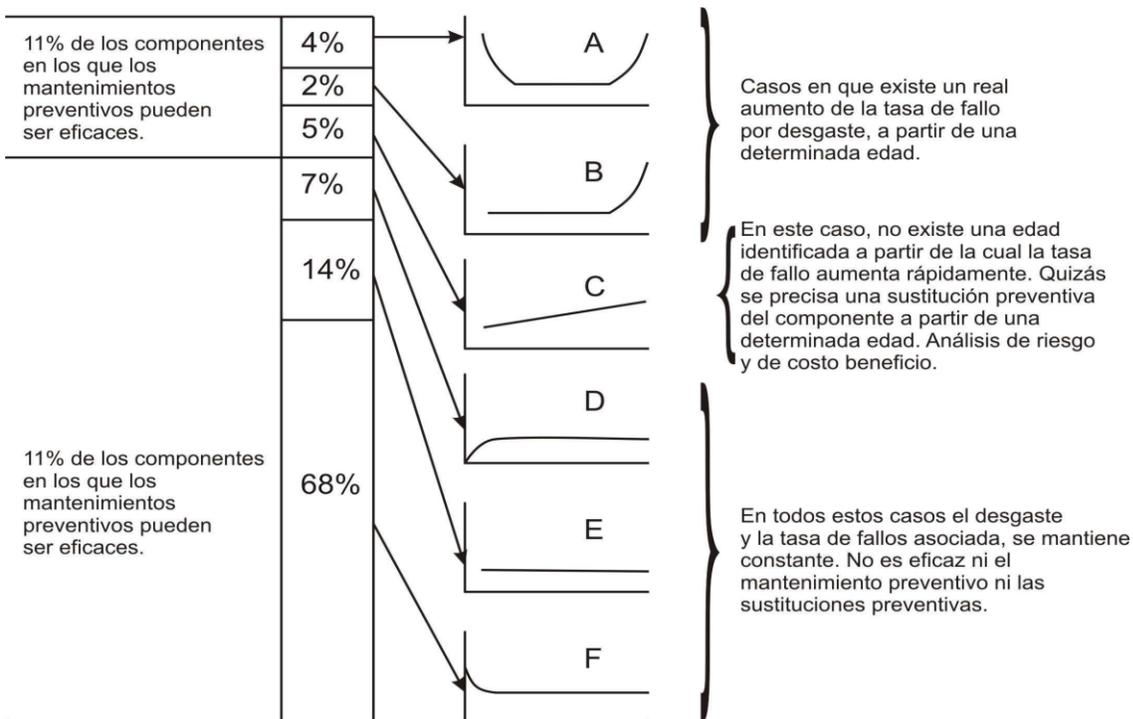


Figura 2.1. Resultado obtenidos del RCM.

Fuente: Rubio (2011).

Los resultados de dichos análisis son obvios: las revisiones generales preventivas y rutinarias, tienen muy poco efecto sobre la fiabilidad del sistema, cuando se trabaja equipos complejos y avanzados. Por otra parte existen muchos equipos para los que es muy difícil, programar un momento crítico para realizar un mantenimiento preventivo.

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) es otra política de gran difusión a nivel mundial. Se puede definir, según Burga (2010), como una filosofía para mejorar la efectividad global de los equipos, con la participación activa de los operadores.

El término TPM fue definido en 1971 por el Instituto Japonés de Ingenieros de Empresas y se desarrolló sobre todo en la industria del automóvil, implementándose en empresas como Toyota, Nissan y Mazda. Posteriormente se intentó trasladar a otros sectores industriales,

aunque con resultados desiguales. Así pues, desde finales de la década de 1980 se ha intentado extender en Estados Unidos y Europa (Rubio, 2011).

El objetivo inmediato del TPM es la “eliminación total de las pérdidas de producción”: obtención de cero pérdidas de producción implica cero fallas y cero defectos de calidad. Ello mejora la efectividad del equipo, se reducen los costos y se incrementa la productividad.

El TPM, explican autores como Montoya (2011) y Castaño (2014), es un sistema de gestión de mantenimiento que se basa, entre otros fundamentos, en emplear el mantenimiento autónomo, que es llevado a cabo por los propios operarios de producción, lo que implica la participación activa de todos los empleados, sobre todo, de los técnicos y operarios de la empresa. Para ello, es necesaria la existencia o creación de una cultura propia, que sea estimulante y motivadora, de forma que se fomente el trabajo en equipo, la motivación, el estímulo y coordinación entre producción y mantenimiento.

EL TPM promueve la idea de que los sistemas productivos son combinaciones de hombres y máquinas (sistemas hombre-máquina) que deben ser optimizados como conjunto, al mínimo costo.

Con la correcta implementación de esta política de mantenimiento se deben obtener, en opinión de Burga (2010) las siguientes ventajas organizativas:

- Reducción del número de averías de equipo. Un importante número de las averías que son reparadas por los departamentos de mantenimiento, podrían haber sido resueltas por el personal de producción; sobre todo aquellas más evidentes, para las que los operarios de producción se encuentran capacitados.
- Reducción del tiempo de espera y preparación de los equipos de trabajo. Si hay una gran separación organizativa entre producción y mantenimiento, el tiempo de respuesta ante una pequeña anomalía o ante una revisión cotidiana, siempre es importante y negativo. Si el propio operario de producción subsana las pequeñas fallas y realiza las pequeñas revisiones o inspecciones, este tiempo no se reduce; se elimina.
- Aumento del control de herramientas y equipos. El hecho de asignar de forma inequívoca a cada operario o responsable de producción, un determinado número de herramientas o equipos productivos, implicaría una mayor responsabilidad y control sobre los mismos, eliminándose el traspaso de responsabilidades operación – mantenimiento – operación, ante revisiones o fallas.

- Conservación del medio ambiente y ahorro de energía. La realización de revisiones por parte del propio personal, implicaría menores tiempos muertos y ausencia de trabajos de la máquina o equipo en vacío, con la mejora que ello implica no solamente para la vida útil de la máquina, sino para el ahorro energético asociado.
- Mayor formación y experiencia de los recursos humanos. El hecho de que el personal de producción se dedique única y exclusivamente a tareas fabriles, y sobre todo cuando éstas son extremadamente repetitivas, siempre implica un elevado nivel de tedio potencial, accidentabilidad, errores, y otros. Si el personal de producción, conoce mejor los equipos productivos, sin lugar a dudas tendrá un mayor dominio del medio, ello implicará una mayor formación y conocimiento del proceso en que se encuentra inmerso.

Algunos de los expertos en RCM o en TPM, por ejemplo, hablan de estas técnicas o formas de hacer mantenimiento, como si fueran la panacea y resolución de todos los potenciales problemas. No es cierto en absoluto. Los mantenimientos, plantea Rubio (2011) deben basarse en la integración de técnicas, no en la exclusividad de las mismas, y de ahí se derivan gran parte de los fracasos de los consultores, al intentar aplicar una única técnica y centrar todo el futuro plan de mantenimiento en su forma de pensar.

La Estrategia de las cinco S es otra política de mantenimiento investigada en la realización de este trabajo. La cultura japonesa ha sido pionera en la obtención de métodos productivos eficientes los que los ha llevado a su vez a desarrollar políticas de mantenimiento de gran impacto en el mundo occidental. Se llama estrategia de las cinco S porque representan acciones que son principios expresados con cinco palabras japonesas que comienzan con la letra S. Esta estrategia guarda relación directa con la implementación de TPM. Cada palabra tiene un significado importante para la creación de un lugar digno y seguro donde trabajar (Paladines, 2005).

Estas cinco palabras son:

- Seiri -Organización y Clasificación.
- Seiton -Orden.
- Seiso -Limpieza e Inspección.
- Seiketsu- Estandarización o Normalización.
- Shitsuke -Cumplimiento o Disciplina.

Para dar un conocimiento de esta terminología japonesa y lo que con cada uno de dichos términos se pretende transmitir a continuación, se desarrolla algunas definiciones explicadas por Ramos (2009):

- Organización (Seiri). Es básica para la implantación de un mantenimiento autónomo. Cada puesto de trabajo, debe cumplir con una organización asociada a esta forma de realizar su mantenimiento, cuando menos el mantenimiento básico. Con la organización del puesto de trabajo, se pretende que en éste no haya más que las herramientas necesarias, para la operación o producción de dicho puesto o sección y para su mantenimiento. Dichas herramientas de producción deben estar adecuadamente organizadas, codificadas y en lugar preciso. De esta forma se eliminan stocks innecesarios, artículos anticuados y obsoletos, elementos que sólo se usan de forma esporádica y que, por tanto, no debieran estar en la propia zona operativa, y otros.

En Japón es habitual incorporar unas tarjetas rojas para mejorar la organización, de forma que se etiquetan con ellas, aquellos elementos de un área o zona de trabajo, sobre cuya eficacia o necesidad de que estén en ella se duda. Al cabo de un tiempo, si no se han reutilizado, ordenados o no son necesarias, se eliminan.

- Orden (Seiton). Una vez que se ha determinado qué elementos, qué repuestos y qué utillajes son los realmente necesarios para el puesto de trabajo, hay que ordenarlos y, como se sabe es importante que, en una zona o área de producción, las herramientas y útiles se encuentren en un sitio, se utilicen archivadores, cajas y otros. Ayuda también mucho a su fácil localización, la delimitación por colores de zonas de trabajo, pasillos, lugares de descanso, zonas de stocks, y otros.
- Limpieza e inspección (Seiso). En TPM una herramienta importante para el automantenimiento, es el aprovechamiento de las operaciones de limpieza, que deben realizar los operarios de producción, para llevar a cabo las inspecciones.
- Estandarización o normalización (Seiketsu). Los estándares, etiquetas, colores y otros, se emplean como herramientas facilitadoras para el mantenimiento autónomo; aunque aparentemente y sobre todo desde el punto de vista occidental, la delimitación de zonas por colores, la fácil interpretación visual de herramientas y medios facilita enormemente las operaciones.

- Cumplimiento o disciplina (Shitsuke). La rutina de limpieza es una inspección que se define conjuntamente con la producción, así como el mantenimiento del orden y la limpieza, son básicos para que el área de trabajo, sea conforme a los estándares de automantenimiento estipulados en TPM. Asimismo, la realización de las rutinas mínimas de mantenimiento a pesar de ser las mínimas imprescindibles no debe pasarse por alto.

Son poco frecuentes las fábricas, empresas, talleres y oficinas que aplican en forma estandarizada las Cinco S. En el trabajo diario las rutinas de mantener el orden y la organización sirven para mejorar la eficiencia en el trabajo y la calidad de vida en aquel lugar donde se pasa más de la mitad de la vida.

Por esto cobra importancia la aplicación de la estrategia de las Cinco S. Plantea Montoya (2011) que no se trata de una moda, un nuevo modelo de dirección o un proceso de implantación japonés que nada tiene que ver con la cultura latina. Simplemente, es un principio básico de mejorar la vida y hacer del sitio de trabajo, un lugar donde valga la pena vivir plenamente; y si con todo esto, además se obtiene mejorar la productividad de cualquier empresa, vale la pena intentarlo.

A juicio de la autora de esta investigación, la organización y limpieza del puesto de trabajo es un tema que se trata en la Empresa RADIOCUBA a través de los procedimientos de seguridad y salud del trabajo, sin embargo debe trabajarse más en ese sentido; incentivar a los trabajadores dándoles el conocimiento del origen y aplicación práctica de estrategias a nivel global, procedentes de economías con grandes resultados productivos que consideran la organización, limpieza y disciplina como bases de la motivación de la fuerzas productivas y de la eficiencia en las empresas.

El Mantenimiento Según Estado es otra política de mantenimiento. Consiste en una forma de establecer lo que se debe hacer en cada equipo o instalación, puede consistir en llevar a cabo inspecciones regulares, de frecuencia corta y realizadas por personal muy experimentado que, a la vista de la situación del elemento y su funcionamiento, programen y definan qué mantenimiento preventivo hay que realizar.

El personal técnico que realiza las inspecciones periódicas en opinión de Barrón (2010), debe que ser muy experimentado, conocedor de las instalaciones, los equipos y sus modos de falla. Su responsabilidad será la de definir el procedimiento operativo preventivo a la medida, y las acciones concretas a llevar a cabo, tales como:

- Realizar o emitir una orden de trabajo preventiva, para subsanar cualquier anomalía detectada (ruido, calentamiento, funcionamiento anómalo entre otras).
- Reconfigurar el proceso productivo, aplicando las posibles redundancias existentes, sistemas de derivación (sistemas en paralelo), puestas fuera de servicio de la máquina o elemento deteriorado y actuación paralela.
- Poner fuera de servicio el elemento con síntomas de falla, anulando su funcionalidad en espera de la intervención correctiva, antes de la que la falla sea más catastrófica.

A la postre, esta programación del mantenimiento condicionada al peritaje o instrucción de un experto es, en parte, por lo que el modelo japonés de TPM aboga, pasando la responsabilidad y el mantenimiento del primer nivel al conductor u operador de la máquina (Paladines, 2005).

Este tipo de mantenimiento es utilizado en un elevado número de instalaciones y departamentos para llevar a cabo la preparación de las acciones preventivas. Mediante estas rondas o inspecciones periódicas, se logra evidenciar un cierto número de fallas precoces, que pueden ser prevenidos mediante posteriores acciones.

En otras organizaciones, las intervenciones condicionales se denominan visitas preventivas, programadas de forma que se simultaneen con operaciones simples, como limpiezas, reemplazamientos de partes y piezas, para incorporar controles visuales sobre puntos y funcionalidades claves que, muy a menudo, sólo pueden ser detectados en operación o en producción.

Una vez analizadas algunas de las principales políticas de mantenimiento a nivel global, se procederá a la caracterización de los mantenimientos en la División Territorial Radiocuba, Cienfuegos.

2.2 Características de los Mantenimientos en la División Territorial Radiocuba Cienfuegos

La actividad de mantenimiento en la División Territorial Radiocuba Cienfuegos es el resultado de lo establecido en Procedimiento General de la Dirección de Mantenimiento de la Empresa RADIOCUBA y las características de la técnica instalada en el territorio.

La división cuenta con una red de 60 transmisores, 17 transmisores de Frecuencia Modulada (FM), 34 transmisores de televisión (TV) y 9 transmisores de ondas medias (OM). Se ejecutan dos tipos de mantenimientos: mantenimientos preventivos planificados y mantenimientos

correctivos. El área técnica cuenta con un personal calificado y de experiencia en las tareas de mantenimiento.

Tanto a los transmisores de TV como a los de OM se le realizan mantenimientos preventivos todos los meses. La duración de estos mantenimientos preventivos oscila entre 1 y 5 horas en dependencia del tipo de mantenimiento preventivo (mensual, trimestral, semestral, anual). De los transmisores de FM, 6 presentan mantenimientos preventivos con la misma frecuencia que los de TV y OM, y a los 11 restantes se le realizan mantenimientos cada tres meses cuya duración oscila entre 2 y 5 horas en dependencia del tipo de mantenimiento preventivos (trimestral, semestral y anual).

El área de Mantenimiento cuenta con personal técnico preparado con gran experiencia en la actividad, además este tiene acceso a volúmenes importantes de información técnica lo que les permite mejorar su preparación. Como aspecto negativo que influye en la actividad técnica, destaca que la División no cuenta con un inventario de almacén propio, que contenga las principales partes y piezas que se averían con frecuencia; entre otros motivos porque muchos de estos elementos tienen altos precios de cotización en el mercado internacional y son de difícil adquisición.

Durante el proceso investigativo de este trabajo se realizaron entrevistas a especialistas y jefes de la Dirección Nacional de Mantenimiento. El objetivo de las mismas se puede observar en el Anexo 1. Se pudo concluir que aunque se realizan análisis estadísticos a distintos niveles y con diferentes finalidades, estos no tributan a variar el Procedimiento General de la Dirección de Mantenimiento actual, el cual está vigente desde el año 2011. De la misma forma la autora pudo constatar, que ha surgido en otras divisiones, el interés del personal técnico en desarrollar investigaciones para aumentar la productividad, a partir de realizar cambios en la concepción del mantenimiento hasta ahora adoptada, aunque en el momento de realizarse estas entrevistas ninguna había sido llevada a término.

Todo lo anteriormente dicho permite caracterizar la actividad de mantenimiento en la División Territorial Radiocuba Cienfuegos.

