

UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y TURISMO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



TRABAJO DE DIPLOMA

DISEÑO DE UN PROCEDIMIENTO PARA LA DEFINICIÓN DE REGLAS DE PRIORIDAD EN EL MANTENIMIENTO DEL EQUIPAMIENTO PRODUCTIVO DE LA UEB FÁBRICA DE FUSIBLES Y DESCONECTIVOS DE VILLA CLARA.

Autor: Alied Miranda Rodríguez

Tutores: Dr.C. Ing. Aramis Alfonso Llanes

Ing. Rolando Guerra Ramírez

Santa Clara, 2014

Pensamiento.

*“Es la posibilidad de realizar un
sueño lo que hace que la vida sea interesante”*

Paulo Coelho

Dedicatoria.

*A mis padres y mi hermano, por amarme como soy, por estar
siempre conmigo y porque gracias a ellos hoy cumplimos
nuestro sueño.*

Agradecimientos.

Ante todo a mis padres y mi hermano, porque son el motor que me impulsa siempre a seguir adelante, porque sé que están muy orgullosos de mí, los amo.

A Aramis, por aceptar ser mi tutor y mi amigo, por ayudarme siempre durante estos seis años, por quererme como lo hace, sin él no hubiese tenido la seguridad ni la capacidad para hacer este trabajo.

A Nelson, porque mi paso por la universidad ha sido contigo, porque eres quien ha hecho que hoy esté aquí, porque hay cosas que nunca cambian.

A Liseydy, por adoptarme a los 25 años y ser mi segunda mamá, por darme los mejores consejos, porque para mi dicha me dio también otra tía, Niurka, las quiero con todo mi corazón.

A mi prima Made, por quererme incondicionalmente, en las buenas y en las malas; cuidarme y nunca dejarme caer, por alegrar mi vida, porque te admiro, gracias por existir.

A Lore y Liany, aunque estén lejos, gracias por quererme, apoyarme y dejarme ser una parte importante en sus vidas, no saben cuánto los extraño.

A mis grandes amigos Ernesto, Ricardo, Dayo, Youry y Juan José no saben cuánto los quiero y lo importante que son en mi vida, sin ustedes no hubiera podido llegar hasta aquí, no quisiera alejarme nunca de ustedes.

A Yisly, porque tu cuarto es el de todos tus amigos, siempre bien recibidos, por ser incondicional, llorona y la más bella de todas las personas que conozco.

A mi grupo, a los que empezamos, a los que quedaron en el camino y a los que llegaron en este último año, en especial a las mejores compañeras y amigas que he tenido y que quisiera tener siempre en mi vida Claudia, Lessa, Laura, Dayana, Blanquita y Anays, estoy muy orgulloso de haber compartido todos estos años juntos.

A Pupo, por ser compañero, amigo, hermano, gracias, un millón de gracia por tenderme la mano.

A Oscarito en especial, Jorge Félix, Jairo y mis demás compañeros del cuarto, por tener siempre las puertas de su cuarto abiertas para mí, los quiero.

A Olga y Malbelis, las adoro a ambas, gracias por soportarme estos últimos años en sus vidas.

A mis profesores de la carrera en especial a Fernando y Oelsis, por apoyarme, porque les debo mi formación profesional.

A los trabajadores de la empresa, en especial a Rolando, por estar siempre disponible para mí y ayudarme en todo lo que estuvo a su alcance.

Resumen.

RESUMEN

La Gestión de mantenimiento se ha convertido en un aspecto de vital importancia para la conservación de la capacidad productiva dentro de la nueva política económica que desarrolla el país; en tal sentido en la presente investigación se propone establecer reglas de prioridad para realizar acciones de mantenimiento ante fallos simultáneos del equipamiento de la Unidad Empresarial de Base (UEB) Fábrica de Fusibles y Desconectivos de Villa Clara.

Para la resolución del problema de la investigación fue necesario realizar una conceptualización sobre la Gestión de mantenimiento, dígase: etapas de su desarrollo, definiciones, tipos de mantenimiento existentes, los objetivos que persigue y las partes que la conforman. Se profundizó en la etapa de planificación, en los pasos para su desarrollo y en la programación como protagonista para el buen funcionamiento de todas las tareas. La tesis contiene, además, una revisión bibliográfica que aborda las diversas metodologías que giran en torno a la priorización del equipamiento productivo y su estrecho vínculo y contribución al desarrollo de la Gestión del mantenimiento.

Finalmente, la aplicación práctica de la propuesta, en una muestra del equipamiento de la entidad objeto de estudio práctico de la investigación, permitió definir las reglas de prioridad a tener en cuenta en el ordenamiento de los equipos pendientes a recibir mantenimiento en la entidad ante la ocurrencia de fallos simultáneos.

Summary.

SUMMARY

Maintenance Management has become an aspect of vital importance for the conservation of productive capacity within the new economic policy pursued by the country. For this reason, the main objective of this investigation is to establish the priority rules for maintenance actions against simultaneous failures of equipment in the Unidad Empresarial de Base (UEB) Fábrica de Fusibles y Desconectivos in Villa Clara.

A conceptualization on Maintenance Management was needed to solve the problem stated in this research; it is to say: the stages of development, the definitions, the types of existing maintenance, the objectives and the parts that conform it. A closer approach in the planning stage, in the steps for its development and in the programming as the protagonist for the proper functioning of all tasks was performed. The thesis also contains a literature review that addresses the various methodologies that revolve around the prioritization of production equipment and its close linkage and contribution to the development of Maintenance Management.

Finally, the practical implementation of the proposal, in a given sample of the equipment which belongs to the institution under practical study in this research, allowed us to define the priority rules to consider while organizing the equipment waiting for maintenance works in the unit before the occurrence of simultaneous failures.

Índice.

NDICE	Pag.
Introducción	1
Capítulo 1. Marco Teórico Referencial	5
1.1 Generalidades sobre Gestión del mantenimiento.....	6
1.1.1 Teorías y conceptos sobre mantenimiento.....	6
1.2 Administración y gestión del mantenimiento.....	11
1.2.1 Planificación y programación del mantenimiento.....	13
1.3 Reglas para realizar la determinación de prioridades.....	17
1.4 Conclusiones parciales.....	22
Capítulo 2. Diseño de la solución del problema científico	23
2.1 Caracterización general de la empresa.....	23
2.2 Caracterización del procedimiento general para el establecimiento de reglas de prioridad u ordenamiento del equipamiento productivo.....	25
2.3 Diseño del procedimiento general para la toma de decisiones relativa al establecimiento de reglas de prioridad u ordenamiento del equipamiento productivo.....	27
2.4 Aplicación del procedimiento en la UEB Fábrica de Fusibles y Desconectivos de Villa Clara.....	31
2.5 Conclusiones parciales.....	46
Conclusiones generales	47
Recomendaciones	48
Bibliografía	
Anexos	

Introducción.

INTRODUCCIÓN

En los últimos tiempos, la actividad de mantenimiento ha sufrido una transformación en su concepción de trabajo, convirtiéndose en un factor de vital importancia dentro de la estructura organizativa de las empresas. Este proceso ha permitido visualizar un horizonte más amplio en busca siempre de la excelencia que conduce, a los empresarios, al aumento de su competitividad, la disminución de los costos y la orientación de sus esfuerzos a la satisfacción de las necesidades y expectativas de los clientes [Acosta Palmer, 2012; Mora Gutiérrez, 2012; García Garrido, 2013].

La globalización de los mercados trae como consecuencia una fuerte competencia que, acompañada por un gran desarrollo tecnológico, determina que este éxito dependa del logro de cada uno y de todos sus componentes. En las cambiantes condiciones del mercado, las empresas requieren de una organización flexible que pueda adaptar rápidamente las nuevas herramientas de gestión, de una manera creativa e innovadora, que permita mantener sus productos y servicios con las especificaciones que exijan el cliente y la competencia [Bennett, 2009; García Garrido, 2010].

Precisamente sobre la importancia del mantenimiento han escrito numerosos autores [Torres, 2003; García Garrido, 2003; González Fernández, 2010, Mora Gutiérrez, 2012]. Plantean que la necesidad del mantenimiento se basa en que cualquier máquina o equipo sufre una serie de degradaciones a lo largo de su vida útil, si no se evitan o eliminan, el objetivo para el que se crearon no se alcanza plenamente, el rendimiento disminuye y su vida útil se reduce.

Una empresa que sea capaz de aplicar el plan de mantenimiento, con todo lo que esto implica (personal, tiempo y herramientas) de seguro podrá competir en busca de la excelencia ya sea de un producto o un servicio. Es por eso que en los últimos años se aprecia un significativo interés por optimizar las actividades de mantenimiento que se desarrollan en los diferentes tipos de empresas, con el objetivo de convertirlas en organizaciones flexibles, capaces de adaptarse a los constantes cambios a partir del incremento de sus capacidades de respuesta en las nuevas condiciones del entorno al que se enfrentan. Para el logro de todas las metas planteadas la programación, considerada fundamental y como el marketing de la Gestión del mantenimiento, utiliza hoy en día una serie de métodos y técnicas específicos para la resolución de problemas muy concretos, ligados por completo al proceso de toma de decisiones en mantenimiento [Abreu Ledón, et al., 2004; Ríos Pacheco y Villafañe Rodríguez, 2010; Romero y Martí, 2010; Martines López, 2011]. Estos métodos y técnicas recogen y tratan

convenientemente la complejidad de la situación, ofreciendo a los gestores de mantenimiento soluciones para priorizar órdenes de trabajo y fórmulas para encontrar más fácilmente respuestas a los problemas [Christensen, 2006; Alfonso Llanes, 2009; Rivera Rubio, 2011].

En la actualidad, resultan diversos los problemas que afectan directamente la economía nacional, dentro de los mismos pueden mencionarse: las mayores y constantes exigencias de competitividad a las que se ven sometidas las empresas cubanas, la actual crisis económica de orden mundial, y los llamados «efectos globalizadores» propios del modelo económico mundial. Esta última situación conlleva a la necesidad de convertir las empresas cubanas en organizaciones flexibles, capaces de adaptarse a los constantes cambios a partir del incremento de sus capacidades de respuesta a las nuevas condiciones del entorno.