La tabla 2.1 muestra una valoración de las principales características de la actividad de mantenimiento en la División Territorial Radiocuba Cienfuegos.

Tabla 2.1 Valoración de las principales características de la actividad de mantenimiento en la División Territorial Radiocuba Cienfuegos.

<u>Mantenimientos en la División Territorial Radiocuba Cienfuegos</u>	
<u>Fortalezas</u>	<u>Debilidades</u>
El plan de mantenimiento planificado abarca mensualmente al menos el 83 % de la técnica instalada con sus respectivos sistemas radiantes.	Un plan de mantenimiento rígido que no tiene en cuenta la edad del equipo, ni las condiciones de trabajo de los mismos, lo que se traduce en excesivas horas de mantenimientos para unos y deficientes para otros.
Se cuenta con los materiales y mano de obra necesaria para dar mantenimientos de calidad.	No se toma en cuenta a la hora de la planificación de mantenimiento los registros de datos sobre mantenimientos correctivos.
Se cuenta con la documentación técnica necesaria así como con el apoyo de especialistas nacionales.	No se ha incorporado en la dinámica de planificación del trabajo los conceptos y conocimientos inherentes a mantenimientos predictivos y detectivos. Aisladamente se aplican algunas técnicas de estos tipos de mantenimientos, pero sin el conocimiento de su origen, que son y para qué se utilizan.
Se cuenta los registros de datos que abarca el comportamiento de los equipos ante cada uno de los mantenimientos preventivos planificados (fecha, lugar, hora).	No se han realizado estudios estadísticos y probabilísticos de fallas que tributen a una planificación de mantenimiento con bases matemáticas.
Se cuenta con un extenso registro de datos que abarca el comportamiento de los equipos ante cada uno de los mantenimientos correctivos (fecha, lugar, hora, causa de la falla).	

Fuente: Elaboración propia.

Como análisis económico derivado de esta valoración se maneja que en el año 2016 la División Territorial Radiocuba Cienfuegos dejó de transmitir por conceptos de mantenimiento preventivo 331 horas de OM, 270 de FM y 476 de TV para un total de 1077 horas, lo que represento 6276 pesos que se dejaron de ingresar.

Una vez comentadas las principales políticas, técnicas organizativas o de gestión de mantenimiento y las características de esta actividad en la División Territorial Radiocuba Cienfuegos, se observa que el estudio de las principales fallas existentes permite mejorar la gestión de en cualquier empresa. Se impone entonces la introducción de los análisis estadísticos de fallas.

2.3 Análisis Estadísticos

La estadística es una ciencia formal y una herramienta que estudia el uso y los análisis provenientes de una muestra representativa de datos, busca explicar las correlaciones y dependencias de un fenómeno físico o natural, de ocurrencia en forma aleatoria o condicional. Sin embargo, la estadística es más que eso, es decir, es la herramienta fundamental que permite llevar a cabo el proceso relacionado con la investigación científica Ecured (2017). 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.

La estadística se divide en dos grandes áreas:

- Estadística descriptiva.
- Estadística inferencial.

Ambas ramas (descriptiva e inferencial) comprenden la estadística aplicada. La estadística inferencial, por su parte, se divide en estadística paramétrica y estadística no paramétrica. Hay también una disciplina llamada estadística matemática, la que se refiere a las bases teóricas de la materia.

Un primer paso a la hora de analizar datos, es conocer la naturaleza de las variables con las que se trabaja, es decir, la escala de medida de las mismas. En el caso de la búsqueda de relaciones o diferencias entre variables (análisis bivariante o multivariante), esta escala determina el tipo de análisis estadístico a realizar. De igual manera, la descripción de las variables (análisis univariante) utiliza diferentes procedimientos según su naturaleza.

Se pueden clasificar las escalas de medida de las variables en tres tipos explica Balmón (2006). Estas escalas de medida son las siguientes:

- Variables nominales.
- Variables ordinales.
- Variables de escala (o continua).

En este trabajo las variables utilizadas son de escala (o continua) y nominales a continuación, se brinda una breve caracterización de las mismas.

- Variables nominales. Las categorías no implican ninguna ordenación, simplemente identifican al elemento. Por ejemplo, el encuestado prefiere la marca A, B, C o D, si bien en la codificación, se les puede asignar valores numéricos a cada categoría. Si se tienen sólo dos categorías se habla de variables dicotómicas (o binarias), como es el caso del sexo (hombre o mujer). Esta práctica es útil en análisis de regresión pues facilita la interpretación de los resultados.
- Variables de escala (o continua). Las variables métricas representan la jerarquía máxima dentro de las escalas de medida pues permiten realizar cualquier tipo de operación matemática. Una variable puede tratarse como escala (continua) cuando sus valores representan categorías ordenadas con una métrica con significado, por lo que son adecuadas las comparaciones de distancia entre valores. Son ejemplos de variables de escala: la edad en años, los ingresos en dólares o cualquier otra moneda, temperatura y distancia.

En la tabla 3.1 del Capítulo 3 se da una descripción más detallada del tipo de variable utilizada.

Los diferentes tipos de variables utilizadas conducen a diferentes tratamientos estadísticos, que se resumen a continuación.

2.3.1 Tratamiento estadístico según el tipo de variable

El análisis univariante estudia la distribución individual de cada variable. Este análisis se centra en dos aspectos: la tendencia central de la distribución y su dispersión. En el primer caso se habla de un valor característico o medio de la distribución, en el segundo de la variabilidad interna de los datos. Según el tipo de variables¹, explica Hernández, Fernández & Baptista (2010), proceden los siguientes análisis:

- Variables nominales: para este tipo de variables el análisis se limita a las frecuencias de cada categoría. Se suele expresar en porcentajes.
- Variables de escala: para el análisis de la tendencia central se utiliza por lo general la media, si bien es aconsejable utilizar la mediana cuando existen unos pocos valores extremos cuya magnitud difiere ampliamente del resto (son mucho mayores o mucho

¹ Solo se harán referencias a los análisis correspondientes al tipo de variable utilizada en esta investigación.

menores que la mayoría). Para estudiar el grado de dispersión se recurre a la desviación típica o la varianza.

El análisis bivariante estudia el efecto de una variable sobre otra. Las técnicas estadísticas utilizadas en este tipo de análisis se pueden clasificar en dos grupos: las pruebas paramétricas y las no paramétricas.

Cuatro son los requisitos para el uso de las pruebas paramétricas según Field (2000), estos se describen a continuación:

1. Distribución normal de las variables: para llevar a cabo pruebas de estadística paramétrica se asume que la variable estudiada de la población sigue una distribución normal.
2. Uniformidad de la varianza: se requiere que la varianza de una variable no dependa del nivel de otra variable.
3. Escala de medida: las variables deben medirse en una escala continua.
4. Independencia: las respuestas de un sujeto no dependen de las de otro.

Los dos últimos puntos sólo pueden contrastarse en opinión de Balmon (2006), siguiendo el sentido común del investigador. Para los dos primeros sí existen pruebas objetivas.

Algunas de las pruebas más comunes utilizadas para determinar la relación entre dos variables son:

- Pruebas paramétricas: comparación de medias (prueba t), análisis de correlación (Pearson) y análisis de la varianza (Anova I).
- Pruebas no paramétricas: comparación de medias (Mann-Whitney), análisis de correlación (Spearman, Kendall tau), análisis de la varianza (Kruskal-Wallis) y tablas de contingencia (Chi-cuadrado, Fisher).

La tabla 2.2 resume algunas de las posibilidades de análisis estadístico de dos variables, si bien el análisis de regresión se ha incluido en las técnicas multivariadas, resulta útil en la comparación bivariante. Las alternativas se agrupan según la naturaleza de la escala de las variables objeto de análisis.

Tabla 2.2. Alternativas de análisis bivalente según la naturaleza de las variables.

	Nominal	Ordinal	Métrica
Nominal	Chi-cuadrado Fisher (tablas 2x2)		
Ordinal	Chi-cuadrado Fisher (tablas 2x2)	Chi-cuadrado (indica existencia de relación pero no sentido) Análisis de correlación: Coeficiente de Spearman o Coeficiente de Kendall tau	
Métrica	Si la nominal es dicotómica prueba de comparación de medias: Prueba t o Mann-Whitney Con la variable nominal como factor análisis de la varianza: ANOVA I o Kruskal-Wallis Regresión con variable nominal como ficticia Si se transforma la variable métrica a escala ordinal: Chi-cuadrado (indica existencia de relación pero no sentido)	Análisis de correlación: Coeficiente de Pearson, Coeficiente de Spearman o Coeficiente de Kendall tau Si se transforma la variable métrica a escala ordinal analizar como Ordinal-Ordinal (si el análisis de correlación no revela relaciones claras)	Análisis de correlación: Coeficiente de Pearson o Coeficiente de Spearman Si se transforman ambas variables a escala ordinal analizar como Ordinal-Ordinal (si el análisis de correlación no revela relaciones claras)

Fuente: Balmon (2006).

La tabla 2.3 muestra una estrategia a seguir en dependencia del tipo de variable y el tamaño de la muestra para realizar un análisis bivalente.

Tabla 2.3. Tipo de prueba según la naturaleza de las variables y el tamaño muestral.

Análisis bivalente	Grupo de pruebas		
Nominal-Nominal Nominal-Ordinal Ordinal-Ordinal	Pruebas no paramétricas		
Al menos una de las dos variables es métrica	Tamaño muestral $n \geq 50$	Los datos siguen una distribución normal o no	Pruebas paramétricas
	Tamaño muestral $n < 50$	Los datos siguen una distribución normal	Pruebas paramétricas
		Los datos no siguen una distribución normal	Pruebas no paramétricas

Fuente:(Balmon, 2006)

En esta investigación se utilizan los dos tipos de análisis, el univariante para el estudio de estadísticos descriptivos y de frecuencia de cada variable, resultados que se verán en el siguiente capítulo, y el análisis bivarinate, para estudiar la relación entre dos variables.

A continuación se introduce un tópico de vital importancia dentro de la estadística, los contraste de hipótesis (también denominado prueba de hipótesis o prueba de significación), procedimiento para juzgar si una propiedad que se supone en una población estadística es compatible con lo observado en una muestra de dicha población

En cualquier tipo de prueba estadística se compara el valor de un estadístico con su valor teórico en caso de seguir una distribución determinada. Los conceptos relacionados con una prueba de hipótesis expresa Serra (2002), Serra& Díaz (s.f) son:

- Valor calculado de un estadístico: es el valor que se obtiene a partir de los datos de la muestra aplicando una fórmula matemática.
- Valor crítico de un estadístico: es el valor que deja a la derecha de la distribución (o a la izquierda si es negativo) un porcentaje del área total de la misma. Este porcentaje representa la probabilidad de exceder ese valor crítico y se denomina nivel de significación (p).
- Hipótesis nula (H_0): aquella que rechazamos si el valor calculado del estadístico excede el valor crítico del mismo.
- Hipótesis alternativa (H_1): aquella que aceptamos cuando rechazamos la hipótesis nula.

En la mayoría de las pruebas estadísticas explica Hernández, Fernández & Baptista (2010) se fija una probabilidad del 5%, es decir, se toma el nivel de significación igual al 5% ($p=0,05$), como límite para aceptar que el valor que se observa, puede haber sido seleccionado aleatoriamente. Para aceptar o rechazar la hipótesis nula basta con obtener el valor tabulado de la función de distribución denominado valor crítico, y compararlo con el valor obtenido en la muestra. Si el valor calculado en la muestra es mayor que el valor crítico se rechaza la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa. Por el contrario, si este valor calculado es menor que el valor crítico no se puede rechazar la hipótesis nula. En el contexto actual, la hipótesis nula se basará en la premisa de que no hay asociación entre las variables y la hipótesis alternativa tomará como verdadero el caso contrario, de que hay una asociación.

El error del Tipo I consiste en rechazar una hipótesis nula cuando realmente es verdadera. Este error es igual al nivel de significación (p), que por lo general se sitúa en el 5% o para pruebas

muy exigentes, en el 1%. El error de Tipo II consiste en aceptar una hipótesis nula cuando realmente es falsa.

Una vez declarada los tipos de variables a utilizar, las principales pruebas a realizar en dependencia de la naturaleza de las mismas, así como las pruebas de hipótesis para determinar las propiedades de la población, a partir de una muestra; debemos abarcar el tema de la creación de los registros de datos, principal fuente de información de esta investigación.

2.4 Sistema de gestión de datos de averías. Registros de datos

Este sistema se crea para conservar el conocimiento recogido a través de las experiencias de intervención de equipos y fallas ocurridas. Un sistema de información de fallas o averías debe contener al menos los siguientes datos:

- Fechas en las que se presentan las averías.
- Equipo donde se presentó la avería.
- Clasificación de la avería.
- Naturaleza de la avería.

Este tipo de información se consolida en reportes diarios, semanales y mensuales con el objeto de definir la prioridad en los objetivos de actuación de mantenimiento. Los análisis de la información deben permitir formular acciones para prevenir que se repita esta clase de averías.

Los registros de datos disponibles sobre averías son de dos tipos:

- Cualitativas: dan una ficha de análisis de averías y la forma como se presentó, las acciones correctivas y de prevención tomadas.
- Cuantitativas: con datos históricos sobre el funcionamiento y el tiempo de intervención. Está relacionada con el tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio para reparar (MTTR) que también tiene que ver con la mejora de los equipos, pero a través del análisis de tendencias y manejo de un gran volumen de datos.

A continuación, se describe el procedimiento a seguir para realizar el tratamiento estadístico de los registros de datos.

De acuerdo con algunos estudios de confiabilidad reportados en diferentes trabajos como Monsalve (2006) para los equipos con la categoría de "equipos reparables", donde su componente crítico es susceptible de cambiar para mejorar su desempeño y optimizar sus condiciones de servicio y mantenimiento, es posible realizar análisis paramétrico y no paramétrico. En este trabajo se presenta el análisis no paramétrico de los componentes críticos

de los sistemas de transmisión de la División Territorial Radiocuba Cienfuegos. El procedimiento estadístico llevado a cabo se sintetiza en los siguientes pasos:

- Recolección y clasificación de la información de cada equipo transmisor, identificando la fecha en que ocurrió las fallas, el tipo de falla y el tiempo entre fallas (considerando la falla anterior). Se desconoce el tiempo entre fallas y su comportamiento, puesto que no se tiene determinado un patrón característico de los diferentes equipos en cada uno de los centros transmisores y por consiguiente, este indicador es necesario determinarlo para conocer la función de distribución de probabilidad que más se ajuste a los datos de fallas.
- Elaboración de la estadística descriptiva para cada grupo de transmisores (TV, FM y OM), en los diferentes centros transmisores utilizando un programa estadístico.
- Realización de pruebas de hipótesis no paramétricas para estimar los parámetros de las distribuciones de probabilidad y sus respectivas funciones de densidad de probabilidad que rigen el comportamiento de falla de cada grupo de transmisores, utilizando las pruebas de bondad de ajuste de *Anderson -Darling* y Chi-cuadrado de forma simultánea con ayuda del programa estadístico. Se probarán las hipótesis nulas de que "los datos censados para cada grupo de transmisores de los diferentes centros, utilizados en el estudio se ajustan a un tipo de distribución específica considerando el nivel de significancia de 0.05 (probabilidad de error tipo I) para todos los casos.

Una vez identificada la función de distribución de probabilidad que más se ajuste a cada grupo de datos, se obtendrán los diferentes parámetros estadísticos para cada una de ellas. Finalmente se realizarán los cálculos de las funciones de confiabilidad y se construirá el patrón de falla típico para cada grupo de transmisores en cada uno de los diferentes centros.

En esta investigación se utilizaron los registros de datos de fallas de los equipos pertenecientes a dos centros transmisores de la División Territorial Radiocuba Cienfuegos: El Centro Transmisor de Televisión "18 Plantas" y el El Centro de Transmisión de Ondas Medias "Malecón". Ambos fueron elegidos por su importancia y la diversidad de la técnica instalada en los mismos. A continuación se expone la reseña histórica de ambos centros

2.4.1 El Malecón. Reseña Histórica

El Centro de Transmisión de Ondas Medias, Rebelde y Enciclopedia, actualmente, "Malecón" (CTOM Malecón), situado en el municipio Cienfuegos, provincia de igual nombre, en la década del 20-30 y hasta los años 1945 ó 1946 soportaba la Torre de Control perteneciente a

una Compañía Americana “Pan América”, construyéndose la edificación de mampostería aún existente. No fue hasta el mes de julio de 1948 que Romualdo Ugalde, propietario de la Emisora CMHJ, obtuvo el permiso por la Compañía para montar una planta de 1000 watts, convirtiéndola en la emisora de mayor potencia en la antigua provincia de Las Villas.

Este propio año 1964, pero el 1 de agosto y debido al panorama político que se presentaba, se pone a la venta la Emisora Radial CMHM comprada por Modesto Vázquez quien además le compra los terrenos conocidos por “Los Amarillos” a la Compañía Americana “Pan América”, suspendiéndose las transmisiones mientras se realizaban mejoras en la planta: reparación de antenas y montaje de nuevos equipos para aumentar la potencia y mejorar cobertura. Además se realizaron cambios en sus iniciales por la CMHU, saliendo al aire con el nombre de Radio Tiempo conociéndose por ese mismo nombre la torre de transmisión, Torre de Transmisión Radio Tiempo, saliendo al aire el 15 de agosto de 1948.

Tras el triunfo de la Revolución el 1 de enero de 1959 comienza a surgir transformaciones para la Radio siendo intervenida la Emisora Radio Tiempo y su Torre de Transmisión el 1 de julio de 1961, quedando como Interventor – Administrador su locutor Adan Ross Pichs; participaron también en la intervención Rodrigo López (Pepe) Secretario General de las Organizaciones Revolucionarias Integradas (ORI) y Manuel Chao Trujillo Secretario General del PSP ante la ORI, continuando con el nombre de Radio Tiempo.

En el 1976 con la nueva División Política Administrativa al convertirse Cienfuegos en una provincia se desmonta el repetidor de la CMHW y en su lugar queda el repetidor de Radio Reloj y Radio Enciclopedia hasta el 1980, que se traslada Radio Reloj y entra Radio Rebelde, momento en que ocurre el bautizo del centro como CTOM “Rebelde y Enciclopedia”.

En el año 1969 con la creación del Ministerio de las Comunicaciones (MICON) dicho centro de transmisión pasa a formar parte de la Empresa Radiocomunicación Internacional (ERI) dando cobertura a las comunicaciones marítimas.

Al desaparecer el Ministerio de las Comunicaciones y constituirse el Ministerio de las Informáticas y las Comunicaciones y surgir ETECSA como sociedad mixta se crean nuevas entidades entre ellas RADIOCUBA, constituyéndose la División de Cienfuegos el 26 de septiembre de 1995, pasando el Centro Transmisor a ser parte de su patrimonio, inscripto en el Registro de Justicia mediante la Resolución 286/80 conociéndosele actualmente como Centro Transmisor “Malecón”(Radiocuba, 2017).

Actualmente, es un centro mixto, desde donde se transmite tanto por OM como por FM, brindando la programación de:

- La Emisora Provincial de Radio “Radio Ciudad del Mar”, frecuencia 1140;
- Radio Reloj, 930KHz;
- Radio Rebelde 610 KHZ;
- Radio Enciclopedia, 90.3 MHz de la FM;
- Radio Musical Nacional, 92.7 MHz de la FM;
- Radio Reloj, 94.7MHz de la FM.

La figura 2.2, corresponde a una fotografía tomada a dicho centro.



Figura 2.2. Centro Transmisor “Malecón”.

Fuente: Archivos de la División Territorial Radiocuba Cienfuegos.

2.4.2 Centro Transmisor de Televisión “18 Plantas”

La televisión en la provincia de Cienfuegos nació en el Centro Transmisor “Los Mangos” fundado en 1977. Al inicio contaba solo con dos transmisores de televisión que transmitían el canal Cubavisión por la frecuencia del CH 7 y el canal Telerebelde por la frecuencia del CH 11. Al cierre del año 2004 dicho centro contaba además, con otros dos transmisores para brindar los Canales Educativos I y II por las frecuencias de los canales CH 42 y CH 48 respectivamente.

El 8 de julio del 2005 la provincia de Cienfuegos fue afectada por el paso del Huracán Dennis. El centro más afectado fue el de TV Los Mangos, sufriendo daños totales en su sistema de radiación, toda vez que fue derribada la torre que servía de soporte al mismo. El servicio de televisión fue restablecido con significativa inmediatez, con soluciones temporales, o que trajo consigo un deterioro en la calidad de las transmisiones.

En agosto del 2005 se inician las primeras mediciones para el proyecto del Nuevo Centro de Televisión “18 Plantas”, obedeciendo a las constantes quejas de la población por la deficiente señal de la televisión. En enero del 2010 se ensambló en menos de 3 meses, una torre piramidal sobre el edificio 18 Plantas, muy cerca del Hospital Provincial. Una ubicación céntrica que facilitó mayor cobertura de la señal. La figura 2.3 muestra una imagen de dicha estructura.



Figura 2.3. Torre sobre el edificio 18 Plantas.

Fuente: Archivos de la División Territorial Radiocuba Cienfuegos.

En junio del 2004 se inicia el desmonte de los equipos instalados en el Centro “Los Mangos”, para su posterior traslado hacia el 18 Plantas. En el propio mes se realiza la colación de los equipos en el local destinado a tal efecto en el piso 17 del edificio 18 Plantas del Distrito Petrolero.

El 14 de julio del 2010 se inaugura de forma oficial por el comandante de la Revolución Ramiro Valdés Menéndez, el Centro Transmisor de TV 18 Plantas (CTV 18 Plantas). Al acto

fueron invitadas la máxima dirección del Partido y del gobierno en el Territorio; la Brigada 21 ECOIN 6, La Empresa de Diseño e Ingeniería (EDIN) y la Empresa Nacional de Investigación Aplicada (ENIA), todos participantes de esta obra (Radiocuba, 2017).

Para finales del año 2013 el centro agrupaba otros dos nuevos servicios de televisión. El Canal Digital por la frecuencia del CH 27 y el canal Multivisión por la frecuencia del CH 23. En el año 2014 se trasladó hacia el centro, el transmisor de la emisora provincial Radio Ciudad del Mar (RCM) por la frecuencia 98.9 MHz de la FM. Actualmente es un centro mixto de televisión y FM que brinda la programación de:

- Cubavisión por el CH 7.
- Telerebelde por el CH 11.
- Multivisión por el CH 23.
- Educativo I por el CH 42.
- Educativo II por el CH 48.
- Canal Digital por el CH 27.
- RCM por la frecuencia 98.9 MHz de la FM.

A continuación, se explican las principales características de los registros de datos de fallas de los equipos utilizados como caso de estudio.

2.5 Características de los Registros de Datos

Una vez identificados los centros que se utilizarían como casos de estudio se procedió a la creación de los registros de fallas de los equipos transmisores de estos centros. Los mismos cuentan con las siguientes características:

- Los datos obtenidos proceden del Sistema Web del Centro de Dirección Nacional (CDN) de la empresa RADIOCUBA, el cual está activo desde el 1ro de enero del 2010.
- Utilizando el programa Microsoft Excel 2010 se creó un registro de datos por equipo, dado que cada equipo tiene su propio plan de mantenimiento.
- En total se analizaron 9 equipos transmisores, de 13 que existen en total entre los dos centros. Los 4 equipos que se dejaron de analizar no presentaron fallas suficientes como para crear un patrón de fallas. En algunos casos por ser equipos nuevos y en otros por no haber presentados problemas durante su tiempo de explotación.

- Por políticas de la empresa, no se hizo referencia en este trabajo a la marca y potencia de los equipos transmisores. Los mismos se designarán con nombres genéricos, como Transmisor 1, Transmisor 2,..... y así sucesivamente.
- Los campos de los registros de datos fueron Fecha, Tiempo entre fallas (TBF), Tipo de fallas y Observaciones.
- El TBF se calculó utilizando la función DIAS 360 de la hoja de cálculo del programa Microsoft Office Excel 2010, la cual calcula el tiempo entre dos fechas.
- La fallas registradas en los registros de datos fueron solo aquellas inherentes al equipo, es decir si el grupo electrógeno de emergencia no comenzó a trabajar ante un falla de energía eléctrica y el transmisor dejó de transmitir producto a un hecho que no implica un falla en su estructura o en su sistema de radiación, no se toma este evento como una falla.
- El registro de datos original, el Sistema Web del Centro de Dirección Nacional (CDN) registra los eventos con una clasificación un poco diferente a la planteada por el Procedimiento de Mantenimiento mencionado en el Capítulo I. Se mantuvo en los registros de datos esta clasificación donde: E es falla de planta exterior, D es falla de planta interior, B es falla de energía eléctrica interna (fusibles, contactos eléctricos, entre otros) y L es otras causas.

Para caracterizar el comportamiento de las fallas en estos equipos se procedió a la realización de un análisis estadístico de las mismas, el cual se mostrará en el siguiente capítulo.

Conclusiones parciales del capítulo

Las políticas de globales de mantenimiento constituyen un paso de avance en el desarrollo de la actividad de mantenimiento en las empresas e industrias y las mismas vinculan técnicas de mantenimientos, recursos humanos y realidades económicas y técnicas de las entidades.

La actividad de Mantenimiento en la División Territorial Radiocuba Cienfuegos, presenta fortalezas y debilidades, estas últimas pueden disminuirse con la aplicación práctica de gran parte de la información aportada en esta investigación, incluyendo el resultado final de la misma.

CAPÍTULO III: ALTERNATIVAS DE PLANIFICACIÓN DE LOS MANTENIMIENTOS DE LA DIVISIÓN TERRITORIAL RADIOCUBA CIENFUEGOS

En este capítulo se realizan análisis estadísticos de los datos de fallas de los sistemas transmisores. Se obtienen los modelos de ajuste de cada equipo y por último se confecciona un plan de mantenimiento que tiene en cuenta las ecuaciones que caracterizan cada una de las distribuciones de probabilidades de los modelos de ajuste.

3.1 Estadísticos descriptivos

Para comenzar a describir los datos de los equipos transmisores que forman parte de los casos de estudio e identificar patrones en los mismos, se procedió a realizar un análisis descriptivo inicial. Para ello se utilizó el paquete Estadístico para las Ciencias Sociales, SPSS v.23.

Los análisis iniciales dependen del tipo de variable que se utilice. En la tabla 3.1, se observa la clasificación de las variables que forman parte de los registros de datos.

Tabla 3.1 Clasificación de variables.

Variable	Tipo de variable
FECHA	Numérica- escalar
TBF	Numérica-escalar
FALLAS	Numérica-nominal 1= "B", 2= "D", 3= "E",4= "L"

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de los análisis se detallan a continuación, por cada equipo transmisor:

Transmisor 1.

Tabla 3.2. Registro de Datos en SPSS V.23 Transmisor 1.

	FechaInicial	FechaFinal	TBF	TIPO	FALLAS	Observaciones
1	01-Jan-2010	20-Apr-2010	109	D	2	Perdida de potencia por sobretemperatura
2	20-Apr-2010	27-Oct-2010	187	D	2	Perdida de potencia por soldaduras abiertas en los transistores
3	27-Oct-2010	15-Dec-2010	48	D	2	Perdida de potencia por problemas en el modulo de salida
4	15-Dec-2010	29-Jan-2012	404	D	2	Perdida de potencia por fallas en los fusibles del equipo
5	29-Jan-2012	05-Dec-2012	306	D	2	Perdida de potencia por problemas en los transistores de potencia
6	05-Dec-2012	28-May-2014	533	E	3	Perdida de potencia por ROE
7	28-May-2014	19-Jun-2014	21	E	3	Perdida de potencia por ROE
8	19-Jun-2014	25-Jun-2014	6	E	3	Perdida de potencia por ROE
9	25-Jun-2014	10-Jul-2014	15	D	2	Perdida potencia por sobretemperatura
10	10-Jul-2014	17-Jul-2014	7	E	3	Perdida de potencia por ROE
11	17-Jul-2014	19-Jul-2014	2	D	2	Perdida potencia por sobretemperatura
12	19-Jul-2014	23-Jul-2014	4	E	3	Perdida de potencia por ROE
13	23-Jul-2014	27-Jul-2014	4	E	3	Perdida de potencia por ROE
14	27-Jul-2014	31-Jul-2014	4	E	3	Perdida de potencia por ROE
15	31-Jul-2014	03-Aug-2014	3	E	3	Perdida de potencia por ROE
16	03-Aug-2014	08-Sep-2014	35	E	3	Perdida de potencia por ROE
17	08-Sep-2014	13-Oct-2014	35	E	3	Perdida de potencia por ROE
18						

Fuente: SPSS V.23.

En la tabla 3.2 se puede observar que en el período de enero 2010 a enero 2017 este equipo presentó un total de 17 fallas. De ellas siete (Clave D) fueron inherentes al equipo, lo que representa un porcentaje del 41.2% y 10 al sistema radiante (Clave E) para un 58.8% del total de fallas. El mínimo tiempo entre fallas fue de dos días y el mayor de 533 días para un promedio de 101.35 días. El nivel de significancia de la prueba Chi-Cuadrado para las variable FALLAS y TBF es de 0.199 por los que son independientes entre sí. El nivel de significancia del coeficiente de correlación de Pearson entre las variables TBF y FALLAS es de 0.285 por lo que no están correlacionadas, sin embargo la variable FECHA si presenta correlación lineal negativa con TBF y lineal positiva con FALLAS, para niveles de significancia de 0.025 y 0.001 respectivamente.

Transmisor 2.

El Transmisor 2 durante el período de enero 2010 a enero 2017 presentó un total de 10 fallas. De ellas dos fueron inherentes al equipo (Clave D), lo que representa un porcentaje del 20 % y ocho al sistema radiante (Clave E) para un 80 %. El mínimo tiempo entre fallas fue de seis días y el mayor de 748 días para un promedio de 163.2 días. El nivel de significancia de la prueba Chi-Cuadrado para las variable FALLAS y TBF es de 0.295 por los que son independientes entre sí. El nivel de significancia del coeficiente de correlación de Pearson entre las variables TBF y FALLAS es de 0.205 y entre las variables FECHA y FALLAS es de

0.201, por lo que no están correlacionadas, sin embargo la variable FECHA presenta correlación lineal negativa con TBF para un nivel de significancia de 0.00. La tabla con el registro de datos de este transmisor se pueden observar en el Anexo 2.

Transmisor 3.

El Transmisor 3 durante el período de enero 2010 a enero 2017 presentó un total de ocho fallas. De ellas una fue inherente al equipo por concepto de falla de energía eléctrica interna (Clave B), lo que representa un porcentaje del 12.5 % y siete a fallas internas del equipo (Clave D) para un 87.5 %. El mínimo tiempo entre fallas fue de 10 días y el máximo tiempo fue de 459 días para un promedio de 111.25 días. El nivel de significancia de la prueba Chi-Cuadrado para las variable FALLAS y TBF es de 0.33 por los que son independientes entre sí. El nivel de significancia del coeficiente de correlación de Pearson entre las variables TBF y FALLAS es de 0.735 y entre las variables TBF y FECHA es de 0.424, por lo que no están correlacionadas; sin embargo la variable FECHA presenta correlación lineal positiva con FALLAS para un nivel de significancia de 0.043. La tabla con el registro de datos de este transmisor se pueden observar en el Anexo 2.

Transmisor 4.

En el período de enero 2010 a enero 2017 este equipo presento un total de siete fallas. De ellas seis fueron inherentes al equipo por concepto de falla de energía eléctrica interna (Clave B) lo que representa un porcentaje del 87.5 % y una fue producto de fallas internas del equipo (Clave D) para un 14.5%. El mínimo tiempo entre fallas fue de un día y el mayor de 1117 días para un promedio de 238.14 días. El nivel de significancia de la prueba Chi-Cuadrado para las variable FALLAS y TBF es de 0.321 por lo que son independientes entre sí. El nivel de significancia del coeficiente de correlación de Pearson entre las variables FECHA y FALLAS es de 0.996 y entre FECHA y TBF es de 0.778 por lo que no están correlacionadas; sin embargo la variable TBF presenta una fuerte correlación lineal positiva con FALLAS, para un nivel de significancia de 0.001. La tabla con el registro de datos de este transmisor se pueden observar en el Anexo 2.

Transmisor 5.