En el VI Congreso del Partido, celebrado en mayo de 2011, se ponen en vigor los lineamientos que regirán la política económica y social del país. Dieciséis de ellos abordan el tema del mantenimiento, una evidencia de que este ocupa un lugar fundamental en los objetivos y procesos de actualización del modelo económico y social cubano. Algunos de los principales temas que abordan son: la importancia de planificar y ejecutar con prioridad las inversiones hacia los equipos más importantes, la fabricación y recuperación de piezas de repuestos que potencien los servicios de reparación y la vinculación del mantenimiento y las reparaciones con el uso eficiente de la energía.

El escenario considerado para objeto de estudio práctico de la presente investigación es la Unidad Empresarial de Base (UEB) Fábrica de Fusibles y Desconectivos de Villa Clara. La entidad tiene como objeto social la producción y comercialización de forma mayorista de componentes electrotécnicos y electromecánicos, así como prestar servicios de calibración y pruebas eléctricas a componentes electrotécnicos a las entidades de la Unión Eléctrica. Estudios desarrollados en la empresa en los últimos años [Hernández Pérez, 2013; Rodríguez Estrada, 2014] han posibilitado identificar un grupo de limitantes respecto al desempeño del área de Mantenimiento que caracteriza la **situación problemática** que originó la presente investigación, dígame:

1. Atrasos en la producción por incremento de las paradas imprevistas del equipamiento. Estadías elevadas del equipamiento por fallos simultáneos en los mismos.
2. Incremento de los costos de mantenimiento, asociado a una organización deficiente del mantenimiento.
3. Inexistencia de equipos para el respaldo o un inventario lógico de partes en almacén.

4. No existe una programación adecuada del mantenimiento que satisfaga las necesidades del equipamiento.

A partir de este escenario se traza como **problema de investigación**: ¿Cómo contribuir a la Gestión del mantenimiento de la Unidad Empresarial de Base (UEB) Fábrica de Fusibles y Desconectivos de Villa Clara de manera que se pueda determinar qué equipo priorizar ante la presencia de paradas simultáneas?

Resultado de lo anterior y basado en la construcción del marco teórico – referencial de la investigación, expuesto en el capítulo 1 de esta Tesis de grado, se formularon las preguntas de investigación siguientes:

1. ¿Cuáles son los métodos que existen para definir las prioridades u ordenamiento de los equipos ante fallos simultáneos?
2. ¿Serán aplicables las reglas de prioridad u ordenamiento a la Gestión del mantenimiento?
3. ¿Es posible el establecimiento de reglas de prioridad para el equipamiento productivo de Unidad Empresarial de Base (UEB) Fábrica de Fusibles y Desconectivos de Villa Clara?

En correspondencia alas preguntas de investigación propuestas y para que contribuyan al desarrollo de la investigación se define como **objetivo general** diseñar un procedimiento de soporte al proceso de toma de decisiones referente a la priorización u ordenamiento (establecimiento de reglas de prioridad) del equipamiento productivo de la Unidad Empresarial de Base (UEB) Fábrica de Fusibles y Desconectivos de Villa Clara.

Para alcanzar el objetivo general antes expuesto, se plantean los objetivos específicos siguientes:

1. Identificar los elementos fundamentales referentes a los métodos, técnicas y reglas existentes para realizar la priorización de actividades y equipos, existentes en la literatura nacional e internacional disponible.
2. Diseñar un procedimiento que permita definir reglas de decisión para la atención a equipos ante fallos simultáneos.
3. Implementar el procedimiento propuesto en la Unidad Empresarial de Base (UEB) Fábrica de Fusibles y Desconectivos de Villa Clara para el equipamiento productivo de la entidad.

Para dar solución al problema científico planteado en la investigación se acudió a diferentes métodos teóricos y empíricos, además de técnicas y herramientas de la investigación científica, que contribuyeron al desarrollo exitoso de la misma. Entre los métodos aplicados se destacan los de análisis y síntesis, la dinámica de grupos, el análisis comparativo, las entrevistas y

herramientas estadísticas, sin excluir el análisis lógico, la analogía, la reflexión y otros procesos mentales que también le son inherentes a toda actividad de investigación científica.

El trabajo, en aras de cumplimentar dichos objetivos, ha sido dividido en tres capítulos. El primero se recoge toda la fundamentación teórica de la investigación con los aspectos mencionados anteriormente. En el segundo capítulo, se diseña y aplica el procedimiento en la entidad objeto de estudio. Además se muestran las conclusiones a las que se arribó, las recomendaciones propuestas que contribuirán al desarrollo de nuevos trabajos investigativos y la bibliografía consultada. Finalmente se exponen un grupo de anexos de necesaria inclusión para fundamentar, destacar y facilitar la comprensión de los aspectos de mayor complejidad.

Capítulo 1.

CAPÍTULO 1. MARCO TEORICO REFERENCIAL DE LA INVESTIGACION

Con el objetivo de reducir los costes de fabricación e incrementar la calidad de sus productos, las empresas adquieren nuevas y muy costosas tecnologías de producción. Este impulso renovador trae consigo un aumento en la demanda de mantenimiento y, al mismo tiempo, exige una nueva concepción de las organizaciones tradicionales, dedicadas fundamentalmente a la reparación de la maquinaria, como eficientes unidades de negocio de alto nivel tecnológico, cuyo objetivo es garantizar el funcionamiento y la capacidad de producción. La educación, investigación y normalización en las áreas de Ingeniería y Gestión del mantenimiento alcanzan cada día cotas de más alto interés en las escuelas técnicas, universidades y centros de formación en general.

El presente capítulo muestra una secuencia lógica de cómo se desarrollará el marco teórico referencial de la investigación en proceso, este se sustenta en el hilo conductor que se expone en la figura 1.1 que explica el procedimiento estratégico para la revisión y consulta de las diferentes fuentes bibliográficas lo que permitirá hacer un análisis explícito del estado del arte en la investigación y de la factibilidad de manifestación de la práctica sobre la Gestión del mantenimiento. Este capítulo enfatiza el valor y el significado en lo teórico-práctico que tiene el establecimiento de prioridades u ordenamiento del equipamiento, teniendo presente múltiples variables (criterios).

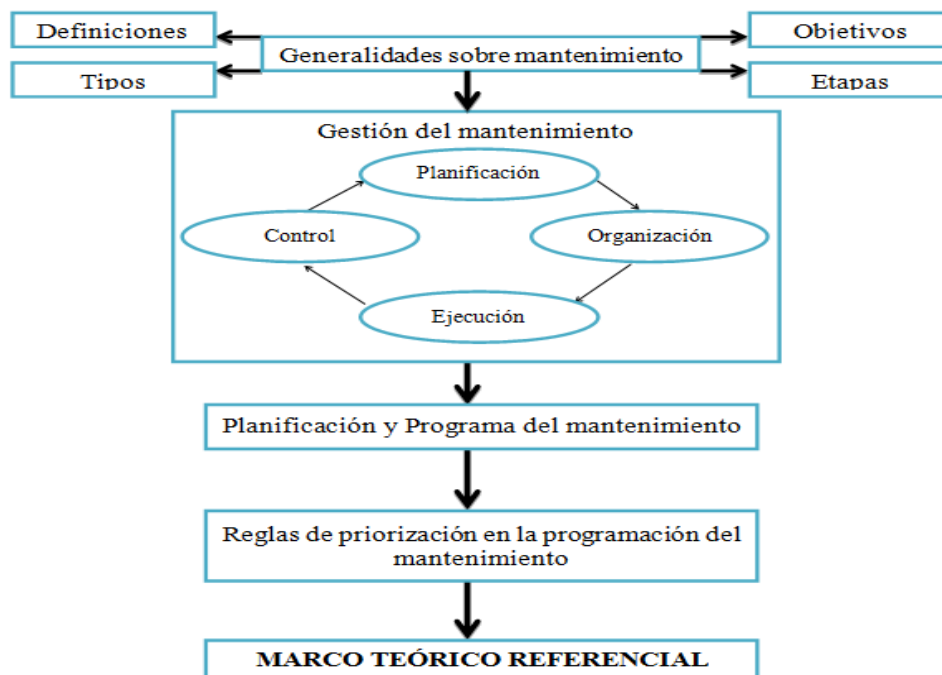


Figura 1.1. Estrategia seguida para la construcción del marco teórico referencial de la investigación.

1.1. Generalidades sobre Gestión del mantenimiento

La globalización de los mercados trae como consecuencia que las empresas en el mundo se han visto obligadas a cumplir con estándares de calidad internacionales que les permita ser competitivas a nivel regional, nacional e internacional. El mantenimiento se convierte así en un terreno donde convergen modernas y muy distintas tecnologías junto con métodos de investigación y de dirección de operaciones, que emergen en lo que en la actualidad conocemos como Ingeniería del mantenimiento. Esta permite gestionar eficaz y eficientemente la fiabilidad, conservación, preservación, disponibilidad y desempeño de los activos físicos de la empresa. Por la importancia que reviste la Gestión del mantenimiento para las empresas en la actualidad, el presente epígrafe abordará todo lo referido a la gestión mantenimiento haciendo énfasis en la definición, objetivos, tipos, desarrollo e importancia.

1.1.1 Teorías y conceptos sobre mantenimiento

A lo largo del proceso industrial vivido desde finales del siglo XIX, la Gestión del mantenimiento ha pasado por diferentes etapas, cambiando durante los últimos veinte años, quizás más que cualquier otra disciplina gerencial [Alfonso Llanes, 2009]. Este autor, referenciando a Moubray [1997] y a Jeira y Gipson [2004], plantea que estos cambios se deben principalmente al enorme aumento en número y variedad de los activos físicos que deben ser mantenidos, a la elaboración de diseños más complejos, al uso de nuevos métodos de mantenimiento, y a la existencia de una óptica cambiante en la organización de esta actividad y sus responsabilidades.

La evolución histórica del mantenimiento ha cursado por varias generaciones. Los autores [Alkaim, 2003; Rodríguez, 2003; Cardoso de Moraes, 2004; Pérez Jaramillo, 2004; Amaris Arias, 2006] plantean el desarrollo del mantenimiento a través de tres generaciones, más tarde otros autores [García González-Quijano, 2004 y González Fernández, 2007; referenciados en Alfonso Llanes, 2009] agregan una cuarta generación a partir de la aparición de nuevas tendencias, técnicas y filosofías, en la actualidad se habla de que el mantenimiento se encuentra cursando por la quinta generación de su desarrollo [Kuniewsk y Kallen, 2009; Cottsk, et al. 2010; Faulin et al. 2010; García Garrido, 2010; Rodríguez Machado, 2012; Rodríguez Díaz, 2014].

Primera generación

La primera generación cubre el periodo entre 1930 y la segunda guerra mundial. En esta época la industria estaba poco mecanizada y por tanto los tiempos fuera de servicio no eran críticos, lo que llevaba a no dedicar esfuerzos en la prevención de fallos de equipos. La maquinaria era sencilla por lo que la reparación en caso de avería era fácil y confiable. Como resultado, no se

necesitaban sistemas de mantenimiento complicados ni personal altamente calificado. Esta etapa se caracterizó por el mantenimiento reactivo o correctivo en que se reparaba en caso de avería.

Segunda generación

Esta generación comienza a partir de la segunda guerra mundial hasta los años 1970. Hacia el año 1950 se hacía evidente el tiempo improductivo de una máquina y cada vez se notaba más la dependencia de las fábricas industriales hacia los procesos mecanizados por lo cual se había construido equipos con mayor complejidad. Entonces nació el concepto de mantenimiento programado que tuvo como principio que las fallas se podían y se debían de prevenir, y por tanto, evitar o reducir los tiempos de parada forzada de las máquinas, llevando a cabo una revisión completa en intervalos fijos. El costo del mantenimiento se tornó representativo y para su efecto se comenzó con sistemas de control y planeación del mantenimiento. Esta etapa se caracterizó entonces por el uso extensivo de la estrategia de mantenimiento preventivo.

Esta generación perseguía como objetivos: mayor disponibilidad de la planta, mayor vida de los equipos y menor costo. Todo ello generó la planificación del mantenimiento, sistemas de control para el mantenimiento y la incorporación de la informática al mantenimiento a través de grandes ordenadores.

Tercera generación

En la tercera generación aparecen nuevas expectativas: condición de máquina vs calidad del producto, se incorporan los conceptos de seguridad y salud y cuidado del medio ambiente. La competitividad obliga a enfocarse en los costos. Se desarrollan nuevas estrategias de mantenimiento como son: el mantenimiento predictivo y proactivo. A la vez se desarrollan métodos estadísticos como: el monitoreo a condición, gestión de riesgos, modo de fallo, diagrama de Pareto, diagrama de Ishikahua, análisis causa raíz y análisis de modos de fallo y de sus efectos (AMFE). En esta generación aparecen: el mantenimiento productivo total (TPM, siglas en inglés) y el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM, siglas en inglés).

Cuarta generación

Hasta finales de la década de los 90, los desarrollos alcanzados en la tercera generación del mantenimiento incluían:

- ✓ Herramientas de ayuda a la decisión, como estudios de riesgo, modos de fallo y análisis de causas de fallo.
- ✓ Nuevas técnicas de mantenimiento, como el monitoreo de condición.
- ✓ Equipos de diseño, dando mucha relevancia a la fiabilidad y mantenibilidad.

- ✓ Un cambio importante en pensamiento de la organización hacia la participación, el trabajo en equipo y la flexibilidad.

A estos desarrollos, se han ido añadiendo nuevas tendencias, técnicas y filosofías de mantenimiento, de tal forma que se puede hablar de una cuarta generación del mantenimiento. La nueva etapa se centra en la eliminación de fallos utilizando técnicas proactivas. Ya no basta con eliminar las consecuencias del fallo, sino que se debe encontrar la causa de ese fallo para eliminarlo y evitar así que se repita. Así mismo, existe una preocupación creciente de la importancia de la mantenibilidad y fiabilidad de los equipos, de manera que resulta clavel tomar en cuenta estas propiedades desde la fase de diseño del proyecto. Otro punto importante es la tendencia a implantar sistemas de mejora continua de los planes de mantenimiento preventivo y predictivo, de la organización y ejecución del mantenimiento.

Esta generación tiene definidos como objetivos: mayor disponibilidad y fiabilidad, mayor seguridad, mayor calidad del producto, respeto al medio ambiente, mayor vida de los equipos, eficiencia de costos, mayor mantenibilidad, relación patrones de fallos y eliminación de los fallos. Para sustentar estos objetivos las técnicas utilizadas son las siguientes: monitoreo de condición, utilización de ordenadores pequeños y rápidos, modos de fallo y causas de fallo (FMEA, FMECA siglas en inglés), polivalencia, relación trabajo en equipo y mantenimiento autónomo, estudio fiabilidad y mantenibilidad durante el proyecto, gestión del riesgo, sistemas de mejora continua, mantenimiento preventivo, mantenimiento predictivo, relación mantenimiento proactivo y eliminación del fallo, grupos de mejora y seguimiento de acciones.

A modo de resumen, se detallan en las figuras 1.2 y 1.3 la evolución de las expectativas y técnicas del mantenimiento durante estas cuatro generaciones.

Quinta generación

Está centrada en la terotecnología. Esta palabra, derivada del griego, significa el estudio y gestión de la vida de un activo o recurso desde el mismo comienzo (con su adquisición) hasta su propio final (incluyendo formas de disponer del mismo, desmantelar, etc.). Integra prácticas gerenciales, financieras, de ingeniería, de logística y de producción a los activos físicos buscando costos de ciclo de vida (CCV) económicos. Es aplicable en todo tipo de industria y proceso. El objetivo principal de su aplicación es mejorar y mantener la efectividad técnica y económica de un proceso o equipo a lo largo de todo su ciclo de vida. Combina experiencia y conocimiento para lograr una visión holística del impacto del mantenimiento sobre la calidad de los elementos que constituyen un proceso de producción, y para producir continuamente mejoras tanto técnicas como económicas.

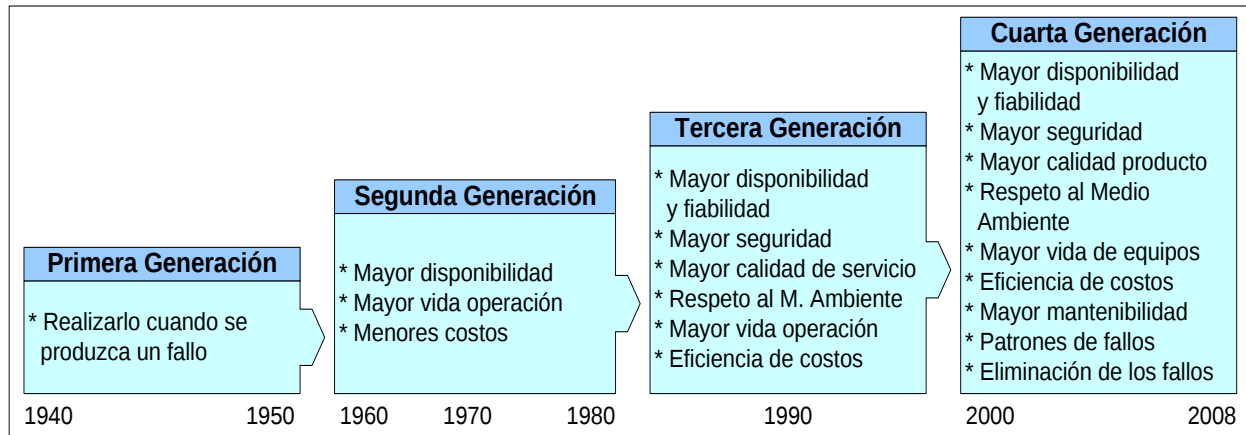


Figura 1.2. Evolución de las expectativas del mantenimiento. Fuente: Alfonso Llanes [2009]

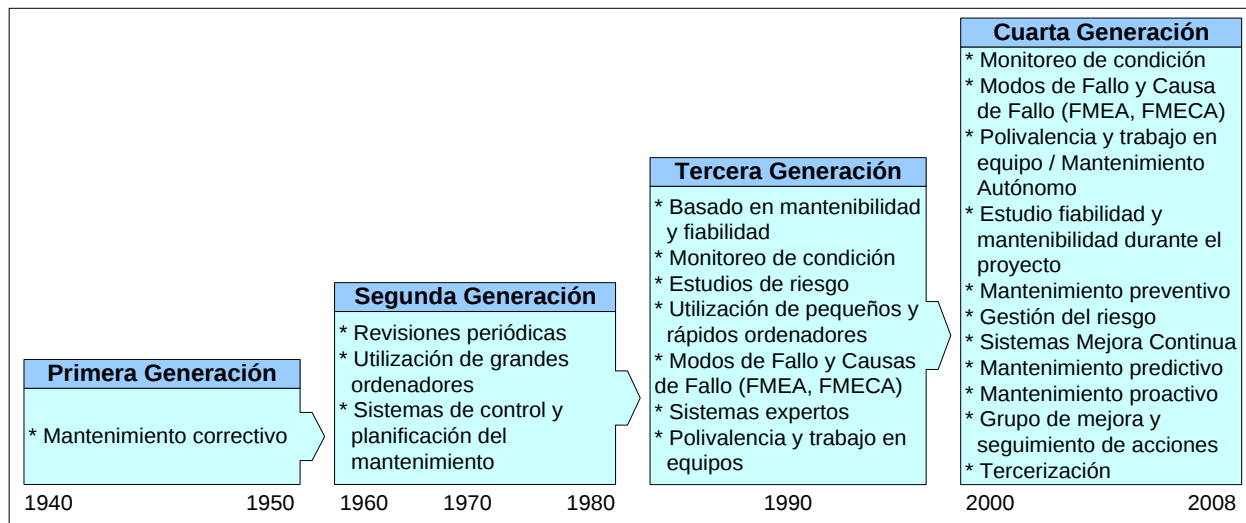


Figura 1.3. Evolución de las técnicas del mantenimiento. Fuente: Alfonso Llanes [2009]

La quinta generación define como objetivos plantear las bases y reglas para la creación de un modelo de gestión de mantenimiento orientado por la técnica y la logística integral de los equipos.

En la tabla 1.1 se detallan algunas características de las generaciones analizadas anteriormente.