El Transmisor 5 durante el período de enero 2010 a enero 2017 presentó un total de nueve fallas. De ellas tres fueron inherentes al equipo por concepto de falla de energía eléctrica interna (Clave B) lo que representa un 33.3 % del total de fallas, una fue producto de fallas

internas del equipo (Clave D), lo que representa un porcentaje del 11.1 % y cinco corresponden a fallas en el sistema radiante (Clave E) para un 55.6 %. El mínimo tiempo entre fallas fue de siete días y el mayor tiempo fue de 844 días para un promedio de 269.67 días. El nivel de significancia de la prueba Chi-Cuadrado para las variables FALLAS y TBF es de 0.324 por lo que son independientes entre sí. El nivel de significancia del coeficiente de correlación de Pearson entre las variables FECHA y FALLAS es de 0.619 y entre FECHA y TBF es de 0.834 por lo que no están correlacionadas; sin embargo la variable TBF presenta una correlación lineal negativa con FALLAS, para un nivel de significancia de 0.013. La tabla con el registro de datos de este transmisor se pueden observar en el Anexo 2.

Transmisor 6.

El Transmisor 6 durante el período de enero 2010 a enero 2017 presentó un total de 13 fallas. De ellas tres fueron inherentes al equipo por concepto de falla de energía eléctrica interna (Clave B) lo que representa un 23.1 % del total de fallas, cuatro fueron producto de fallas internas del equipo (Clave D), lo que representa un porcentaje del 30.8 % y seis corresponden a fallas en el sistema radiante (Clave E) para un 46.2 %. El mínimo tiempo entre fallas fue de tres días y el mayor tiempo fue de 706 días para un promedio de 180.31 días. El nivel de significancia de la prueba Chi-Cuadrado para las variables FALLAS y TBF es de 0.166 por lo que son independientes entre sí. El nivel de significancia del coeficiente de correlación de Pearson entre las variables FECHA y FALLAS es de 0.219 y entre FECHA y TBF es de 0.337 por lo que no están correlacionadas; sin embargo la variable TBF presenta una correlación lineal negativa con FALLAS, para un nivel de significancia de 0.046. La tabla con el registro de datos de este transmisor se pueden observar en el Anexo 2.

Transmisor 7.

El Transmisor 7 durante el período de enero 2010 a enero 2017 presentó un total de 32 fallas. De ellas una fue debido a fallas de energía eléctrica interna (Clave B) lo que representa un 3.1 % del total de fallas, 19 fueron producto de fallas internas del equipo (Clave D), lo que representa un porcentaje del 59.4 %, 11 corresponden a fallas en el sistema radiante (Clave E) para un 34.4% y una falla ocurrió por concepto de otras causa (Clave L). El mínimo tiempo entre fallas fue de dos días y el mayor tiempo fue de 533 días para un promedio de 76.84 días. El nivel de significancia de la prueba Chi-Cuadrado para las variables FALLAS y TBF es de 0.237, por lo que son independientes entre sí. El nivel de significancia del coeficiente de

correlación de Pearson entre las variables FECHA y FALLAS es de 0.587, entre FECHA y TBF es de 0.136 y entre TBF y FALLAS es de 0.071 por lo que ninguna variable esta correlacionada con otra. La tabla con el registro de datos de este transmisor se pueden observar en el Anexo 2.

Transmisor 8.

El Transmisor 8 durante el período de enero 2013 a enero 2017 presentó un total de 12 fallas. La totalidad de las fallas fueron imputables a fallas internas el equipo (Clave D). El mínimo tiempo entre fallas fue de un día y el máximo tiempo fue de 318 días para un promedio de 117.92 días. El nivel de significancia de la prueba Chi-Cuadrado para las variable FALLAS y TBF no se pudo determinar pues en este caso la variable FALLAS es una constante. El nivel de significancia del coeficiente de correlación de Pearson entre las variables TBF y FECHA es de 0.052 por lo que no están correlacionadas. No se pudo obtener el coeficiente de correlación de Pearson para ninguna relación que incluyera la variable FALLAS por ser esta una constante. La tabla con el registro de datos de este transmisor se pueden observar en el Anexo 2.

Transmisor 9

El Transmisor 9, último transmisor de los casos de estudio de los registros de datos, durante el período de enero 2010 a enero 2017 presentó un total de 35 fallas. De ellas una fue debido a fallas de energía eléctrica interna (Clave B) lo que representa un 2.9 % del total de fallas, 32 fueron producto de fallas internas del equipo (Clave D), lo que representa un porcentaje del 91.4 %, una corresponde a fallas en el sistema radiante (Clave E) para un 2.9% y una falla ocurrió por concepto de otras causa (Clave L) para un 2.9 % del total de fallas. El mínimo tiempo entre fallas fue de un día y el mayor tiempo fue de 772 días para un promedio de 66.31 días. El nivel de significancia de la prueba Chi-Cuadrado para las variable FALLAS y TBF es de 0.06 por los que son independientes entre sí. El nivel de significancia del coeficiente de correlación de Pearson entre las variables FECHA y FALLAS es de 0.011 presentando una correlación lineal negativa, entre FECHA y TBF es de 0.004 con una correlación lineal negativa y entre TBF y FALLAS es de 0.00 presentando una correlación lineal positiva. En resumen las tres variables están correlacionadas entre sí.

A continuación se procederá a realizar el cálculo de las distribuciones de probabilidad a partir de la variable TBF de cada transmisor.

3.2 Cálculo de distribuciones de probabilidad de cada Transmisor

Una vez elaborados los registros de datos de los casos de estudio y de haberse realizado un análisis descriptivo inicial, se concluye que en muchos casos el número de muestras de las fallas de los equipos en un período de seis años son muy escasas, lo que no permite realizar análisis de regresión, ni crear series temporales para pronosticar futuras fallas.

La confiabilidad estadística se suele obtener de la probabilidad de falla de un estudio estadístico de componentes ya averiados, los cuales pertenecen a una muestra relativamente numerosa de individuos. En casos como este donde no es posible disponer de datos históricos sobre los fallos de una muestra, bien sea por tratarse de elementos singulares, o bien por el muy elevado precio, siendo por ello impracticable la experimentación de un número adecuado de componentes, la única posibilidad es plantear un modelo matemático que represente la evolución del componente mediante la ley de falla más probable, en donde el tiempo suele jugar un papel decisivo. Un método probabilístico aplicado a un modelo concreto y a una ley de degeneración adecuada, concluirá en una probabilidad de falla asociado con el tiempo.

Los modelos matemáticos utilizados en esta investigación son modelos de ajuste, pues los mismos toman los datos existentes de tiempo entre fallas (TBF), calculados a partir de los registros de datos confeccionados y los ajustan a las distribuciones probabilísticas que mejor describen su comportamiento y evolución. Para realizar este trabajo se utilizó la opción de simulación del SPSS.V23.0, la cual como informa el propio programa, crea datos que se aplican a modelos estadísticos. La Figura 3.1 muestra la ventana de inicio de esta opción.

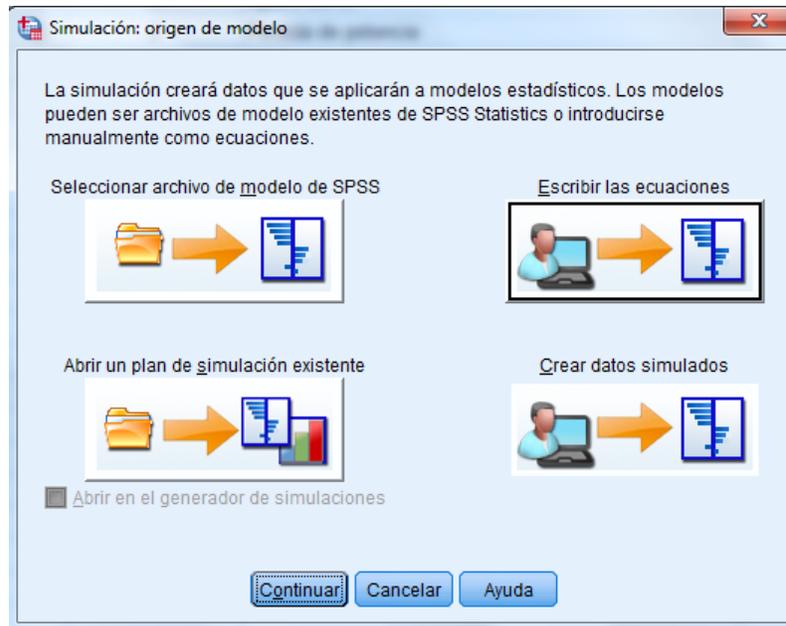


Figura 3.1 Simulación del SPSS.

Fuente: SPSS V23.0.

En todos los casos de estudio, se utilizó la opción de crear datos simulados sin un modelo, y el campo simulado fue la variable TBF, vital para predecir futuras fallas. La Figura 3.2 muestra la pestaña modelos de la ventana generador de simulaciones.

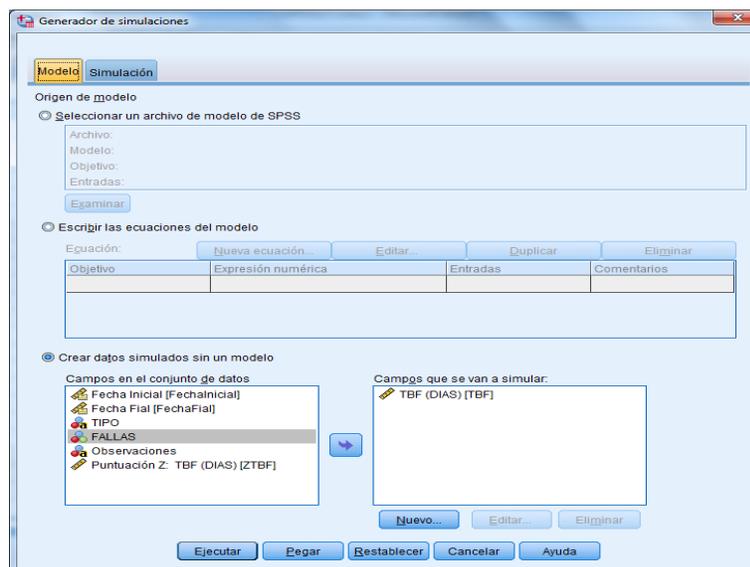


Figura 3.2. Pestaña Modelo del Generador de Simulaciones del SPSS.

Fuente: SPSS V23.0.

Una vez declarada la variable que se ajustará a un modelo de probabilidad, se accede a la pestaña Simulación, lo que se observa en la Figura 3.3. Esta ventana permite ajustar los datos de la variable TBF a una distribución de probabilidades.

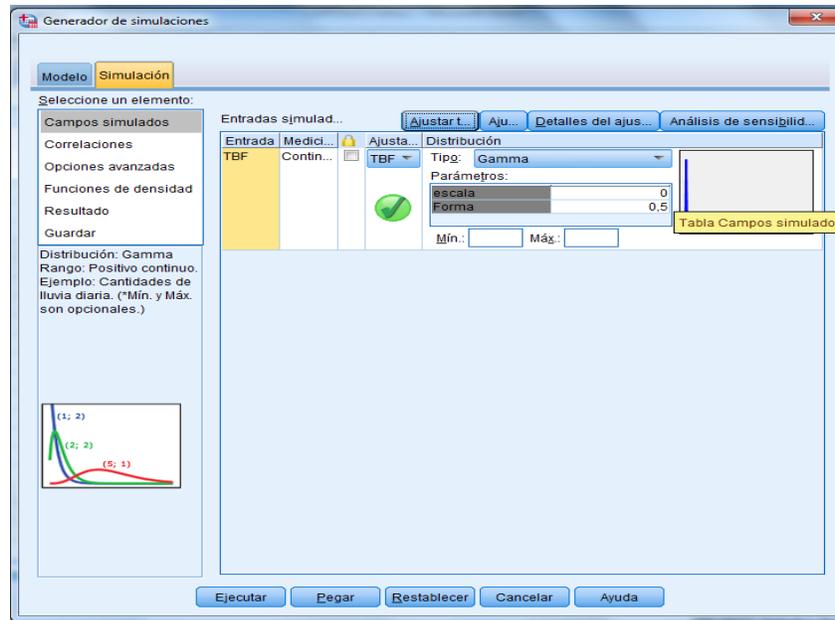


Figura 3.3. Pestaña Simulación del Generador de Simulaciones del SPSS.

Fuente: SPSS V23.0.

Esta ventana permite acceder a la opción detalles de ajuste, donde se muestra los resultados del ajuste de distribución automático de una entrada concreta. Las distribuciones se ordenan por idoneidad de ajuste, con la distribución de mejor ajuste en primer lugar. En entradas continuas, es decir para variables de escala o continuas, se utilizan las pruebas Anderson-Darling y Kolmogorov-Smirnoff para determinar la idoneidad de la distribución.

Los resultados de ambas pruebas se muestran en la columna estadísticos de ajuste (A para Anderson-Darling y K para Kolmogorov-Smirnoff), usando la prueba elegida para ordenar las distribuciones. Cuanto menor sean los valores de A y K mejor se ajustan los datos a una distribución específica. En las entradas ordinales y nominales se utiliza la comprobación de chi-cuadrado. Los parámetros de distribución asociados con cada distribución ajustada se muestran en la columna parámetro de esta pestaña. Lo anteriormente descrito se puede observar en la Figura 3.4.

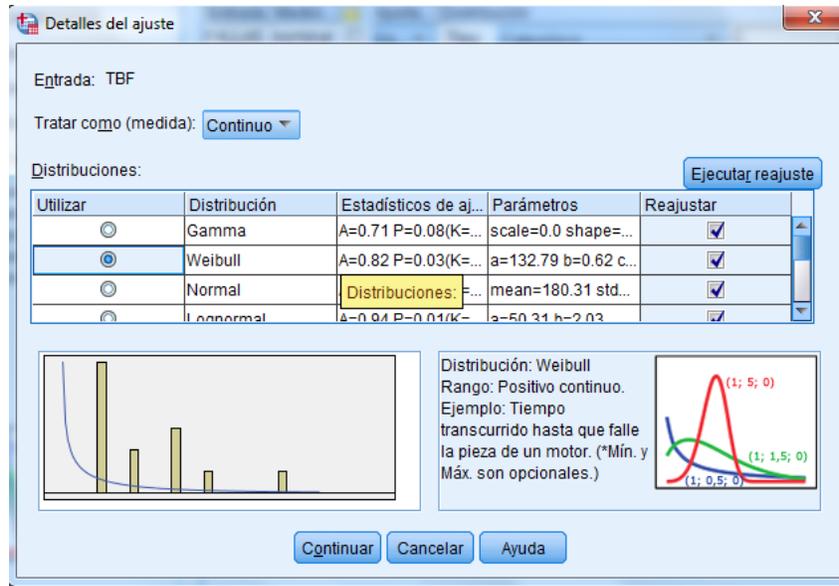


Figura 3.4. Pestaña Detalles de Ajuste del Generador de Simulaciones del SPSS.

Fuente: SPSS V23.0.

A continuación se muestran los parámetros de las dos distribuciones de probabilidades que mejor ajustan el tiempo entre fallas de cada uno de los transmisores incluidos en el caso de estudio. Las tablas producidas por SPSS con los parámetros de las distribuciones se pueden ver en el Anexo 3.

Tabla 3.3 Parámetros de las distribuciones calculados por el SPSS.

Transmisores	Parámetros de 1ra distribución	Parámetros de 2da distribución
Transmisor 1	Lognormal a=24.459, b=1.801	Weibull $\alpha=61.592$, $\beta=0.576$, C=0
Transmisor 2	Lognormal a=46.038, b=1.607	Weibull $\alpha=106.640$, $\beta=0.616$, C=0
Transmisor 3	Lognormal a=57.534, b=1.156	Weibull $\alpha=103.631$, $\beta=0.883$, C=0
Transmisor 4	Gamma a=0.381, b=0.02	Weibull $\alpha=131.488$, $\beta=0.510$, C=0
Transmisor 5	Gamma a=0.772, b=0.03	Weibull $\alpha=248.627$, $\beta=0.850$, C=0
Transmisor 6	Gamma a=0.498, b=0.003	Weibull $\alpha=132.794$, $\beta=0.621$, C=0
Transmisor 7	Lognormal a=32.103, b=1.383	Weibull $\alpha=63.968$, $\beta=0.764$, C=0
Transmisor 8	Gamma a=0.610, b=0.005	Weibull $\alpha=100.510$, $\beta=0.734$, C=0
Transmisor 9	Lognormal a=24.222, b=1.362	Weibull $\alpha=48.475$, $\beta=0.700$, C=0

Fuente: Elaboración Propia

La figura 3.5 obtenida del Matlab, corrobora que los parámetros obtenidos siguen una distribución de Weibull, al seguir los datos una distribución lineal. Para su generación se utilizó la función `wblrnd` que genera números aleatorios de la Distribución de Weibull a partir de los parámetros de escala y de forma (α, β) y la función `wblplot` que gráfica estos datos superponiéndolos a una Distribución e Weibull para permitir comparar resultados.