La definición del término mantenimiento también ha recorrido un largo camino en su desarrollo, en el que se definen las particularidades y elementos comunes de cada propuesta, así como sus objetivos, tareas y funciones. Alfonso Llanes [2009] plantea que independientemente de la definición que se utilice, se percibe que los conceptos citados utilizan las expresiones “mantener”, “restablecer”, “conservar”, “restaurar” o “preservar” la función pretendida del activo hasta el estándar de funcionamiento deseado por sus usuarios. A partir del estudio de una amplia bibliografía realizadas anteriormente por este autor [De la Paz Martínez, 1996; Sánchez

Sánchez, 1999; Batista Rodríguez, 2000; Aguilera Martínez, 2001; Dunn, 2002; Alkaim, 2003; Fabro, 2003; García González-Quijano, 2004; Borroto Pentón, 2005] y la consulta de diferentes publicaciones impresas y electrónicas actuales [Stapelberg, 2009; Mazini et al. 2010; Tomligson, 2010; De la Paz Martínez, 2011; Rodríguez Machado, 2012; Aguilar del Oro, 2012; Parra Márquez y Crespo Márquez, 2012; García Garrido, 2013] se puede apreciar como continúan los puntos de vista similares en cuanto al concepto, apreciándose solo pequeñas diferencias o adaptaciones al caso de la empresa u organización de que se trate.

Tabla 1.1. Características principales de las generaciones de mantenimiento

Generación	Época en que aparece	Principales fundamentos
Primera generación	Desde el inicio de la Revolución Industrial	Mantenimiento correctivo puro
Segunda generación	A partir de la Segunda Guerra Mundial	Mantenimiento preventivo sistemático
Tercera generación	Década de los 80	Mantenimiento predictivo o por condición, Análisis de fallo, RCM, y TPM
Cuarta generación	Década de los 90	<u>World Class Management</u> y la eficiencia en la gestión
Quinta generación	Siglo XXI	Terotecnología. Visión técnico económica de los activos y del costo del ciclo de vida

Fuente: García Garrido [2010]

El autor de la presente investigación coincide con De la Paz Martínez, et al., [2011] que define el mantenimiento como: la totalidad de las acciones técnicas, organizativas y económicas encaminadas a conservar o restablecer el buen estado de los activos fijos, a partir de la observancia y reducción de su desgaste y con el fin de alargar su vida útil económica, con una mayor disponibilidad y confiabilidad para cumplir con calidad y eficiencia sus funciones, conservando el medio ambiente y la seguridad del personal.

Concerniente al objetivo principal del mantenimiento, los autores Kuniewsk y Kallen [2009], Cottsk et al. [2010], Faulin et al. [2010], Rodríguez Machado [2012] y García Garrido [2013], coinciden en definirlo como: conseguir el nivel máximo de efectividad en el funcionamiento del sistema productivo y/o de servicios, cumpliendo con los valores estimados de disponibilidad y fiabilidad y con la menor contaminación del medio ambiente y mayor seguridad para el personal al menor costo posible. Todo lo anterior implica: conservar el sistema de producción y/o servicios funcionando con el mejor nivel de fiabilidad posible, reducir la frecuencia y gravedad de los fallos, aplicar las normas de higiene y seguridad del trabajo, minimizar la degradación del

medio ambiente, adaptarse rápidamente a los cambios del entorno (flexibilidad), y controlar y reducir los costos a su mínima expresión.

Alfonso Llanes [2009], referenciando a Borroto Penton [2005], plantea que en la literatura especializada han sido tratados indistintamente los sistemas de mantenimiento como políticas, estrategias o filosofías, métodos y tipos de mantenimiento. En la tabla 1.2 se muestra una recopilación de los tipos de mantenimiento que aparecen en la bibliografía consultada.

Muchos son los aportes y beneficios que se alcanzan en las organizaciones con la aplicación de un mantenimiento oportuno, los autores Acosta Palmer [2012], Mora Gutiérrez [2012], Rodríguez Machado [2012] y Rodríguez Díaz [2014], coinciden en definir que los principales son:

- ✓ La disminución del riesgo, previniendo la probabilidad de ocurrencia de fallas indeseables.
- ✓ La mejora de los niveles de eficiencia en el servicio.
- ✓ Asegurar la disponibilidad del equipo y línea de producción.
- ✓ La reducción de costos operativos.
- ✓ Prolonga la vida útil de los equipos.
- ✓ Cumplimiento de los requisitos de seguridad.
- ✓ El mejoramiento de la imagen de la organización con un realce de la impresión de clientes y entorno.
- ✓ Incremento de la moral de los trabajadores que operan los equipos e instalaciones.

1.2. Administración y gestión de mantenimiento

La gestión eficiente del mantenimiento, como todo proceso que involucra el manejo de recursos, requiere que estos sean administrados adecuadamente, para lograr los objetivos que desea alcanzar la organización. A través de los años varios autores han considerado la administración como un sistema de toma de decisiones cuyo propósito es dirigir los recursos disponibles hacia el logro del objetivo de la empresa por medio del establecimiento de planes, de la organización de los recursos, la ejecución de tales planes y el control de las acciones cumplidas para lograr los objetivos previamente trazado [Amaris Arias, 2006; Ben-Daya, 2009; Alfonso Llanes, 2009; Hastingst, 2010; García Garrido, 2013]. Por su parte la ISO 9000:2001 define la gestión como el conjunto de actividades coordinadas para dirigir y controlar una organización. Según Espinosa Fuentes [2006] la Gestión del mantenimiento puede verse como “las actuaciones con las que la dirección de una organización de mantenimiento sigue una política determinada”.

Tabla 1.2 Tipos de mantenimiento según varios autores

Tipos de mantenimiento	Referencias
Detectivo	Sotuyo Blanco, 2001; Malaguera, 2001; Yañez Medina, 2005
Mejorativo o modificativo	Malaguera, 2001; Sotuyo Blanco, 2001; Mora Gutiérrez, y Pérez Peral, 2002; Torres, 2005 ; Mora Gutiérrez, 2012
Rutinario	Vinivius Lucattelli y García Ojeda, 1995 ; Malaguera, 2001
Programado, periódico o sistemático	Pérez Jaramillo, 1992; Aduvire, López & Mazadiego, 1994; Malaguera, 2001; Torres, 2005; Yañez Medina, 2005; Garcia Garrido, 2013.
Contra avería, reactivo, o correctivo	Díaz, 1993; Aduvire, López y Mazadiego, 1994; Benaim <u>et al.</u> , 1994; Prando, 1996; Torres, 1997; Tavares, 1999; Saavedra, 2000; Batista Rodríguez, 2000; Malaguera, 2001; Sotuyo Blanco, 2001; Da Silva Neto y Gonçalves de Lima, 2002; Dos Santos Mendez, 2002; Mora Gutiérrez, y Pérez Peral, 2002; Rodrigues, 2003; Kothari, 2004; Yañez Medina, 2005; Wireman, 2005; Torres, 2005; Stefano, 2006 ; Cotts <u>et al.</u> , 2010; Mora Gutiérrez, 2012; Documentos Técnicos de la OMS, 2012 ; Garcia Garrido, 2013.
Circunstancial o de oportunidad	Malaguera, 2001; Prando, 1996
Progresivo	Pérez Jaramillo, 1992
Preventivo ó basado en el tiempo	Pérez Jaramillo, 1992; Aduvire, Díaz, 1993; López & Mazadiego, 1994; Benaim <u>et al.</u> , 1994; Vinicius Lucatelly & García Ojeda, 1995; Prando, 1996 ; González García, 1997; Torres, 1997; Batista Rodríguez, 2000; Sotuyo Blanco, 2001; Da Silva Neto y Gonçalves de Lima, 2002; Dos Santos Mendez, 2002; Mora Gutiérrez, y Pérez Peral, 2002; Rodrigues, 2003; Kothari, 2004; Wireman, 2005; Yañez Medina, 2005; Torres, 2005; Stefano, 2006; Cotts <u>et al.</u> , 2010; Tomlingson, 2010; Mora Gutiérrez, 2012; Documentos Técnicos de la OMS, 2012 ; Garcia Garrido, 2013.
Predictivo o basado en la condición	Roda Vázquez & Sal García, 1992; Araya Schulz, 1993; Díaz, 1993; Aduvire, López & Mazadiego, 1994; Benaim <u>et al.</u> , 1994; Bollman, 1995; Torres, 1997; Ortiz Álvarez, 2000; Batista Rodríguez, 2000; Sotuyo Blanco, 2001; Da Silva Neto y Gonçalves de Lima, 2002; Dos Santos Méndez, 2002; Mora Gutiérrez, y Pérez Peral, 2002; Martín, 2003; Rodrigues, 2003; Kothari, 2004; Wireman, 2005; Yañez Medina, 2005; Torres, 2005; Stefano, 2006; Cotts <u>et al.</u> , 2010; Tomlingson, 2010; Mora Gutiérrez, 2012; Garcia Garrido, 2013.
Protectivo	Desir & Castolin, 1994
Productivo	Nakajima, 1988; Pérez Jaramillo, 1992; Hartmann, 1993; Rey Sacristán, 1993; Tobalina, 1992; Martín de Santiago, 1994; Lezana, 1995; Ortiz Álvarez, 2000
Proactivo	Borda Elejabarrieta, 1993; Dos Santos Mendez, 2002; Mora Gutiérrez, 2012.

Fuente: adaptado de Alfonso Llanes [2009].

En la actualidad el mantenimiento está destinado a ser el pilar fundamental de toda empresa que considere ser competitiva, por lo que se hace necesario utilizar técnicas y métodos para la planificación, organización, ejecución y control de actividades que garanticen el buen desempeño del equipamiento e instalaciones [Alfonso Llanes, 2009]. Según el mismo autor, lo anterior resulta imposible sin una eficiente estrategia y organización de esta disciplina en cada empresa, sobre todo por la estrecha relación que existe entre producción y mantenimiento.

En el presente epígrafe se hace un análisis de los elementos a considerar en la Gestión del mantenimiento haciendo especial énfasis en el proceso de planificación y dentro de esta a la programación del mantenimiento.

Planificación

Planificar para el futuro es una práctica diaria. Varios autores [Tomlinsong, 2010; Hastings, 2010; Mazini et al. 2010] visualizan la planificación del mantenimiento como el alma de todos los esfuerzos desarrollados en esta función. Según Zabiski Duardo [2012] la planificación es un proceso dinámico, complejo y estratégico. Para que un programa de mantenimiento sea exitoso requiere de una cuidadosa planificación, esta actividad tiene precisamente como función principal la planificación y programación, de la carga de trabajo de mantenimiento. Por tanto, el horizonte de planificación puede extenderse desde tan sólo 48 horas hasta un año, y abarcará todos los trabajos, aparte de los aplazados de alta prioridad y del mantenimiento de emergencia.

Por su parte Yañez Medina [2003], Fabro [2003], Parra Márquez y Crespo Márquez [2012], y Acosta Palmer [2012] plantean que en esta fase se definen: las acciones de mantenimiento (preventivo, correctivo) a realizar en los equipos o instalaciones, los recursos necesarios (materiales y humanos), y se establece el balance de las cargas de trabajo con las capacidades de medios y hombres para llevarlas a cabo. Según Alfonso Llanes [2009], en ella se le debe dar respuesta a las preguntas: ¿cuándo hacerlo?, ¿con qué hacerlo? y ¿con quién hacerlo?

Organización

En un mundo en el cual los cambios están ocurriendo exponencialmente los sistemas de mantenimiento se encuentran en constante evolución por lo que su organización necesita una modificación continua como respuesta a los requisitos cambiantes. Alfonso Llanes [2009] plantea que la organización del mantenimiento debe dar respuesta a las preguntas: ¿qué hacer? y ¿cómo hacerlo? Para ello se vale de dos fases: la fase organizativa donde se determina la estructura de trabajo, las funciones dentro de esta, las relaciones externas e internas, los procedimientos para el flujo y registro de información y documentación; y la fase preparatoria donde se define la preparación de los recursos (materiales y humanos), la

documentación y las instalaciones [Yañez Medina, 2003; Torres, 2005; Alfonso Llanes, 2008; Cottsk, 2010; García Garrido, 2010].

Alfonso Llanes[2009] destaca que en muchas organizaciones en el contexto empresarial cubano aunque no dejan de considerarse muchos de los elementos mencionados anteriormente, la planificación y organización del mantenimiento han tendido a depender de la experiencia y la percepción de los operadores y a ser manejada sensorialmente; se ha centrado en inspecciones cualitativas del estado de los equipos, debido a la dificultad para determinar cuantitativamente el nivel de deterioro de los mismos, además de no ser constante el considerable número de información que se ha de procesar.

Ejecución

La función de ejecución persigue realizar las actividades de mantenimiento de forma efectiva y eficiente, para aumentar la productividad en la gestión y cumplir exitosamente con los programas establecidos [Yañez Medina, 2003; Kuniewsk y Kallen, 2009; Mazini et al. 2010; Faulin et al. 2010]. Alfonso Llanes [2009] plantea que la ejecución del mantenimiento puede realizarse por medios propios, por contratación de los trabajos a terceros o por la combinación de ambas. Para ejecutar el mantenimiento por medios propios la empresa debe disponer de los recursos (materiales y humanos) que se necesitan para desarrollar las labores y asegurar una adecuada utilización de los mismos [BorrotoPentón, 2005]. A partir del análisis de la literatura vinculada a este tema se pudo apreciar como la tendencia general es hacia organizaciones de tipo mixto, descentralizadas por sectores [Bennett, 2009; Mora Gutiérrez, 2009; Klimasauska, 2011].

Evaluación y control

Esta función consiste en determinar si la actividad o tarea realizada se efectúa de acuerdo con lo previsto (plan, norma, leyes, órdenes, disposiciones) o si el estado del sistema en un momento dado se corresponde con el estado planificado o normal, con el fin de rectificar o evitar las desviaciones en los casos en que existan.

Varios autores [Gusmao, 2001; Stefano, 2006; Acosta Palmer, 2012; Rodríguez Machado, 2012; García Garrido, 2013] plantean que cada sistema de mantenimiento incluye un método de control, por lo general expresado en función de tasas, cuotas y razones o índices, para determinar cómo marchan las cosas y por qué marchan, a fin de que permita tomar decisiones.

1.2.1 Planificación y programación del mantenimiento

La planificación es la base para poder llevar a cabo las acciones de mantenimiento de una manera ordenada. Esta actividad se realiza a través de la jerarquización de planes como propósitos, objetivos, estrategias, políticas, procedimientos, reglas, programas, presupuestos,

entre otros. En el anexo 1 se hace un resumen de los principales pasos o etapas que componen los planes de mantenimiento propuestos por diferentes autores.

El análisis detallado de los procedimientos mencionados en el anexo, permite ver con claridad las semejanzas y diferencias existentes entre los mismos. Dentro de los aspectos que tienen en común se percibe que tienen en cuenta primeramente, las características de los equipos o una descripción de los mismos, también definen los posibles modos de fallos de los equipos así como el mantenimiento a realizar en cada caso, por último, los autores hacen una revisión de la implementación del plan propuesto con el objetivo de determinar las deficiencias, y así poder darle solución. En la mayoría de los casos se adolece, como paso fundamental, del análisis de la criticidad de los equipos para definir el tipo de mantenimiento que será aplicado en la empresa o instalación donde se implementará dicho plan.

En el caso de la programación, es importante aclarar su concepto para luego entender cómo se realiza. Según Schroeder [1992] y Gaizer & Frazier [2007] la programación comprende un conjunto de actividades relacionadas con el control de entrada – salida, los análisis de carga, el secuenciamiento y el despacho de órdenes de trabajo. Con puntos similares la define Mora Gutiérrez [2012] que plantea que programación del mantenimiento se refiere a la determinación de los tiempos de llegadas o salidas de los elementos que necesitan mantenimiento. Según el autor se fundamenta en el orden en que se deben realizar los mantenimientos según su urgencia, disponibilidad del equipo de mantenimiento y de los materiales necesarios. Plantea además que esta programación está dada según el equipo y la inspección que se realicen en la industria: esta programación es diaria, semanal o quincenal.

La programación es considerada como el marketing de la Gestión de mantenimiento, ya que, el resultado correcto de este proceso se traduce en la satisfacción de los solicitantes de los trabajos (clientes) y en el cumplimiento de las metas y objetivos relacionados con la confiabilidad operacional, la programación de producción y los resultados financieros de las empresas [Acosta Palmer, 2012; Mora Gutiérrez, 2012; García Garrido, 2013].

El análisis hecho a la bibliografía demostró que el término de programación ha sido tratado con mayor fuerza en el área de investigación de operaciones, de aquí la necesidad de profundizar cómo apoyar al proceso de toma de decisiones en mantenimiento a partir de las múltiples técnicas con las que cuenta, de que se cuantifiquen mejor los objetivos de cada política y los resultados de las mismas; y que se formule de forma más clara la metodología de gestión.

En términos generales, las actividades que se presentan en la programación son [Schroeder, 1992; Domínguez Machuca et al. 1995; Chase & Aquilano, 2009; Ríos Pacheco y Villafañe Rodríguez, 2010]: asignación de cargas, secuenciación de pedidos y programación detallada. A

estas, Adam & Ebert [1991], agrega otras dos, dígame: fluidez y control de insumo/producto (control input/output). El cumplimiento de estas actividades debe responder a las preguntas del programador siguientes [Schroeder, 1992; Chapman, 2006; Chase & Aquilano, 2009]:

1. ¿Qué capacidad se necesita en el centro de trabajo?
2. ¿Qué fecha de entrega se debe prometer en cada pedido?
3. ¿En qué momento comenzar cada pedido?
4. ¿Cómo asegurar que los pedidos terminen a tiempo?

A continuación se presenta una breve descripción del contenido de las actividades que se presentan en la programación.

Asignación de carga

En aproximación a los conceptos de Adam & Ebert [1991], Schroeder [1992], Domínguez Machuca et al. [1995], Heizer & Render [2009], Acevedo Suárez y Gómez Acosta [2010] la asignación de cargas se define como la asignación de tareas a cada centro de trabajo o de proceso, que permite controlar la capacidad y la asignación de actividades específicas en cada centro de trabajo. En general las técnicas más empleadas en la asignación de carga son: Gráficos Gantt, perfiles de carga o diagramas de carga, métodos optimizadores (algoritmo de Kuhn o método Húngaro) y soluciones heurísticas (método de los índices).

Secuenciación de pedidos

Esta actividad consiste, en la determinación del orden en que serán procesados los pedidos en cada centro de trabajo, una vez establecida la existencia de capacidad. El problema de la secuenciación se hace más complejo en la medida que aumenta el número de centros de trabajo, sin importar la cantidad de pedidos; así mismo, es importante tomar en cuenta el tipo de configuración del taller, pues de esto depende la aplicabilidad de las diferentes técnicas.

Programación detallada

Determina los momentos de comienzo y fin de las actividades de cada centro de trabajo, así como las operaciones de cada pedido para la secuencia realizada. Las técnicas más utilizadas son: programación adelante y hacia atrás, listas de expedición, gráficos Gantt y programación a capacidad finita.

Fluidez

Permite verificar que los tiempos planeados se cumplan, de tal forma que, si existen desviaciones en la producción real, se puedan tomar medidas correctivas a tiempo.

Control de insumo / producto

Controlan los niveles de utilización de la capacidad de cada centro de trabajo, mediante los informes de entrada/salida.

Los autores Acosta Palmer [2012] y Mora Gutiérrez [2012] coinciden en que una buena programación de la actividad de mantenimiento hace que las empresas cuenten con las ventajas siguientes:

- Disminución de costos provocados por paradas del proceso de producción cuando se presentan reparaciones imprevistas.
- Elaboración de productos de alta calidad y a bajo costo.
- Facilita la elaboración del presupuesto acorde con a las necesidades de la empresa. El presupuesto es más fácil y más preciso.
- Se mejoran la disponibilidad en almacenes de mantenimiento. Tiempos de espera.
- Satisfacción de los clientes con respecto a la entrega del producto en el tiempo acordado.
- Reducción de los riesgos en accidentes de trabajo ocasionados por el mal estado de las máquinas o sus componentes.
- Se incrementa la confiabilidad de los equipos. Evita los daños irreparables en las máquinas.
- Detección de fallas producidas por el desgaste de piezas permitiendo una adecuada programación en el cambio o reparación de las mismas.
- La planificación y programación de las actividades de mantenimiento aumenta la capacidad para ejecutar exitosamente las solicitudes de trabajo requeridas.
- Los planes de trabajo y procedimientos previamente elaborados evitan demoras y permiten la programación de los mismos.
- La programación de mantenimiento, permite a los supervisores asignar y controlar la cantidad adecuada de trabajo con instrucciones claras y con los materiales, repuestos, herramientas, permisos y otros aspectos logísticos listos para su uso.
- Partes innecesarias e información inexacta se eliminan.