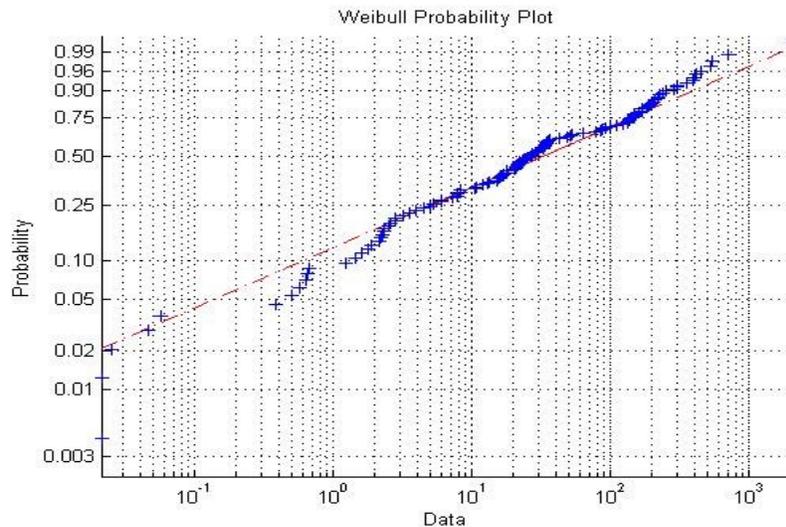


Figura 3.5 Gráfico de Distribución de Weibull para Transmisor 1.

Fuente: Matlab.

El resto de los gráficos correspondientes a los Transmisores 2-9 pueden encontrarse en el Anexo 4.

Es importante destacar que en el caso de la distribución de Weibull, el parámetro de forma β se encuentra en todos los casos entre 0 y 1, lo que indica la tasa de fallas va disminuyendo con el tiempo. En el 77 % de los casos β se va acercando a 1, lo que indica una tendencia a la estabilización en la tasa de fallos y por lo tanto la Distribución de Weibull se acerca cada vez más a la Distribución Exponencial.

Una vez obtenidos los parámetros de las distribuciones y sus grafios correspondientes, se procede a calcular la variable tiempo medio entre fallas (MTBF).

3.3 Cálculo de la variable MTBF de cada Transmisor

En el epígrafe anterior se obtuvieron las dos distribuciones que mejor ajustaban los tiempos entre fallas para cada transmisor analizado. En la tabla 3.4 se observan los estadísticos de pruebas Anderson-Darling y Kolmogorov-Smirnoff para cada Transmisor.

Tabla 3.4 Estadísticos A y K de las distribuciones.

Transmisores	Estadísticos A y K de 1ra distribución	Estadísticos A y K de 2da distribución
Transmisor 1	Lognormal A=0.52, K=0.17	Weibull A=0.65, K=0.16
Transmisor 2	Lognormal A=0.47, K=0.2	Weibull A=0.6, K=0.2
Transmisor 3	Lognormal A=0.19, K=0.15	Weibull A=0.28, K=0.19
Transmisor 4	Gamma A=0.24, K=0.16	Weibull A=0.24, K=0.17
Transmisor 5	Gamma A=0.22, K=0.14	Weibull A=0.22, K=0.13
Transmisor 6	Gamma A=0.72, K=0.2	Weibull A=0.82, K=0.21
Transmisor 7	Lognormal A=0.18, K=0.07	Weibull A=0.36, K=0.1
Transmisor 8	Gamma A=0.35, K=0.15	Weibull A=0.42, K=0.15
Transmisor 9	Lognormal A=0.64, K=0.13	Weibull A=1.43, K=0.19

Fuente: Elaboración Propia

El principal estadístico que se tuvo en consideración para elegir la distribución de probabilidad de ajuste de los datos de la variable TBF, fue el de Anderson –Darling por su sensibilidad a los valores extremos.

La distribución elegida en todos los casos fue la Distribución de Weibull por las características de las misma explicadas en el Capítulo I y porque su estadístico de ajuste no mostró una variación drástica en relación a las distribuciones que el programa SPSS recomendó como las primeras que mejor ajustaban los datos.

Una vez definida la distribución a utilizar y obtenidos los parámetros de las mismas se procedió a calcular el tiempo medio entre fallas utilizando la ecuación 1.28 del Capítulo I:

$$MTBF = \alpha \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (1.28)$$

Donde $\Gamma(x) = \int_0^{\infty} t^{x-1} e^{-t} dt$ es la función Gamma. Esta se puede calcular por el uso de tablas. Sin embargo, la autora eligió el programa Matlab para el cálculo de la variable MTBF. La función utilizada fue:

$$[MTBF] = wblstat(\alpha, \beta)$$

Mediante esta función se puede calcular la media y la varianza para de la distribución de Weibull con parámetros de escala α y parámetros de forma β . La tabla 3.5 muestra los resultados de la variable MTBF tanto en días como en meses para los transmisores incluidos en los casos de estudio.

Tabla 3.5 Cálculo de la variable MTBF.

Transmisores	Variable MTBF(días)	Variable MTBF(meses)
Transmisor 1	97.94	3,26
Transmisor 2	155.18	5,18
Transmisor 3	110.21	3,67
Transmisor 4	253.71	8,46
Transmisor 5	270.50	9,02
Transmisor 6	191.33	6,38
Transmisor 7	75.03	2,50
Transmisor 8	121.86	4,06
Transmisor 9	61.36	2,05

Fuente: Elaboración propia.

Los valores que resultan del cálculo de la variable MTBF muestran que los sistemas transmisores que forman parte de los casos de estudio, presentan un tiempo medio entre fallas que oscila entre los dos y nueve meses. En epígrafes posteriores se analiza cómo influyen estos datos en la nueva propuesta de planes de mantenimiento.

A continuación se realizan los cálculos de algunas funciones asociadas a la distribución de Weibull.

3.4 Cálculo de funciones asociadas a la distribución de Weibull

Una vez obtenidos los tiempos medios entre fallas se calcula la función de distribución acumulativa para cada transmisor, o lo que es lo mismo, la probabilidad de que un sistema transmisor pueda fallar después de un tiempo t . Para ello se utiliza la función `wblcdf` del Matlab. Se realizaron tres cálculos diferentes de la función de distribución acumulativa:

1. Para los valores de la variable MTBF (días).
2. Para 90 días.
3. Para 180 días.

Los cálculos 2 y 3 se realizan para comprobar la probabilidad de que los sistemas puedan fallar después de tres meses y después de seis meses. Estos datos son de gran importancia para confeccionar un nuevo plan de mantenimiento. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.6.

Tabla 3.6 Cálculo de función de distribución acumulativa.

Transmisores	Variable MTBF (%)	90 días (%)	180 días (%)
Transmisor 1	72.84	71.18	84.35
Transmisor 2	71.63	59.37	74.86
Transmisor 3	65.21	58.64	80.37
Transmisor 4	75.30	56.16	69.08
Transmisor 5	65.85	34.40	53.23
Transmisor 6	71.48	54.41	70.12
Transmisor 7	67.68	72.69	88.97
Transmisor 8	68.40	60.23	78.43
Transmisor 9	69.95	78.61	91.83

Fuente: Elaboración propia.

Los datos de la tabla 3.6 muestran a priori que la mayor parte de los sistemas transmisores presentan una alta probabilidad de falla (entre 62 % y 75 %) para tiempos posteriores a los tiempos medio entre fallas. En el caso de la probabilidad de fallas para los tres meses, esta aumenta o disminuye aleatoriamente con respecto a la a probabilidad de la variable tiempo medio entre fallas. En el caso de la probabilidad de fallas para los seis meses, estas muestran, salvo excepciones, las probabilidades más altas de falla. El uso de esto valores en la

elaboración de una propuesta de un nuevo plan de mantenimiento se analiza en el siguiente epígrafe.

A partir de la función de distribución acumulativa se calcula la función de fiabilidad utilizando la ecuación planteada en el Capítulo I:

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

La función de fiabilidad expresa la posibilidad de un sistema de transmisión sobreviva más del tiempo t . Al igual que el cálculo anterior se estimará esta función para tres tiempos:

1. Para los valores de la variable MTBF (días).
2. Para 90 días.
3. Para 180 días.

Los resultados se muestran en la tabla 3.7.

Tabla 3.7 Cálculo de función de confiabilidad.

Transmisores	Variable MTBF (%)	90 días (%)	180 días (%)
Transmisor 1	27,16	28,82	15,65
Transmisor 2	28,37	40,63	25,14
Transmisor 3	34,79	41,36	19,63
Transmisor 4	24,7	43,84	30,92
Transmisor 5	34,15	65,6	46,77
Transmisor 6	28,52	45,59	29,88
Transmisor 7	32,32	27,31	11,03
Transmisor 8	31,6	39,77	21,57
Transmisor 9	30,05	21,39	8,17

Fuente: Elaboración propia.

Los datos de la tabla 3.7 muestran que la mayor parte de los sistemas transmisores presentan una baja probabilidad de supervivencia (entre 24 % y 34 %) para tiempos posteriores a los tiempos medio entre fallas. En el caso de la probabilidad de supervivencia para los tres meses, esta aumenta o disminuye aleatoriamente con respecto a la probabilidad de la variable tiempo medio entre fallas. En el caso de la probabilidad de supervivencia para los seis meses, estas muestran, salvo excepciones, las probabilidades más bajas de supervivencia. El uso de estos

valores en la elaboración de una propuesta de un nuevo plan de mantenimiento se analizará en el siguiente epígrafe.

3.5 Propuesta de un nuevo plan de mantenimiento

Antes de comenzar este epígrafe es necesario definir la política de mantenimiento que se propone adoptar de manera experimental e inicialmente, solo para los casos de estudio analizados en este trabajo. Por las características del área de Mantenimiento de la División Territorial Radiocuba Cienfuegos descritas en el Capítulo II, la política que se propone es la de Mantenimiento según Estado, donde el propio personal de mantenimiento, basándose en su experiencia, en la documentación existente y auxiliándose en los resultados de esta investigación, propone las actividades de mantenimiento a realizar.

Otra consideración importante a tener en cuenta para un nuevo plan de mantenimiento, es declarar la configuración de los sistemas transmisores. Los transmisores de radio y televisión son equipos complejos de muchos componentes, que pueden presentar gran variedad de fallas. Si a eso se le agrega las características intrínsecas de los sistemas radiantes, se puede estimar que la configuración más adecuada para ellos sería serie-paralelo. Sin embargo por la naturaleza de los datos de fallas analizados, donde cada una de las fallas provocó la salida del aire de un transmisor, independientemente de la naturaleza de las mismas y las actividades de mantenimiento estipuladas para corregir o evitar dichas fallas, se considerará que los sistemas de transmisión presentan una configuración en serie.

Esta clasificación permitirá tratar el sistema como un todo, donde cada componente por pequeño que sea, que provoque una falla, afectará la distribución de probabilidades de los tiempos entre fallas y traerá aparejado para prevenir futuras interrupciones, acciones de mantenimiento, en este caso preventivo, que abarquen todo el sistema.

Esto puede a priori, conducir a pensar que se originará un exceso de mantenimientos preventivos, lo que trasladaría a División Radiocuba Cienfuegos a los problemas que enfrentaron muchas empresas en las últimas décadas del pasado siglo, y que se desestima técnicas como los mantenimientos predictivos, tan útiles para eliminar mantenimientos innecesarios, sin embargo los resultados alcanzados muestran una realidad diferente.

Para una nueva propuesta de planes de mantenimientos, se procede a realizar los cálculos de probabilidades para 90 días y 180 días, los cuales coinciden con los tiempos de los mantenimientos trimestrales y semestrales aproximadamente. Las actividades a realizar en

cada uno de estos mantenimientos están claramente descritas en el Procedimiento General de la Dirección de Mantenimiento del 2011, al cual se hizo alusión en capítulos anteriores. Todos los nuevos planes de mantenimiento que no se muestran en este epígrafe, se pueden encontrar en el Anexo 5.

A continuación se definirán la frecuencia y actividades de mantenimiento a realizar por sistema transmisor:

Transmisor 1.

El tiempo medio entre fallas es de 97.94 días, tres meses aproximadamente. Los valores de las tablas 3.6 y 3.7 muestran que la mayor probabilidad de falla la tiene para mantenimientos cada 180 días (84.35 %) y que la mayor probabilidad de supervivencia la tiene para mantenimientos cada 90 días (28.82 %). Por estas razones y en base a la experiencia acumulada, se propone que los mantenimientos se realicen cada tres meses. Lo mantenimientos en un año serían, dos trimestrales, un semestral y un anual. La tabla 3.8 muestra el plan de mantenimiento actual de este sistema transmisor. En el mismo se indica que tipo de mantenimientos que se realiza cada mes, la duración en horas de los mismos, y algunos datos de la empresa y de los equipos.²

Tabla 3.8. Plan de Mantenimiento Actual de Transmisor 1.

DNR-I-M															
Empresa Nacional Radiocuba			(1) J' Oper. y Mitto. Prov _____			(2) Unidad: Malecón									
Dirección de Mantenimiento			(12) Aprobado _____			(4) Municipio: Cienfuegos									
Programación y Control del Mantenimiento Preventivo			(1) Año _____ 2017			(3) Provincia: Cienfuegos									
No.(5)	EQUIPO(6)	Hr/Hm.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
10	Transmisores 1	M-2	T	M	M	S	M	M	T	M	M	A	M	M	
		T-3													
		A-5													

Fuente: Rodríguez & González (2011).

Con el nuevo plan propuesto se eliminan los mantenimientos mensuales. Es importante aclarar que por procedimiento, las tareas a realizar en un mantenimiento trimestral incluyen las actividades a realizar en los mantenimientos mensuales. De igual forma, las tareas a realizar en los mantenimientos semestrales incluyen las tareas de los mantenimientos trimestrales y lo mismo sucede con las tareas de los mantenimientos anuales que incluyen los semestrales, y por lo tanto estos mantenimientos, son los más completos y los que mayor duración tienen. En la tabla 3.9 se puede observar la nueva planificación de mantenimientos.

² Estos datos por razones explicadas anteriormente en la investigación se resumen bajo el nombre genérico de Transmisor 1.

Tabla 3.9. Nuevo Plan de Mantenimiento para Transmisor 1.

DNR-1-M															
Empresa Nacional Radiocuba				(11) J.º Oper. y Mto. Prov				(2) Unidad: Malecón							
Dirección de Mantenimiento				(12) Aprobado				(4) Municipio: Cienfuegos							
Programación y Control del Mantenimiento Preventivo				(1) Año 2017				(3) Provincia: Cienfuegos							
No.(5)	EQUIPO (6)	Hr/Hm.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
10	Transmisores 1	M-2	T			S			T			A			
		T-3													
		A-5													

Fuente: Elaboración propia.

Desde el punto de vista económico este nuevo plan representa un ahorro de 16 horas de mantenimiento, lo que permite ingresar cuarenta y cuatro pesos moneda nacional (\$44.00) al plan de producción anual.

Transmisor 2.

El tiempo medio entre fallas es de 155.18 días, cinco meses aproximadamente. Los valores de las tablas 3.6 y 3.7 muestran que la mayor probabilidad de falla la tiene para mantenimientos cada 180 días (74.86 %) y que la mayor probabilidad de supervivencia la tiene para mantenimientos cada 90 días (40.63 %). Por estas razones y en base a la experiencia acumulada, se propone que los mantenimientos se realicen cada tres meses. Los mantenimientos en un año serían, dos trimestrales, un semestral y un anual, se eliminan nuevamente los mantenimientos mensuales. La nueva propuesta de plan de mantenimiento sería muy similar a la mostrada en la tabla 3.9, pues el Transmisor 2 también se encuentra ubicado en el centro “El Malecón” y es muy similar técnicamente al Transmisor 1. Esta reducción de mantenimientos representa un ahorro de 16 horas de mantenimiento, lo que permite ingresar cuarenta y cuatro pesos moneda nacional (\$44.00) al plan de producción anual.