La organización de la programación en el mantenimiento persigue el objetivo de hacer corresponder los recursos con la carga de trabajo donde la principal distinción es entre trabajos programados y no programados[Alfonso Llanes, 2009; García Garrido, 2009; Mora Gutiérrez, 2012; OMS, 2012]. En el caso de la Gestión de mantenimiento, los primeros se refieren principalmente a las tareas de mantenimiento preventivo y condicional, mientras que los segundos están relacionados con las tareas de mantenimiento correctivo.

Programa de mantenimiento preventivo

Con el objetivo de obtenerla máxima eficiencia y la óptima operación de los equipos existentes en la empresa, se requiere de un sistema lógico y probado de mantenimiento preventivo debidamente planificado y estructurado. Este sistema previene las fallas e interrupciones en las operaciones de la obra civil, instalaciones y equipos a través de sus cuatro tareas básicas:

limpieza, inspección, lubricación y ajuste. La carga de trabajo de mantenimiento preventivo se determina como producto de un detallado estudio de las actividades a realizarse sobre la infraestructura física de la empresa y de una cuidadosa selección, en función de los criterios de vulnerabilidad, costo, servicio crítico, y no crítico y otros factores relevantes.

En esencia el programa de mantenimiento preventivo es diseñado para facilitar la inspección periódica, servicios de limpieza y realización de reparaciones y ajustes de rutina de los activos fijos de la entidad. Su propósito se fundamenta en el descubrimiento oportuno y anticipado de aquellas condiciones anormales que podrían conducir a interrupciones no previstas en la operación normales del equipo, ser causante de lesiones al personal o producir daños que revistan mayor gravedad, con el consecuente aumento en el costo de las reparaciones o el remplazo del equipo ante una rotura incorregible.

Programa de mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo consiste en la realización de reparaciones de emergencia que se efectúan para evitar que la infraestructura física se convierta en inoperable o para recuperar sus condiciones operativas y funcionales dentro de un corto plazo. La asignación de prioridades reviste partículas importancia en el mantenimiento correctivo, ya que por su misma naturaleza si estas actividades no se limitan a lo estrictamente necesario, pueden llegar a consumir la totalidad de los recursos materiales y económicos disponibles para el mantenimiento.

Los trabajos no programados se presentan de una manera casi aleatoria. De no existir una vigilancia de la condición, no puede llevarse a cabo la programación hasta que se ha producido la petición de trabajo. Parte de la demanda de trabajos de mantenimiento no programados se presenta sin previo aviso y exige una atención urgente. Los trabajos individualizados exigen atención en el turno durante el que se presentan. A veces este tipo de trabajo se denomina trabajo no programado, a pesar de que su demanda debe programarse en términos de personal, repuestos y equipo. En este caso, la dificultad principal es la predicción del tiempo disponible para la programación y la planificación de ese trabajo.

1.3. Reglas para realizar la determinación de prioridades

Dentro del proceso de gestión del mantenimiento, surge un factor de alto impacto relacionado con el uso de los recursos (presupuestos de mantenimiento, mano de obra a utilizar, materiales, repuestos y herramientas), en otras palabras, se tienen que tomar decisiones que permitan orientar los recursos financieros, humanos y tecnológicos, con el fin de poder desarrollar los planes de mantenimiento en los distintos equipos que participan en los procesos de producción [Parra Márquez y Crespo Márquez, 2012].

Es necesario entonces analizar en el caso de los trabajos de mantenimiento no programados (mantenimientos correctivos) los equipos que deberán recibir el servicio de manera prioritaria. En este epígrafe se presentan los principales métodos utilizados en la literatura consultada ya que la prioridad a ser dada en la ejecución del mantenimiento para un equipo es un asunto polémico en la actualidad. En la bibliografía se encontraron algunas vías fundamentales para la priorización de equipos, dígame: análisis de criticidad de los equipos, índice de clasificación para los gastos de mantenimiento, la secuenciación de las actividades y análisis ABC Multicriterio.

Análisis de criticidad de los equipos

El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, al crear una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, que dirige el esfuerzo y los recursos hacia las áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional [Christensen, 2006; Alfonso Llanes, 2009]. La clasificación de un componente como “crítico” supondrá la exigencia de establecer alguna tarea eficiente de mantenimiento preventivo que permita atajar sus posibles causas de fallo. En la tabla 1.3 se muestran las diferentes clasificaciones del equipamiento propuestas en la literatura consultada.

El método clásico de evaluación de la criticidad de los componentes de un sistema se realiza normalmente mediante la técnica de Análisis de los Modos de Fallo y sus Efectos (FMEA, Failure Mode and Effect Analysis) y, en otros casos, mediante la herramienta de Análisis de Modos de Fallo y Efectos Críticos (FMECA, Failure Modes Effects and Criticality Analysis) [Fernández Pérez, et al., 2003 y García González-Quijano, 2004].

La manera generalmente utilizada para realizar la jerarquización de los elementos dentro de un sistema productivo o de servicios es el empleo de un grupo de factores, criterios o variables que caractericen su contexto operacional y valoren las consecuencias que sobre cada una de ellas genera el modo de fallo que se presente. En el anexo 2 se muestra un resumen de las propuestas realizadas por diferentes autores e instituciones concernientes a la realización del análisis de criticidad. Existe un grupo de criterios que son comunes a la mayoría de las propuestas, dígame: seguridad, impacto ambiental, costo de reparación, pérdida de producción y tiempo de reparación [Alfonso Llanes, 2009].

Estas propuestas no consideran la ocurrencia potencial de fallos o interrupciones simultáneas (fallos múltiples), los cuales pudieran ser, en conjunto, de mayor criticidad aunque, por lo general, se trate de equipos de baja criticidad individual y es necesario realizarle adecuaciones para el caso de operaciones de procesos continuos.

Tabla 1.3. Clasificación del equipamiento

Fuente	Clasificación
MINBAS [1986]	Fundamentales para la producción No fundamentales en la producción
Ochoa Crespo [1994]	Máxima categoría Categoría media Categoría regular Categoría mínima
Vinicius Lucatelli y García Ojeda [1995]	De soporte directo a la vida Con sustitución periódica y obligatoria de piezas Que ofrece altos niveles de energía Con intervalo de mantenimiento normalizado
De la Paz Martínez [1996]	Muy importantes o fundamentales Normales o convencionales Auxiliares
González Danger y Hechavarría Pierre [2002] Torres [2005]	Importancia A Importancia B Importancia C
Espinosa Fuentes [2006]	Crítico Semicrítico No crítico
Torres [1997] Huerta Mendoza [2001] Yañez Medina [2004] Cardoso de Morais [2004] Borroto Pentón [2005] Christensen [2006] García Garrido [2009]	Alta criticidad (clase A) Mediana criticidad o importantes (Clase B) Baja criticidad o prescindibles (Clase C)
Rivera Rubio [2011]	Vitales Importantes Triviales
Documentos Técnicos OMS [2012]	Urgentes por emergencia Urgentes Regulares Pospuestos

Fuente: adaptada de Alfonso Llanes [2009].

Índice de Clasificación para los Gastos de Mantenimiento

El Índice de Clasificación para los Gastos de Mantenimiento (ICGM) es una herramienta que permite identificar la labor de mantenimiento que deba tener mayor prioridad sobre las otras [Rivera Rubio, 2011]. Según este autor el análisis se desarrolla a partir de la clasificación de los gastos de mantenimiento interrelacionando los recursos sujetos a estos trabajos, con la clase o el tipo de trabajo por desarrollar en ellos. Al ICGM también se le llama RIME (Ranking Index for Maintenance Expenditure) y está compuesto por dos factores: el código máquina y el código trabajo.

Código máquina. Es aquel que identifica los ítems por atender (equipos, instalaciones y construcciones) de acuerdo con la importancia de su falla.

Código trabajo. Es aquel que identifica cada tipo de trabajo al que se sujetarán dichos recursos, de acuerdo con sus costos.

El índice RIME tiene tres aplicaciones perfectamente bien delineadas que son:

- a. Jerarquización de la expedición de las labores de mantenimiento de acuerdo con su importancia relativa.
- b. Elaboración de la expedición de las labores de mantenimiento.
- c. Orientación mediante el código máquina de la clasificación de los equipos, instalaciones y construcciones de la empresa (ítems), determinando si son “vitales”, “importantes” o “triviales”, a fin de definir el tipo y la cantidad de trabajo de mantenimiento que se les debe proporcionar.

Por último, se hace notar que los códigos RIME no son constantes durante toda la vida útil de las máquinas, ya que éstas pueden cambiar de labor, producto, volumen de producción; en fin, tener cualquier cambio que aumente o disminuya la importancia y calidad del producto o servicio que deben proporcionar.

Análisis ABC multicriterio

El análisis ABC multicriterio es utilizado para la solución de problemas de clasificación y priorización. Con el fin de desarrollar la clasificación ABC multicriterio se han desarrollado una variedad amplia de modelos. En la bibliografía consultada se comprobó un predominio en el uso de la propuesta que considera el Método de las Jerarquías Analíticas (AHP, Analytical Hierarchy Process) y la Teoría de Conjuntos Aproximados (RST, Rough Set Theory).

Los autores Abreu Ledón, et al. [2004] y Asencio García y Delgadillo Gutiérrez [2005], Parra y Crespo Márquez [2012] plantean que el método contribuye a optimizar el proceso de toma de decisiones asociado con la distribución efectiva de los recursos a ser manejados por el área de

mantenimiento ya que existen una gran cantidad de factores involucrados que generan gran incertidumbre y este puede ayudar a disminuir la misma.

Este método constituye en la actualidad el más importante ya que permite alcanzar resultados numéricos significativos y conclusiones prácticas [Segovia Vargas, et al., 2008; Koyama, et al., 2008; Kaneiwa y Kudo, 2011].

Secuenciación de actividades

El proceso de determinar el pedido en una máquina o en un centro de trabajo se llama secuenciación o también secuenciación por prioridades [Ríos Pacheco y Villafañe Rodríguez, 2010]. Según estos las reglas de prioridad son reglas usadas para obtener una secuenciación de los trabajos. Las reglas pueden ser simples y pedir únicamente que los trabajos se ordenen de acuerdo con un dato, como el tiempo de procesamiento, plazo u orden de llegada. Martines López [2011] la define como el establecimiento del orden de paso de los diferentes pedidos por los centro de trabajo, de forma que se cumplan sus fechas de entrega con el mínimo inventario y el mínimo de consumo de recursos. La secuenciación de pedidos (y en general el establecimiento de prioridades) es una tarea muy común y necesaria en diferentes configuraciones productivas, existiendo numerosas técnicas para su resolución. Las reglas de prioridad constituyen una de las herramientas más versátiles y operativas que existen.

Por otra parte Romero y Martí [2010] plantean que cuando se haga la programación es indispensable que se proporcione una base para asignar tareas a los centros de trabajo, dependiendo de la capacidad de los mismos, luego de esto es preciso que se indique el orden en que serán ejecutadas dichas ordenes de pedido. La secuenciación especifica el orden en que deben realizarse los trabajos en los centros de trabajo. Las técnicas más conocidas son las que se especifican a continuación [Heizer & Render, 2009]:

1. Técnicas de secuenciación en una máquina: método húngaro, algoritmo de Kauffman, regla de menor tiempo de procesamiento (SPT, Shortes Processing Time) y el método de persecución de objetivos utilizado en los sistemas Kanban.
2. Técnicas de secuenciación en varias máquinas: regla de Johnson para N pedidos y dos máquinas, regla de Johnson para N pedidos y tres máquinas y reglas para N pedidos y M máquinas (algoritmo de Campbell-Dudek-Schmith, algoritmo de Bera, técnicas de simulación, sistemas expertos y más recientemente los Sistemas Cooperativos Asistidos).

Para los talleres configurados en Job Shop, debido a la diversidad en la secuencia de operaciones, no es posible emplear alguna técnica de optimización, por lo cual, la secuencia de operaciones, se establece en función de los objetivos específicos de cada programador, a través del uso de reglas de prioridad.

Los métodos de secuenciación deben cumplir con ciertas reglas de prioridad, las cuales proporcionan lineamientos para establecer la secuencia en que deben realizarse los trabajos. Una recopilación realizada en las obras de varios autores, permite determinar que las reglas de prioridad más empleadas son [Monks, 1991; Adam & Ebert, 1991; Tawfik & Chauvel, 1992; Schroeder, 1992; Buffa & Sarin, 1995; Domínguez Machuca et al. 1995; Nahmias, 1997; Russell & Taylor, 1998; Chase & Aquilano, 2009; Romero y Marti, 2010; Ríos Pacheco y Villafañe Rodríguez, 2010]:

FCFS: First come/ First Serve (primero en llegar, primero en ser atendido).

FISFS: First In System/ First Serve (primero en el sistema, primero en ser atendido).

SPT: Shortes Processing Time (menor tiempo de procesamiento).

LPT: Longest Processing Time (tiempo de procesamiento más largo).

EDD: Earliest Due Date (fecha de entrega más próxima).

CR: Critical Ratio (razón crítica o ratio crítico).

LWR: Least Work Remaining (mínimo trabajo remanente).

FOR: Fewest Operations Remaining (número mínimo de operaciones remanentes).

ST: Slack Time (tiempo de holgura).

ST/O: Slack Time per Operation (tiempo de holgura por operación).

NQ: Next Queue (siguiente en la cola).

JR: Johnson's Rule (regla de Johnson).

Teniendo en cuenta los aspectos que se deben considerar para la aplicación de estas técnicas y en aras de su importancia en las acciones de mejoramiento de la capacidad competitiva de una organización, a continuación se procederá a mencionar las principales ventajas y limitaciones que ofrecen [Romero y Martí, 2010; Ríos Pacheco y Villafañe Rodríguez, 2010]:

- Especialmente útil para el control y programación de grandes proyectos.
- Concepto directo y sin complejidad matemática.
- Las redes gráficas ayudan al panorama global de las relaciones entre las actividades del proyecto.
- El análisis de la ruta crítica y el tiempo de holgura ayuda a detectar las actividades que requieren vigilancia estrecha.
- Los documentos y las gráficas del proyecto señala quien es el responsable de varias actividades.
- Se aplica a una amplia variedad de proyectos.
- Útil para supervisar no sólo los programas si no también los costos.

Limitaciones:

- Las actividades del proyecto deben definirse con claridad, de manera independiente y estable en sus relaciones.
- Las relaciones de precedencia deben ser específicas y seguirse al elaborar la red.
- Las estimaciones de tiempo tienden a ser subjetivas y están sujetas a manejos de los administradores que temen ser demasiado optimistas o no suficientemente pesimistas.
- Existe el peligro inherente de detectar demasiado de la ruta más larga o crítica. Las rutas casi críticas.

1.4. Conclusiones parciales

1. La Gestión del mantenimiento utiliza hoy en día una serie de métodos y técnicas específicos para la resolución de problemas muy concretos, ligados por completo al proceso de toma de decisiones en mantenimiento. Estos métodos y técnicas recogen y tratan convenientemente la complejidad de la situación, ofreciendo a los gestores de mantenimiento soluciones para priorizar órdenes de trabajo y fórmulas para encontrar más fácilmente respuestas a los problemas.
2. La programación del mantenimiento ha ganado en importancia en las empresas cubanas dado que el resultado de este proceso se traduce en la satisfacción de los solicitantes de los trabajos (clientes) y en el cumplimiento de las metas y objetivos relacionados con la confiabilidad operacional, la programación de producción y los resultados financieros de las empresas.
3. La secuenciación (priorización) de órdenes de trabajo es un elemento de la programación ampliamente tratado en la Gestión de operaciones, sin embargo en la Gestión del mantenimiento no ha sido explotada a cabalidad; por esta razón se hace necesario desarrollar herramientas que permitan lograr esta meta en casos donde se presenten órdenes de trabajo simultáneas.

Capítulo 2.

CAPÍTULO 2. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA CIENTÍFICO

En el presente capítulo, para tributar a la solución del problema de investigación y como respuesta a lo expuesto en las conclusiones parciales derivadas de la construcción del marco teórico-referencial de la investigación, se expone un procedimiento general, con sus procedimientos específicos asociados, para asistir el establecimiento de prioridades u ordenamiento de los equipos pendientes a recibir mantenimiento siguiendo las reglas definidas.

2.1. Caracterización general de la empresa

El escenario considerado para la comprobación de la hipótesis de la investigación, constituye la Unidad Empresarial de Base (UEB) Fábrica de Fusibles y Desconectivos de Villa Clara creada desde año 2000 por la Empresa de Grupos Electrógenos y Servicios Eléctricos (GEYSEL) y desde el 01 de abril del año 2007 pertenece a la Empresa de Producciones Electromecánicas (EPE), al Ministerio de Energía y Minas (MINEM). Su sede principal se encuentra ubicada en la carretera a Camajuaní, km 4 ½, dentro del área del Politécnico General Lázaro Cárdenas del Río, y posee además dos instalaciones, situadas una en carretera central, km 307, Banda Placetas, desvío Universidad, y otra en Calle B, número 34, entre 6^{ta} y Final, Reparto Moro, todas en la ciudad de Santa Clara, provincia de Villa Clara.

Su objeto social es la producción y comercialización de forma mayorista de componentes electrotécnicos y electromecánicos, así como prestar servicios de calibración y pruebas eléctricas a componentes electrotécnicos a las entidades de la Unión Eléctrica. Tiene como política satisfacer las necesidades y expectativas de sus clientes, preservar el medioambiente y garantizar la seguridad y salud de sus trabajadores, lo cual logra a partir de los compromisos de la alta dirección. Los cuales se listan a continuación:

- cumplir los requisitos acordados con los clientes y otros suscritos por la organización;
- cumplir la legislación vigente y aplicable a sus actividades y productos;
- prevenir la contaminación asociada a sus actividades, disminuir las emisiones de residuales líquidos, mantener el control y manejo adecuado de los desechos peligrosos;
- utilizar racional y eficazmente los recursos asignados, fomentando el ahorro energético en el desarrollo de sus actividades;
- identificar, evaluar, controlar, minimizar o eliminar de manera continua, los riesgos a la salud, los accidentes y siniestros asociados a sus actividades, manteniendo un ambiente de trabajo seguro;
- realizar la calibración de contadores de energía eléctrica de manera confiable, aplicando una buena práctica profesional, con trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, cumpliendo los requisitos de la NC-ISO/IEC 17025:2006 y del órgano acreditador;

- garantizar la competencia del personal de la organización por medio de su motivación y familiarización con la documentación del sistema de gestión integrado y la implementación de las políticas y los procedimientos en su trabajo; y
- revisar y mejorar continuamente el sistema de gestión integrado.

La organización tiene implementado y certificado un sistema de gestión que integra calidad, medioambiente, seguridad y salud en el trabajo. Los sistemas de gestión de la calidad y medioambiente cumplen respectivamente los requisitos de la NC-ISO 9001:2008 y la NC-ISO 14001:2004 y se encuentran certificados por la Oficina Nacional de Normalización (ONN) y el Bureau Veritas, mientras que el sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo cumple con la NC 18001:2005 y está certificado por la ONN.

Cuenta además con un laboratorio de calibración de contadores de energía eléctrica y un laboratorio de ensayos eléctricos los que demuestran su competencia técnica por medio de la condición de laboratorio acreditado por el Órgano Nacional de Acreditación de las República de Cuba (ONARC) según los requisitos de la NC-ISO/IEC 17025:2006.