Transmisor 3

El tiempo medio entre fallas es de 110.21 días, tres meses y medio aproximadamente. Los valores de las tablas 3.6 y 3.7 muestran que la mayor probabilidad de falla la tienen los mantenimientos cada 180 días (80.37 %) y que la mayor probabilidad de supervivencia la tiene para mantenimientos cada 90 días (41.36 %). Por estas razones y en base a la experiencia acumulada, se propone que los mantenimientos se realicen cada tres meses. Los mantenimientos en un año serían, dos trimestrales, un semestral y un anual, se eliminan nuevamente los mantenimientos mensuales. La nueva propuesta de plan de mantenimiento

sería muy similar a la mostrada en la tabla 3.9, pues el Transmisor 3 también se encuentra ubicado en el centro “El Malecón” y es muy similar técnicamente al Transmisor 1 y Transmisor 2. Esta reducción de mantenimientos representa un ahorro de 16 horas de mantenimiento, lo que permite ingresar cuarenta y cuatro pesos moneda nacional (\$44.00) al plan de producción anual.

Transmisor 4.

El tiempo medio entre fallas es de 253.71 días, ocho meses y medio aproximadamente. Los valores de las tablas 3.6 y 3.7 muestran que la mayor probabilidad de falla la tienen los mantenimientos cada 253.71 días (75.30 %), es decir para los valores de la variable MTBF. La mayor probabilidad de supervivencia la tiene para mantenimientos cada 90 días (43.84%). Por estas razones y en base a la experiencia acumulada, se propone que los mantenimientos se realicen cada tres meses. Los mantenimientos en un año serían, dos trimestrales, un semestral y un anual, se eliminan nuevamente los mantenimientos mensuales. La nueva propuesta de plan de mantenimiento sería muy similar a la mostrada en la tabla 3.9, pues el Transmisor 4 también se encuentra ubicado en el centro “El Malecón” y aunque las actividades de mantenimiento difieren del Transmisor 1, Transmisor 2 y Transmisor 3, la frecuencia de los mantenimientos es similar a los anteriores. Esta reducción de mantenimientos representa un ahorro de 16 horas de mantenimiento, lo que permite ingresar cuarenta y cuatro pesos moneda nacional (\$44.00) al plan de producción anual.

Transmisor 5.

El tiempo medio entre fallas es de 270.5 días, nueve meses aproximadamente. Los valores de las tablas 3.6 y 3.7 muestran que la mayor probabilidad de falla la tienen los mantenimientos cada 270.5 días (65.85 %), es decir para los valores de la variable MTBF. La mayor probabilidad de supervivencia la tiene para mantenimientos cada 90 días (65.6%). Por estas razones y en base a la experiencia acumulada, se propone que los mantenimientos se realicen cada tres meses. Los mantenimientos en un año serían, dos trimestrales, un semestral y un anual, se eliminan nuevamente los mantenimientos mensuales. La nueva propuesta de plan de mantenimiento sería muy similar a la mostrada en la tabla 3.9, pues el Transmisor 5 también se encuentra ubicado en el centro “El Malecón” y aunque las actividades de mantenimiento difieren del Transmisor 1, Transmisor 2 y Transmisor 3, son muy similares a las actividades de mantenimiento del Transmisor 4. La frecuencia de los mantenimientos del Transmisor 5 es

similar a los sistemas anteriores. Esta reducción de mantenimientos representa un ahorro de 16 horas de mantenimiento, lo que permite ingresar cuarenta y cuatro pesos moneda nacional (\$44.00) al plan de producción anual.

Transmisor 6

El tiempo medio entre fallas es de 191.33 días, seis meses aproximadamente. Los valores de las tablas 3.6 y 3.7 muestran que la mayor probabilidad de falla la tienen los mantenimientos cada 191.33 días (71.48 %), es decir para los valores de la variable MTBF. La mayor probabilidad de supervivencia la tiene para mantenimientos cada 90 días (45.59%). Este sistema transmisor se encuentra ubicado en El Centro Transmisor de Televisión “18 Plantas”. El plan de mantenimiento actual se puede ver en la tabla 3.10.

Tabla 3.10. Plan de Mantenimiento actual para Transmisor 6.

DNM-1-M														
Empresa Nacional Radiocuba			(11) J' Oper. y Mtto. Pro _____				(2) Unidad: 18 Plantas							
Dirección de Mantenimiento			(12) Aprobado _____				(4) Municipio: Cienfuegos							
Programación y Control del Mantenimiento Preventivo			(1) Año _____ 2017				(3) Provincia: Cienfuegos							
No.(5)	EQUIPO (6)	Hr/Hm.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	Transmisor 6	M-NAP	T			S			A			T		
		T-3												
		S-4												
		A-5												

Fuente: Rodríguez & González (2011).

Basándonos en la experiencia acumulada, se propone que los mantenimientos se realicen cada tres meses. Los mantenimientos en un año serían, dos trimestrales, un semestral y un anual, se eliminan nuevamente los mantenimientos mensuales. La nueva propuesta de plan de mantenimiento se puede observar en la tabla 3.11.

Tabla 3.11. Nuevo Plan de Mantenimiento para Transmisor 6.

DNM-1-M														
Empresa Nacional Radiocuba			(11) J' Oper. y Mtto. Pro _____				(2) Unidad: 18 Plantas							
Dirección de Mantenimiento			(12) Aprobado _____				(4) Municipio: Cienfuegos							
Programación y Control del Mantenimiento Preventivo			(1) Año _____ 2017				(3) Provincia: Cienfuegos							
No.(5)	EQUIPO (6)	Hr/Hm.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	Transmisor 6	M-NAP	T			S			A			T		
		T-3												
		S-4												
		A-5												

Fuente: Elaboración propia.

En este caso la eliminación de los mantenimientos mensuales no representa ninguna ganancia al plan de producción de la división, pues estos no afectan programación. Es decir, para dar estos mantenimiento se debe esperar que finalice la programación del canal en cuestión, o en

caso de ser un canal que transmita las 24 horas, se traslada su programación hacia otro sistema transmisión que no esté transmitiendo en ese momento. La eliminación de los mantenimientos mensuales, en estos casos evitaría el desgaste del personal técnico, dado que se deben efectuar de madrugada y reducirían los gastos en materiales asociados a los mantenimientos.

Transmisor 7.

El tiempo medio entre fallas es de 75.03 días, dos meses y medio aproximadamente. Los valores de las tablas 3.6 y 3.7 muestran que la mayor probabilidad de falla la tienen los mantenimientos cada 180 días (88.97 %). La mayor probabilidad de supervivencia la tiene para mantenimientos cada 75.03 días (32.32 %). Este sistema transmisor se encuentra ubicado en El Centro Transmisor de Televisión “18 Plantas”. En este caso la probabilidad de supervivencia para 90 días (27.31%) no difiere drásticamente de la de 75.03 días, por ello y en base a la experiencia acumulada, se propone que los mantenimientos se realicen cada tres meses. Lo mantenimientos en un año serían, dos trimestrales, un semestral y un anual, se eliminan nuevamente los mantenimientos mensuales. La nueva propuesta de plan de mantenimiento sería muy similar a la mostrada en la tabla 3.11 y las ventajas económicas y de organización al eliminar los mantenimientos mensuales serían las mismas que para el Transmisor 6.

Transmisor 8.

El tiempo medio entre fallas es de 121.86 días, cuatro meses aproximadamente. Los valores de la tablas 3.6 y 3.7 muestran que la mayor probabilidad de falla la tienen los mantenimientos cada 180 días (78.43%). La mayor probabilidad de supervivencia la tiene para mantenimientos cada 90 días (39.77%). Este sistema transmisor se encuentra ubicado en El Centro Transmisor de Televisión “18 Plantas”. En base a la experiencia acumulada, se propone que los mantenimientos se realicen cada tres meses. Lo mantenimientos en un año serían, dos trimestrales, un semestral y un anual, se eliminan nuevamente los mantenimientos mensuales. La nueva propuesta de plan de mantenimiento sería muy similar a la mostrada en la tabla 3.11 y las ventajas económicas y de organización al eliminar los mantenimientos mensuales serían las mismas que para el Transmisor 6 y Transmisor 7.

Transmisor 9

El tiempo medio entre fallas es de 61.36 días, dos meses aproximadamente. Los valores de las tablas 3.6 y 3.7 muestran que la mayor probabilidad de falla la tienen los mantenimientos cada

180 días (91.83%). La mayor probabilidad de supervivencia la tiene para mantenimientos cada 61.36 días (30.05%). Este sistema transmisor se encuentra ubicado en el Centro Transmisor de Televisión “18 Plantas”. En este caso la probabilidad de supervivencia para 90 días (31.39%) no difiere drásticamente de la de 61.36 días. En el caso específico de este sistema transmisor, se puede argumentar que es relativamente nuevo y la mayoría de sus fallas tienen una naturaleza aleatoria, son de fácil solución y poco se puede hacer para evitarlas en los mantenimientos, por ello, en base a la experiencia acumulada se propone que los mantenimientos se realicen cada tres meses. Los mantenimientos en un año serían, dos trimestrales, un semestral y un anual, se eliminan nuevamente los mantenimientos mensuales. La nueva propuesta de plan de mantenimiento sería muy similar a la mostrada en la tabla 3.11. Esta reducción de mantenimientos representa un ahorro de 8 horas de mantenimiento, lo que permite ingresar 133.76 pesos moneda nacional al plan de producción anual.

Al eliminarse los mantenimientos mensuales, no se eliminan las visitas del personal técnico a los centros para realizar inspecciones técnicas y comprobar que los parámetros de trabajo de los sistemas transmisores se mantienen dentro de los parámetros aceptables. Otra consecuencia de la reducción de los mantenimientos, es que adquiere una importancia estratégica el hecho de que todos los mantenimientos trimestrales, semestrales y anuales que se realicen, se ejecuten con la calidad requerida bajo un estricto cumplimiento de las actividades contempladas en el Procedimiento General de la Dirección de Mantenimiento

Las modificaciones de los planes de mantenimiento de los equipos vinculados a los casos de estudio, representan un ingreso total en moneda nacional de 356.73 pesos al plan de producción anual. Otro factor económico importante a tener en cuenta es la reducción de los costos de mantenimiento, siendo uno de los más significativos el costo del combustible. Como los centros incluidos en los casos de estudio se encuentran dentro de la ciudad de Cienfuegos este valor no se tuvo en cuenta, dado que son centros visitados por el personal técnico frecuentemente, sin que medie una tarea de mantenimiento. Sin embargo, cuando se trabaje en la modificación de los planes de mantenimientos de centros lejanos, el costo del combustible ahorrado será significativo si se reducen las frecuencias de los mantenimientos.

Conclusiones parciales del capítulo

El tratamiento estadístico realizado los registros de fallas permitió caracterizar de manera significativa el comportamiento de dichas fallas en los sistemas transmisores, lo que condujo a la obtención de modelos de ajuste adecuados a las realidades técnicas de los equipos.

La aplicación de los programas seleccionados como apoyo al proceso investigativo de este trabajo (Microsoft Excel, Matlab y SPSS) demostraron ser herramientas versátiles y de gran alcance, las cuales facilitaron el proceso de cálculo de los modelos de ajuste y sus funciones asociadas.

La obtención y aplicación de modelos de ajuste a la planificación de los mantenimientos, permitió realizar cambios sustanciales en la frecuencia de realización de los mismos, lo que se traduce en mejoras productivas de la empresa y en menor cantidad de horas de interrupción de servicio de radio y televisión a la población.

Conclusiones

1. La revisión sobre el estado del arte a nivel global relacionado con las técnicas estadísticas y los modelos matemáticos más utilizados en la planificación de los mantenimientos, permitió seleccionar los modelos de ajuste como los más idóneos para elaborar una nueva planificación de mantenimientos, teniendo en cuenta las características de la empresa.
2. El estudio y diagnóstico de las principales características de los mantenimientos y la estructura en general de la División Territorial Radiocuba Cienfuegos permitió detectar las principales fortalezas y debilidades de los mantenimientos en esta División.
3. La creación de los registro de datos permitió la organización de las principales fallas de los equipos, teniendo en cuenta la naturaleza de las mismas y el tiempo entre cada una de las fallas.
4. La obtención de los modelos de ajuste que a partir de los registros de fallas, permitió lograr una herramienta para la planificación de los mantenimientos.
5. La elaboración de nuevos planes de mantenimiento para los casos de estudio seleccionados, basados en la aplicación de modelos de ajuste a los datos de fallas de los sistemas transmisores contribuirá a aumentar la calidad del servicio y la productividad de la División Territorial Radiocuba Cienfuegos.

Recomendaciones

La autora de la presente investigación recomienda:

1. Extender los casos de estudio a la totalidad de los transmisores pertenecientes a la División Territorial Radiocuba Cienfuegos, de forma tal que se puedan obtener planes de mantenimiento más eficientes para la totalidad de la técnica instalada.
2. Estudiar la posibilidad extender la propuesta de modificación de los planes de mantenimiento a través de modelos de ajuste a otras divisiones de la empresa RADIOCUBA en el país.
3. Divulgar entre técnicos y especialistas de la empresa, los principales conceptos teóricos sobre técnicas, políticas de mantenimiento y análisis estadísticos abarcados en esta investigación.

Bibliografía

- Abella, B. M. (2005). *Mantenimiento Industrial*. Madrid. España:Universidad Carlos III de Madrid.
- Adriana Giret, V. B. (2004). Holons and agents. *Journal of Intelligent manufacturing*, 15, 645-659.
- Aguilar-Otero, J. R., Torres-Arcique, R & Magaña-Jiménez, D. (2010). Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. *Tecnol. Ciencia Ed.*, 25, 15-26.
- Aguilar, D. P. R. (2007). Análisis de Varianza. Anova de una Vía.
- Análisis de fiabilidad de equipos*. (2009).
- Angarica, J. A. C. (2006). *Modelo Estadístico para la localización de Fallas en Sistemas de Distribución de energía eléctrica*. (Tesis de Maestría), Universidad Universidad Industrial de Santander. España.
- Arroyo, I., M, L. C. B., Llinás, D. R. N. H. & Muñoz., M. F. L. (2014). Distribuciones Poisson y Gamma: Una Discreta y Continua Relación. *Prospect.*, 12, 99-107.
- Ayçaguer, L. C. S. (2008). Los límites de las pruebas de significación estadística y los valores p. *AMF*, 4(2), 62-63.
- Balmon, M. A. (2006). *Guía Práctica de Análisis de Datos*:Andalucía.España.
- Barron, E. F. C. (2010). *Propuesta de un Programa de Mantenimiento Preventivo para la Empresa Moraly*. México: Instituto Politécnico Nacional. Retrieved from <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/6075/I2.1152.pdf?sequence=1>
- Bobi, M. Á. S. (1992). *Metodología de mantenimiento predictivo basada en análisis espectral y temporal de la historia de equipos industriales y enfoque de su aplicación a un sistema experto*. Madrid. España:Universidad Politécnica de Madrid.
- Burga, M. D. C. (2010). *Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción*. Peru: Pontificia Universidad Católica Del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Retrieved from http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/567/DA_COSTA_BURGA_MART%C3%8DN_MANTENIMIENTO_MOTORES_GAS.pdf?sequence=1
- Cardozo, N. J. A. (2007). *Implantación de un plan de mantenimiento predictivo mediante análisis de vibraciones para maquinaria rotatoria crítica*. Retrieved from

<http://postgrado.uto.edu.bo/tesis/facultad-nacional-de-ingenieria/47-ingenieria-mecanica/385-implantacion-de-un-plan-de-mantenimiento-predictivo-mediante-analisis-de-vibraciones-para-maquinaria-rotatoria-critica.htm>.

- Castañeda, C. H. M. (2009). *Diseño de un programa de mantenimiento basado en condición, enfocado a la mejora de la efectividad de los activos rotativos*. México:Universidad de Oriente .Núcleo de Anzoátegui.
- Castañeda, M. B., Cabrera, A. F., Navarro, Y. & Vries, W. d. (2010). *Procesamiento de datos y análisis estadísticos utilizando SPSS* . Editora Universitaria da PUCRS.
- Castaño, S. R. (2014). *Análisis de datos de falla*.(Tesis Maestría),Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. Colombia.
- Castro, C. J. d. (2007). *Modelamiento de contratos de servicio para el outsourcing de mantenimiento*. Chile:Universidad de Chile.
- Comunicaciones y Control Distribuido.Introducción a la Fabricación Automatizada. (2012).
- Cortés, D. M. E. C. (s.f.).*Modelación Matemática Aplicada*.
- Cortes, D. M. E. C.& León, D. M. I. (2004). *Generalidades sobre Metodología de la Investigación*. México:Universidad Autónoma del Carmen.
- Duran, G. (2006). *Investigación de operaciones, modelos matemáticos y optimización*. Paper presented at the Seminario JUNAEB-DII. Chile:Centro de Gestión de Operaciones Departamento de Ingeniería Industrial. Universidad de Chile.
- Ecured. (2017). Estadística, from www.ecured.cu
- Fibertel, J. (2014). RCM – Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, from <http://www.gestiopolis.com/rcm-mantenimiento-centrado-en-confiabilidad/>
- Garrido, S. G. (2008). Software gratuito CWORKS, from <https://www.xing.com/communities/posts/software-gratuito-cworks-1004975796>
- Gurrea, M. T. (2005). *Análisis de conglomerados*.
- Henríquez, F. R. *Distribuciones de Probabilidad Normal [Gaussiana]*. Cinvestav.
- Hernández, M. D. C. (2013). *Formación de la habilidad Profesional: Diseñar Soluciones Y Visionar Estrategias Con Rigor Científico, desde el tratamiento de los conceptos del cálculo Integral*. (Tesis de Doctorado),Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez. . Cienguegos.

- Hernández, P. L., Carro, M., Oca, J. M. d., García, L & Fernández, S. J. (2008). Optimización del mantenimiento preventivo, utilizando las técnicas de diagnóstico integral. Resultados finales y evaluación económica. *Energética*, XXIX,(2).
- Herquedas, A. J. S. (2001). *Modelos Matemáticos para la obtención de políticas óptimas de mantenimiento. Caracterización y aplicación práctica*. Sevilla. España: Universidad de Sevilla.
- Laverde, S. H. Á. (2015). Optimización en Mantenimiento. In Apsoluti (Ed.). *Entrenamiento en técnicas avanzadas para optimizar el remplazo de componentes e inspección de equipos*. México.
- Lazcano, R. V. (2014). *La Estadística en el Mantenimiento y Reemplazo Optimo en el Control de Calidad*. (Tesis de Maestría), Universidad Autonoma Metropolitana-Iztapalapa. México
- Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. (2005). RCM Retrieved. from www.rcm-confiabilidad.com.ar
- Mariani, I. A. M. (2007). Confiabilidad. *Tecnología Electrónica*.
- Martín, R. M. (2004). Análisis exploratorios de datos con SPSS 11.5.
- Meza Muñoz, S. V. (2006). *Plan de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones en la estación CPF de AGIP OIL Ecuador*. Chile: Universidad de Chile. Retrieved from <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/115019>
- Monsalve, G. L. G. (2006). *Introducción a la teoría de la confiabilidad y su aplicación en el diseño y mantenimiento de equipos industriales de un proceso e renovación*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Monterry, P.& Restrepo, C. G. (2007). Aplicación de las pruebas de hipótesis en la investigación en salud: ¿estamos en lo correcto? *Universitas Médica*, 48(3).
- Montoya, L. F. V. (2011). *Mantenimiento predictivo aplicado a máquinas sometidas a velocidad y carga variables mediante análisis de órdenes*. Colombia: Universidad de Valladolid. Retrieved from <https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/928/1/TESIS153-120417.pdf>
- Moubray, J. (1997). *Reliability Centered Maintenance*. Industrial Press Inc.
- Orjuela, J. C. (2008). La confiabilidad en los sistemas eléctricos. Schneider Electric.

- Paladines, M. F. P. (2005). *Gerencia Estrategica de Mantenimiento de la Empresa Plásticos del Litoral Plastlit*. Guayaquil. Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil- Ecuador.
- Pentón, M. S. I. Y. B. (2005). *Contribución al mejoramiento de la gestión del mantenimiento en hospitales en Cuba. Aplicación en hospitales de la provincia Villa Clara*. (Tesis Doctoral), Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Cuba.
- Pérez, J. C. (2002). *Propuesta doctrinal para la elección de un programa de mantenimiento*. Malaga. España: Universidad de Malaga.
- Planas, M. P. (2005). Análisis de fiabilidad, criticidad, disponibilidad, capacidad de mantenimiento y seguridad de una impresora industrial digital.
- Pluas, E. L. (2003). Modelos Matemáticos para la Optimización y Reposición de Maquinarias: Caso la Empresa Eléctrica de Milagro. In C. G. Loor (Ed.).
- Radiocuba. (2017). Archivos División Territorial Radiocuba Cienfuegos. Cuba: Radiocuba
- Ramos, A & Sánchez, P. (2010). *Modelos Matemáticos de Optimización*.
- Ramos, A. A. (2009). *Implementación de mantenimiento, predictivo, preventivo y correctivo de acuerdo a la metodología RCM II en bombas centrífugas grado alimenticio*. México: Instituto Politécnico Nacional, Retrieved from <http://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/5580/1/IMPLEMENTACIONMANTEN.pdf>
- Ramos, P. A. R. (1998). Mantenimiento o renovación. La Habana. Cuba: *Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría*.
- Rivera M., J. E. & Palacio Vieira, J. A. (2008). *Implementación de programa de mantenimiento predictivo mediante la técnica de ultrasonido en la Cooperativa Colanta Ltda*. Colombia: Colombia: Universidad de Antioquia. Retrieved from <http://tesis.udea.edu.co/dspace/handle/10495/44>
- Robles, E. C. (2008). *Optimización Estocástica del Mantenimiento de sistemas de transporte y secado de sustancias minerales*. Madrid. España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Rodríguez, T. S., & González, M. d. I. Á. (2011). Procedimiento General de la Dirección de Mantenimiento. Cuba.
- Rubio, E. M. R. (2011). *Sistema de gestión del mantenimiento industrial*. México: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Retrieved from

[http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibVirtualData/Tesis%20para%20marcaci%C3%B3n%20\(para%20Inform%C3%A1tica\)/2011/rivera_re/rivera_re.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibVirtualData/Tesis%20para%20marcaci%C3%B3n%20(para%20Inform%C3%A1tica)/2011/rivera_re/rivera_re.pdf)

Sampieri, R. H., Collado, C. F. & Lucio, P. B. (2010). *Metodología de la Investigación*.

Sánchez, C. G. G. Lemus, M. G. F. (2005). *Análisis Estadístico en Matlab*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Serra, A. G., Serra, Á. C & Díaz, N. C (s.f). Fases del análisis estadístico de los datos de un estudio.

Serra, X. H (2002). *Análisis de redes y sistemas de comunicaciones*. España: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya (Ed.)

Suarez, J. J. R. (2012). *Diseño e implementación de un sistema de mantenimiento industrial asistido por computador para la Empresa Cubiertas del Ecuador KUBIET S.A.* Sangolqui. Ecuador .

Todo sobre mantenimiento programado, preventivo, predictivo, correctivo y de crisis. (2013). Retrieved from <http://www.mantenimientopreventivo.info/2013/03/programa-gratuito-gmao/>

Trigueros, J. A.& Gallo, M. J. V. (2008). *Planificación de la Accesibilidad Urbana basada en Índices Jerárquicos Analíticos*.

Velázquez, E. A. H. (2012). *Mantenimiento correctivo a Máquina Cortadora y Selladora*. Universidad Tecnológica de Querétaro. Retrieved from <http://www.uteq.edu.mx/tesis/IN/0179.pdf>

Anexos

Anexo 1. Objetivo de las entrevistas realizadas.

Los principales temas investigados por la autora versaron sobre

1. ¿Se realizan en la Empresa RADIOCUBA análisis estadísticos de fallas?
2. ¿Impactan estos análisis de alguna forma sobre el Procedimiento General de la Dirección de Mantenimiento, documento rector de la actividad en todas las divisiones del país?

Anexo 2: Registro de datos de fallas del SPSS

Tabla 1. Registro de datos en SPSS V.23 Transmisor 2.

	FechaInicial	FechaFinal	TBF	TIPO	FALLAS	Observaciones
1	01-Jan-2010	29-Jan-2012	748	D	2	Perdida de potencia por problemas con los fusibles internos del equipo.
2	29-Jan-2012	20-Aug-2013	561	E	3	Perdida de potencia por ROE
3	20-Aug-2013	05-Sep-2013	15	E	3	Perdida de potencia por ROE
4	05-Sep-2013	16-Sep-2013	11	E	3	Perdida de potencia por ROE
5	16-Sep-2013	24-Oct-2013	38	E	3	Perdida de potencia por ROE
6	24-Oct-2013	05-Nov-2013	11	E	3	Perdida de potencia por ROE
7	05-Nov-2013	28-Feb-2014	113	E	3	Perdida de potencia por ROE
8	28-Feb-2014	19-Jun-2014	109	E	3	Perdida de potencia por ROE
9	19-Jun-2014	25-Jun-2014	6	E	3	Perdida de potencia por ROE
10	25-Jun-2014	15-Jul-2014	20	D	2	Baja potencia por sobretemperatura
11						

Fuente: SPSS V.23.

Tabla 2. Registro de datos en SPSS V.23 Transmisor 3.

	FechaInicial	FechaFinal	TBF	TIPO	FALLAS	Observaciones
1	01-Jan-2014	15-Jun-2014	164	B	1	Baja potencia por fluctuaciones de AC
2	15-Jun-2014	10-Jul-2014	25	D	2	Baja potencia por sobretemperaturas
3	10-Jul-2014	20-Jul-2014	10	D	2	Baja potencia por sobretemperaturas
4	20-Jul-2014	13-Oct-2014	83	D	2	baja potencia por alarma de DC
5	13-Oct-2014	23-Dec-2014	70	D	2	Baja potencia por sobretemperaturas
6	23-Dec-2014	11-Jan-2015	18	D	2	Baja potencia por sobretemperaturas
7	11-Jan-2015	12-Mar-2015	61	D	2	Baja potencia por fluctuaciones de AC
8	12-Mar-2015	21-Jun-2016	459	D	2	Problemas con los modulo de potencias
9						

Fuente: SPSS V.23.

Tabla 3. Registro de datos en SPSS V.23 Transmisor 4.

	FechaInicial	FechaFinal	TBF	TIPO	FALLAS	Observaciones
1	01-Jan-2010	18-Jul-2010	197	D	1	Baja potencia por modulos de potencia afectados
2	18-Jul-2010	19-Oct-2010	91	D	1	Condensador abierto en el filtro de salida del tx
3	19-Oct-2010	14-Jun-2011	235	D	1	Condensador abierto en el filtro de salida del tx
4	14-Jun-2011	15-Jun-2011	1	D	1	Dos modulos de potencia fuera de servicio
5	15-Jun-2011	17-Jun-2011	2	D	1	Perdida de potencia por problemas con el condensador
6	17-Jun-2011	24-Jul-2014	1117	E	2	Perdida de potencia por ROE
7	24-Jul-2014	18-Aug-2014	24	D	1	Perdida de potencia por sobretemperaturas

Fuente: SPSS V.23.

Tabla 4. Registro de datos en SPSS V.23 Transmisor 5.

	FechaInicial	FechaFinal	TBFDIAS	TIPO	FALLAS	Observaciones
1	01-Jan-2010	05-Sep-2010	244	E	3	Baja potencia por ROE
2	05-Sep-2010	25-Sep-2010	20	E	3	Perdida de potencia por condensador averiadoo en la caseta de sintonia
3	25-Sep-2010	16-Jun-2011	261	D	2	Tx se disparo por sobrevoltaje
4	16-Jun-2011	19-May-2013	693	D	2	Problemas con las fuentes del transmisor
5	19-May-2013	11-Aug-2013	82	E	3	Baja potencia por ROE
6	11-Aug-2013	18-Aug-2013	7	E	3	Baja potencia por ROE
7	18-Aug-2013	22-Feb-2014	184	D	2	Problemas con el fusible de entrada del equipo
8	22-Feb-2014	24-May-2014	92	D	2	Baja potencia por ROE
9	24-May-2014	28-Sep-2016	844	D	2	Problemas con las fuentes del transmisor
10						

Fuente: SPSS V.23.

Tabla 5. Registro de datos en SPSS V.23 Transmisor 6.

	FechaInicial	FechaFial	TBF	TIPO	FALLAS	Observaciones
1	01-Jan-2010	10-Jun-2010	159	D	2	Ajuste del tx
2	10-Jun-2010	29-Jun-2010	19	D	2	Perdida de potencia
3	29-Jun-2010	02-Jul-2010	3	E	3	ROE por fuertes lluvias
4	02-Jul-2010	05-Jul-2010	3	E	3	ROE por fuertes lluvias
5	05-Jul-2010	08-Jul-2010	3	E	3	ROE por fuertes lluvias
6	08-Jul-2010	13-Jul-2010	5	E	3	ROE por fuertes lluvias
7	13-Jul-2010	16-Apr-2011	273	D	2	Perdida de potencia
8	16-Apr-2011	02-Apr-2013	706	B	1	Fallo de Energia electrica Interna
9	02-Apr-2013	19-Nov-2013	227	E	3	Perdida de potencia por temperatura
10	19-Nov-2013	18-Aug-2014	269	E	3	Perdida de potencia
11	18-Aug-2014	16-Sep-2014	28	B	1	Fallo de Energia electrica Interna
12	16-Sep-2014	04-Nov-2015	408	B	1	Fallo de Energia electrica Interna
13	04-Nov-2015	05-Jul-2016	241	D	2	Perdida de potencia
14						

Fuente: SPSS V.23.

Tabla 6 a. Registro de datos SPSS V.23 Transmisor 7.

	FechaInicial	FechaFinal	TBF	TIPO	FALLA	Observaciones
1	01-Jan-2010	28-Jan-2010	27	D	2	Perdida de potencia por soldadura fria en el acoplador direccional
2	28-Jan-2010	20-Mar-2010	52	D	2	Perdida de potencia por sobreexcitacion
3	20-Mar-2010	07-Aug-2010	137	D	2	Perdida de potencia por interlock abierto
4	07-Aug-2010	30-Jan-2012	533	L	4	Mala operación por fallo de logica
5	30-Jan-2012	18-Jul-2012	168	D	2	Perdida de potencia por MOSFET averido
6	18-Jul-2012	28-Dec-2012	160	D	2	Perdida de potencia por sobretemperatura
7	28-Dec-2012	02-Apr-2013	94	B	1	Fallo de energia electrica interna
8	02-Apr-2013	02-May-2013	30	E	3	Perdida de potencia por ROE
9	02-May-2013	20-May-2013	18	B	2	Fallo de energia electrica interna
10	20-May-2013	20-Aug-2013	90	E	3	Perdida de potencia por descargas electricas
11	20-Aug-2013	29-Aug-2013	9	E	3	Perdida de potencia por descargas electricas
12	29-Aug-2013	03-Sep-2013	4	E	3	Perdida de potencia por descargas electricas
13	03-Sep-2013	05-Sep-2013	2	E	3	Perdida de potencia por descargas electricas
14	05-Sep-2013	25-Sep-2013	20	D	2	Perdida de potencia por sobretemperatura
15	25-Sep-2013	19-Nov-2013	54	D	2	Perdida de potencia por sobretemperatura
16	19-Nov-2013	20-Jan-2014	61	D	2	Perdida de potencia por interlock abierto
17	20-Jan-2014	28-Feb-2014	38	D	2	Perdida de potencia por ROE
18	28-Feb-2014	13-Mar-2014	13	E	3	Perdida de potencia por descargas electricas
19	13-Mar-2014	30-Mar-2014	17	E	3	Perdida de potencia por descargas electricas
20	30-Mar-2014	16-Apr-2014	16	E	3	Perdida de potencia por descargas electricas
21	16-Apr-2014	11-Jul-2014	85	E	3	Perdida de potencia por descargas electricas
22	11-Jul-2014	15-Jul-2014	4	E	3	Perdida de potencia por ROE

Fuente: SPSS V.23.

Tabla 6 b. Registro de datos en SPSS V.23 Transmisor 7.

	FechaInicial	FechaFinal	TBF	TIPO	FALLA	Observaciones
23	15-Jul-2014	19-Jul-2014	4	D	2	Perdida de potencia
24	19-Jul-2014	29-Jul-2014	10	E	3	Perdida de potencia por ROE
25	29-Jul-2014	05-Aug-2014	6	D	2	perdida de potencia por falta de excitación
26	05-Aug-2014	13-Aug-2014	8	D	2	Perdida de potencia por sobretemperatura
27	13-Aug-2014	14-Oct-2015	421	D	2	Perdida de potencia
28	14-Oct-2015	04-Nov-2015	20	D	2	Fallo de energia electrica interna
29	04-Nov-2015	11-Jan-2016	67	D	2	Perdida de potencia por problemas en la logica de control
30	11-Jan-2016	05-Jul-2016	174	D	2	Perdida de potencia por MOSFET averido
31	05-Jul-2016	20-Sep-2016	75	D	2	Perdida de potencia por MOSFET averido
32	20-Sep-2016	02-Nov-2016	42	D	2	Perdida de potencia por MOSFET averido
33						

Fuente: SPSS V.23.

Tabla 7. Registro de datos en SPSS V.23 Transmisor 8.

	FechaInicial	FechaFinal	TBF	TIPO	FALLAS	Oservaciones
1	01-Jan-2013	19-Nov-2013	318	D	2	Perdida de potencia por sobretemperatura
2	19-Nov-2013	31-Jul-2014	252	D	2	Perdida de potencia por ROE
3	31-Jul-2014	03-Aug-2014	3	D	2	Perdida de potencia por problemas en la logica de control
4	03-Aug-2014	21-Aug-2014	18	D	2	Perdida de potencia por problemas en la logica de control
5	21-Aug-2014	16-Mar-2015	205	D	2	Perdida de potencia por problemas en la logica de control
6	16-Mar-2015	27-Jun-2015	101	D	2	Perdida de potencia por problemas en la logica de control
7	27-Jun-2015	02-Jul-2015	5	D	2	Perdida de potencia por problemas en la logica de control
8	02-Jul-2015	05-May-2016	303	D	2	Fuera de servicio por problemas en la excitadora
9	05-May-2016	18-Aug-2016	103	D	2	Fuera de servicio por problemas en la excitadora
10	18-Aug-2016	12-Oct-2016	54	D	2	Fuera de servicio por problemas en la excitadora
11	12-Oct-2016	04-Dec-2016	52	D	2	Fuera de servicio por problemas en la excitadora
12	04-Dec-2016	05-Dec-2016	1	D	2	Fuera de servicio por problemas en la excitadora
13						

Fuente: SPSS V.23.

Tabla 8 a. Registro de datos en SPSS V.23 Transmisor 9.

	FechaInicial	FechaFinal	TBFDIAS	TIPO	FALLAS	Observaciones
1	01-Jan-2010	19-Jul-2010	198	D	2	Perdida de potencia. Soldadura fria en circuito de alimentacion
2	19-Jul-2010	18-Oct-2010	89	D	2	Perdida de potencia por problemas de desprogramacion de la logica de cont...
3	18-Oct-2010	23-May-2011	215	D	2	Perdida de potencia ,afectado un bloque de potencia
4	23-May-2011	10-Jun-2011	17	D	2	Perdida de potencia por problemas de desprogramacion de la logica de cont...
5	10-Jun-2011	06-Jul-2011	26	E	3	Perdida de potencia por ROE debido a descargas electricas
6	06-Jul-2011	28-Aug-2013	772	L	4	Se produjo un corto circuito debido al FAN del equipo
7	28-Aug-2013	25-Sep-2013	27	D	2	Perdida de potencia por sobretemperatura
8	25-Sep-2013	09-Nov-2013	44	D	2	Perdida de potencia por bajo nivel de excitación
9	09-Nov-2013	06-Dec-2013	27	D	2	Perdida de potencia sobre Mosfet averiados
10	06-Dec-2013	21-Oct-2014	315	D	2	Perdida de potencia ,afectado un bloque de potencia
11	21-Oct-2014	27-Oct-2014	6	D	2	Perdida de potencia ,afectado un bloque de potencia
12	27-Oct-2014	29-Oct-2014	2	D	2	Perdida de potencia ,afectado un bloque de potencia
13	29-Oct-2014	13-Nov-2014	14	D	2	Perdida de potencia ,afectado un bloque de potencia
14	13-Nov-2014	23-Dec-2014	40	D	2	Perdida de potencia ,afectado un bloque de potencia
15	23-Dec-2014	05-Jan-2015	12	D	2	Perdida de potencia ,afectado un bloque de potencia
16	05-Jan-2015	13-Jan-2015	8	D	2	Perdida de potencia ,afectado un bloque de potencia
17	13-Jan-2015	23-Jan-2015	10	D	2	Perdida de potencia ,afectado un bloque de potencia
18	23-Jan-2015	10-Feb-2015	17	D	2	Perdida de potencia ,afectado un bloque de potencia
19	10-Feb-2015	02-Mar-2015	22	D	2	Perdida de potencia ,afectado un bloque de potencia
20	02-Mar-2015	06-Apr-2015	34	D	2	Perdida de potencia ,afectado un bloque de potencia
21	06-Apr-2015	08-Apr-2015	2	D	2	Perdida de potencia ,afectado un bloque de potencia
22	08-Apr-2015	14-May-2015	36	D	2	Perdida de potencia ,afectado un bloque de potencia

Fuente: SPSS V.23.

Tabla 8 b. Registro de datos en SPSS V.23 Transmisor 9.

23	14-May-2015	11-Jun-2015	27	D	2	Perdida de potencia ,afectado un bloque de potencia
24	11-Jun-2015	30-Jun-2015	19	D	2	Perdida de potencia ,afectado un bloque de potencia
25	30-Jun-2015	01-Jul-2015	1	D	2	Perdida de potencia ,afectado un bloque de potencia
26	01-Jul-2015	17-Jul-2015	16	D	2	Perdida de potencia ,afectado un bloque de potencia
27	17-Jul-2015	16-Sep-2015	59	D	2	Perdida de potencia ,afectado un bloque de potencia
28	16-Sep-2015	24-Oct-2015	38	D	2	Perdida de potencia ,afectado un bloque de potencia
29	24-Oct-2015	04-Nov-2015	10	D	2	Perdida de potencia ,afectado un bloque de potencia
30	04-Nov-2015	09-Nov-2015	5	D	2	Perdida de potencia ,afectado un bloque de potencia
31	09-Nov-2015	04-Dec-2015	25	D	2	Perdida de potencia ,afectado un bloque de potencia
32	04-Dec-2015	25-Dec-2015	21	D	2	Perdida de potencia ,afectado un bloque de potencia
33	25-Dec-2015	22-Jan-2016	27	D	2	Perdida de potencia ,afectado un bloque de potencia
34	22-Jan-2016	18-May-2016	116	B	1	Fallo de energia eléctrica interna por fusibles en mal estado
35	18-May-2016	12-Jun-2016	24	D	2	Perdida de potencia ,afectado un bloque de potencia

Fuente: SPSS V.23.

Anexo 3. Tablas de Parámetros de las Distribuciones.

Transmisor 1.

Tabla 1. Parámetros de distribuciones Lognormal y Weibull para el Transmisor 1.

Distribuciones de entrada				Distribuciones de entrada			
			Valor de parámetro				Valor de parámetro
TBFD	Lognormal	a	24,459	TBF	Weibull	a	106,640
IAS		b	1,801			b	,616
						c	,000

Fuente: SPSS V23.0.

Transmisor 2.

Tabla 2. Parámetros de distribuciones

Distribuciones de entrada				Distribuciones de entrada			
			Valor de parámetro				Valor de parámetro
TBF	Lognormal	a	46,038	TBFDIAS	Weibull	a	61,592
		b	1,607			b	,576
						c	,000

Lognormal y Weibull para el Transmisor 2.

Fuente: SPSS V23.0.

Transmisor 3

Tabla 3. Parámetros de distribuciones Lognormal y Weibull para el Transmisor 3.

Distribuciones de entrada				Distribuciones de entrada			
			Valor de parámetro				Valor de parámetro
TBF	Lognormal	a	57,534	TBF	Weibull	a	103,631
		b	1,156			b	,883
						c	,000

Fuente: SPSS V23.0.

Transmisor 4.

Tabla 4. Parámetros de Distribuciones Gamma y Weibull para el Transmisor 4.

Distribuciones de entrada			Valor de parámetro
T Gamma	Forma		,381
B	escala		,002
F			

Distribuciones de entrada				Valor de parámetro
TBF	Weibull	a		131,488
		b		,510
		c		,000

Fuente: SPSS V23.0.

Transmisor 5.

Tabla 5. Parámetros de Distribuciones Gamma y Weibull para el Transmisor 5.

Distribuciones de entrada				Valor de parámetro
TBFD	Gamma	Forma		,772
IAS		escala		,003

Distribuciones de entrada				Valor de parámetro
TBFDIAS	Weibull	a		248,627
		b		,850
		c		,000

Fuente: SPSS V23.0.

Transmisor 6.

Tabla 6. Parámetros de distribuciones Gamma y Weibull para el Transmisor 6.

Distribuciones de entrada				Valor de parámetro
TBF	Gamma	Forma		,498
		escala		,003

Distribuciones de entrada				Valor de parámetro
TBF	Weibull	a		132,794
		b		,621
		c		,000

Fuente: SPSS V23.0.

Transmisor 7.

Tabla 7. Parámetros de distribuciones Lognormal y Weibull para el Transmisor 7.

Distribuciones de entrada				Valor de parámetro
TBF	Lognormal	a		32,103
		b		1,383

Distribuciones de entrada				Valor de parámetro
TBF	Weibull	a		63,968
		b		,764
		c		,000

Fuente: SPSS V23.0.

Transmisor 8.

Tabla 8. Parámetros de distribuciones Gamma y Weibull para el Transmisor 8.

Distribuciones de entrada				Valor de parámetro
T Gamma	Forma			,610
B	escala			,005
F				

Distribuciones de entrada				Valor de parámetro
TBF	Weibull	a		100,510
		b		,734
		c		,000

Fuente: SPSS V23.0.

Transmisor 9

Tabla 9. Parámetros de distribuciones Lognormal y Weibull para el Transmisor 9.

Distribuciones de entrada				Valor de parámetro
TBFDIA	Lognorma	a		24,222
S	l	b		1,362

Distribuciones de entrada				Valor de parámetro
TBFDIAS	Weibull	a		48,475
		b		,700
		c		,000

Fuente: SPSS V23.0.

Anexo 4. Gráficos de Distribuciones de Weibull.

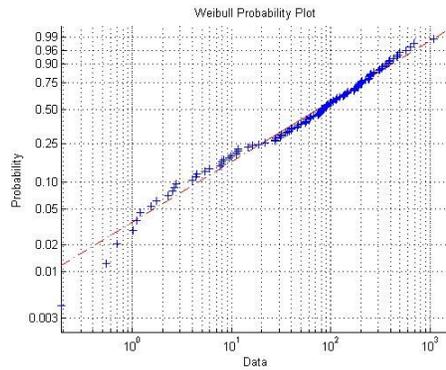


Figura 1. Gráfico de Distribución de Weibull para Transmisor 2.

Fuente: Matlab.

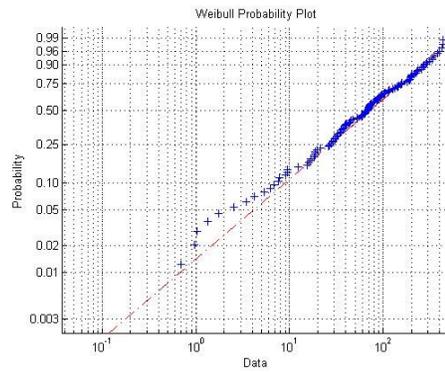


Figura 2. Gráfico de Distribución de Weibull para Transmisor 3.

Fuente: Matlab.

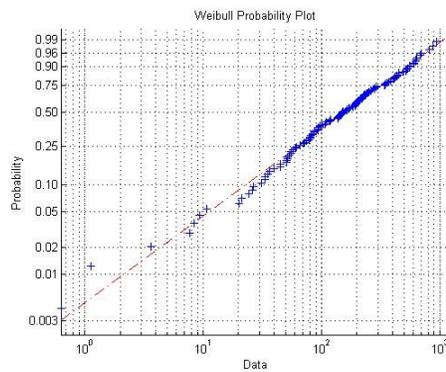


Figura 3. Gráfico de Distribución de Weibull para Transmisor 4.

Fuente: Matlab.

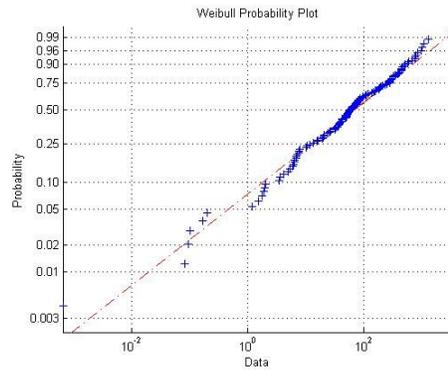


Figura 5. Gráfico de Distribución de Weibull para Transmisor 6.

Fuente: Matlab.

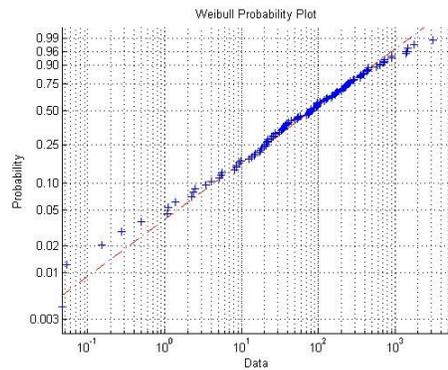


Figura 6. Gráfico de Distribución de Weibull para Transmisor 7.

Fuente: Matlab.

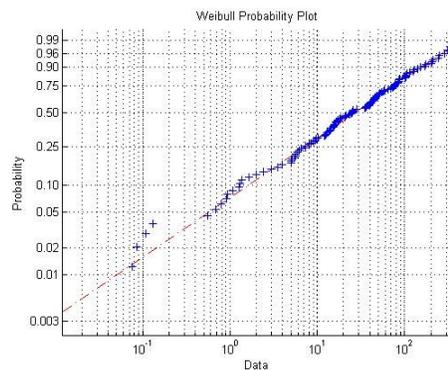


Figura 7. Gráfico de Distribución de Weibull para Transmisor 8.

Fuente: Matlab.

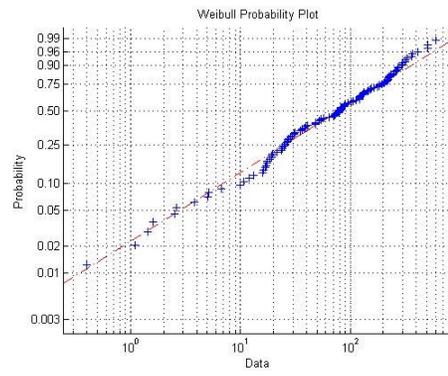


Figura 8. Gráfico de Distribución de Weibull para Transmisor 9.

Fuente: Matlab.

Anexo 5. Tablas de nuevos planes de mantenimiento.

Tabla 1 .Plan de Mantenimiento Actual de Transmisor 2, 3, 4 y 5.

DNR-1-M														
Empresa Nacional Radiocuba					(11) J' Oper. y Mto. Prov. _____					(2) Unidad: Malecón				
Dirección de Mantenimiento					(12) Aprobado _____					(4) Municipio: Cienfuegos				
Programación y Control del Mantenimiento Preventivo					(1) Año _____ 2017					(3) Provincia: Cienfuegos				
No.(5)	EQUIPO (6)	Hr/Hm.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
10	Transmisores 2, 3, 4 y 5	M-2	T			S			T			A		
		T-3												
		A-5												

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1 .Plan de Mantenimiento Actual de Transmisor 7, 8 y 9.

DNM-1-M														
Empresa Nacional Radiocuba					(11) J' Oper. y Mto. Pro _____					(2) Unidad: 18 Plantas				
Dirección de Mantenimiento					(12) Aprobado _____					(4) Municipio: Cienfuegos				
Programación y Control del Mantenimiento Preventivo					(1) Año _____ 2017					(3) Provincia: Cienfuegos				
No.(5)	EQUIPO (6)	Hr/Hm.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	Transmisor 7, 8 y 9	M-NAP	T			S			A			T		
		T-3												
		S-4												
		A-5												

Fuente: Elaboración propia.