Entre sus productos principales se encuentran el eslabón fusible tipo K de media tensión para 15 kV y 34 kV, los cortacircuitos de expulsión (dropout), los seccionadores monopolares y tripolares, las cadenas de prueba, los guardacabos, la calibración de contadores de energía eléctrica, el ensamblaje de luminarias de alumbrado público y de gabinetes para contadores de energía eléctrica.

En la figura 2.1 aparece la estructura organizativa de la UEB Fábrica de Fusibles y Desconectivos, en la que se observa que el personal de dirección está subordinado directamente al director, lo que facilita la comunicación y toma de decisiones.

La empresa ha implantado un sistema de innovación tecnológica que abarca todos los procesos pertinentes, donde cada línea y laboratorio crea su propio plan de desarrollo tecnológico en el que son tomados en cuenta los posibles nuevos proyectos que aportan los conocimientos de sus innovadores, cuenta con un grupo de ingeniería que entre sus principales funciones se encuentra trabajar la cartera de productos de importación de la Unión Eléctrica con la finalidad de sustituir importaciones lo que complementa la estrategia trazada de inversión en nuevas tecnologías.

La empresa ha implantado un sistema de innovación tecnológica que abarca todos los procesos pertinentes, donde cada línea y laboratorio crea su propio plan de desarrollo tecnológico en el que son tomados en cuenta los posibles nuevos proyectos que aportan los conocimientos de sus innovadores, cuenta con un grupo de ingeniería que entre sus principales funciones se encuentra trabajar la cartera de productos de importación de la Unión

Eléctrica con la finalidad de sustituir importaciones lo que complementa la estrategia trazada de inversión en nuevas tecnologías.

Como principales proveedores de materias primas y materiales importados tienen a ENERGOMAT, y opera con otros proveedores nacionales como: AUSA, CIMEX, ACINOX, Adypel, Geocuba, EMI Ernesto Guevara, DIVEP y se utiliza como importador de los principales suministros a ENERGOIMPORT.

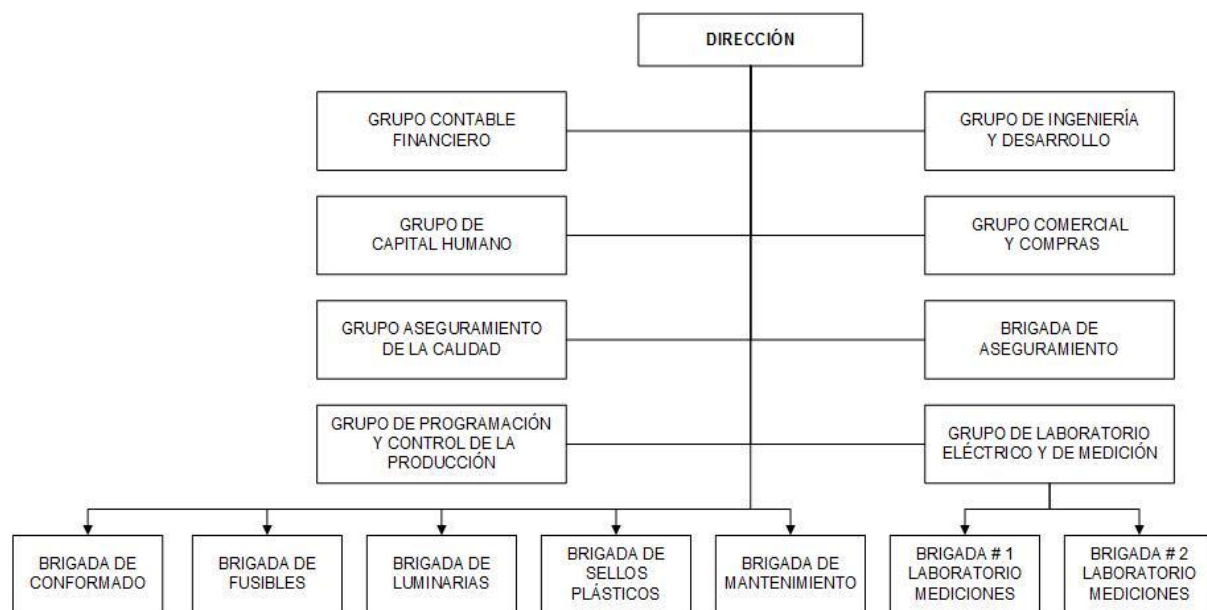


Figura 2.1. Estructura organizativa de la UEB Fábrica de Fusibles y Desconectivos.

La empresa ha implantado un sistema de innovación tecnológica que abarca todos los procesos pertinentes, donde cada línea y laboratorio crea su propio plan de desarrollo tecnológico en el que son tomados en cuenta los posibles nuevos proyectos que aportan los conocimientos de sus innovadores, cuenta con un grupo de ingeniería que entre sus principales funciones se encuentra trabajar la cartera de productos de importación de la Unión Eléctrica con la finalidad de sustituir importaciones lo que complementa la estrategia trazada de inversión en nuevas tecnologías.

Como principales proveedores de materias primas y materiales importados tienen a ENERGOMAT, y opera con otros proveedores nacionales como: AUSA, CIMEX, ACINOX, Adypel, Geocuba, EMI Ernesto Guevara, DIVEP y se utiliza como importador de los principales suministros a ENERGOIMPORT.

2.2. Caracterización del procedimiento general para el establecimiento de reglas de prioridad u ordenamiento del equipamiento productivo

Para que el procedimiento propuesto pueda constituir una verdadera vía que sirva de soporte al proceso de la toma de decisiones relativa a la priorización de los equipos por recibir

mantenimiento, debe poseer, como cualidad fundamental, un carácter autóctono sin dejar de incorporar, de manera creativa y pertinente, las mejores prácticas aplicadas a escala internacional, tanto en países del primer mundo como del entorno en que se desarrolle. Ambas cualidades de un procedimiento de este tipo, se definen, en gran medida, por el objetivo, el conjunto de principios básicos, las premisas y demás características que lo sustentan.

Objetivo del procedimiento

El objetivo general del procedimiento lo constituye: definir reglas de priorización de los equipos por recibir mantenimiento y que permitan identificar las labores de mantenimiento que deben tener mayor prioridad sobre las otras y consecuentemente su ordenamiento siguiendo las reglas definidas.

Principios que sustentan el procedimiento

El procedimiento desarrollado se sustenta en los principios siguientes:

Flexibilidad: el procedimiento tiene potencialidades para adaptarse con racionalidad tanto a los cambios provenientes de un entorno muy dinámico, como a los que se producen en lo interno de la organización, sin que se produzcan cambios significativos en su estructura, métodos y procedimientos de trabajo.

Consistencia lógica: en función de la ejecución de sus pasos en la secuencia planteada, en correspondencia con la lógica de ejecución de este tipo de estudio.

Trascendencia: las decisiones y acciones derivadas de su proceder tienen un impacto significativo, no sólo en el desempeño del área de mantenimiento, sino también en otras funciones empresariales como producción, compras, calidad, economía y recursos humanos.

Racionalidad: posibilidad de implementación con un presupuesto razonable, conduciendo, así mismo, a la obtención de beneficios de diversa índole y valor para la organización.

Fiabilidad: capacidad de funcionar continuamente sin obstaculizar el proceso de toma de decisiones.

Integrador: considera la integración del área de mantenimiento, en mayor o menor medida, con las diferentes áreas funcionales de la empresa, para acoplarse racionalmente a lo interno y con los elementos implicados del entorno donde se desempeña la organización.

Transparencia y parsimonia: la estructuración, armonía entre los pasos y la consistencia lógica del procedimiento, a la vez que permiten cumplir los objetivos para los cuales fue diseñado, son relativamente sencilla, comprensible y práctica, respectivamente, permitiendo su asimilación rápida por parte de las personas que se inician en su explotación.

Perspectiva: posibilidad de adaptación y de hacer extensible su aplicación como instrumento metodológico a otros procesos o empresas similares.

Coherencia y pertinencia: la posibilidad que tiene el procedimiento de ser aplicado para garantizar el cumplimiento de las metas del área de mantenimiento en las organizaciones y de ser coherente con los planes de desarrollo económico - social del país.

Premisas indispensables para la aplicación del procedimiento

1. La aprobación, participación y compromiso de la alta dirección como fuente de ideas y de impulso al proyecto (se reconozca la priorización de los equipos como filosofía para alcanzar las metas del área de mantenimiento ante la imposibilidad de identificar la labor de mantenimiento que deba tener mayor prioridad sobre las otras).
2. La disponibilidad de especialistas, ya sean internos o externos, con las competencias necesarias para realizar el diagnóstico interno de la Gestión del mantenimiento en la organización, la definición de las prioridades y el análisis de las capacidades reales del área de mantenimiento.
3. El compromiso de los trabajadores involucrados en la toma de decisiones relativa a la ejecución de las actividades de mantenimiento.
4. Disponibilidad de la información necesaria para el desarrollo de cada paso del procedimiento.

Entradas del procedimiento

Como entradas el procedimiento tiene:

- Atributos de clasificación del equipamiento, con sus niveles.
- Datos e informaciones sobre los atributos evaluados.

Salidas del procedimiento

Las salidas principales del procedimiento son:

- Regla de decisión para clasificar el equipamiento tomando en consideración los atributos que caracterizan su entorno empresarial.

2.3. Diseño del procedimiento general para la toma de decisiones relativa al establecimiento de reglas de prioridad u ordenamiento del equipamiento productivo

La concepción del procedimiento se ha partido de la propuesta hecha por los autores Abreu Ledón et al. [2004] y Asencio García & Delgadillo Gutiérrez [2005] que utiliza el análisis ABC Multicriterio combinando el Método de las Jerarquías Analíticas y la Teoría de Conjuntos Aproximados (MABCA). Se ha seguido un proceso lógico en su elaboración, a partir de la revisión y análisis de las fuentes consultadas, así como el uso de analogías y la consulta con especialistas, en el tema objeto de estudio. El diseño de las etapas y pasos, obedecen a la lógica general utilizada en la solución de problemas de decisión.

En la figura 2.2 se muestra el procedimiento general propuesto para el establecimiento de

reglas de prioridad u ordenamiento del equipamiento productivo pendiente a recibir mantenimiento que se aplicara en la UEB Fábrica de Fusibles y Desconectivos. A continuación se describen sus etapas y pasos.

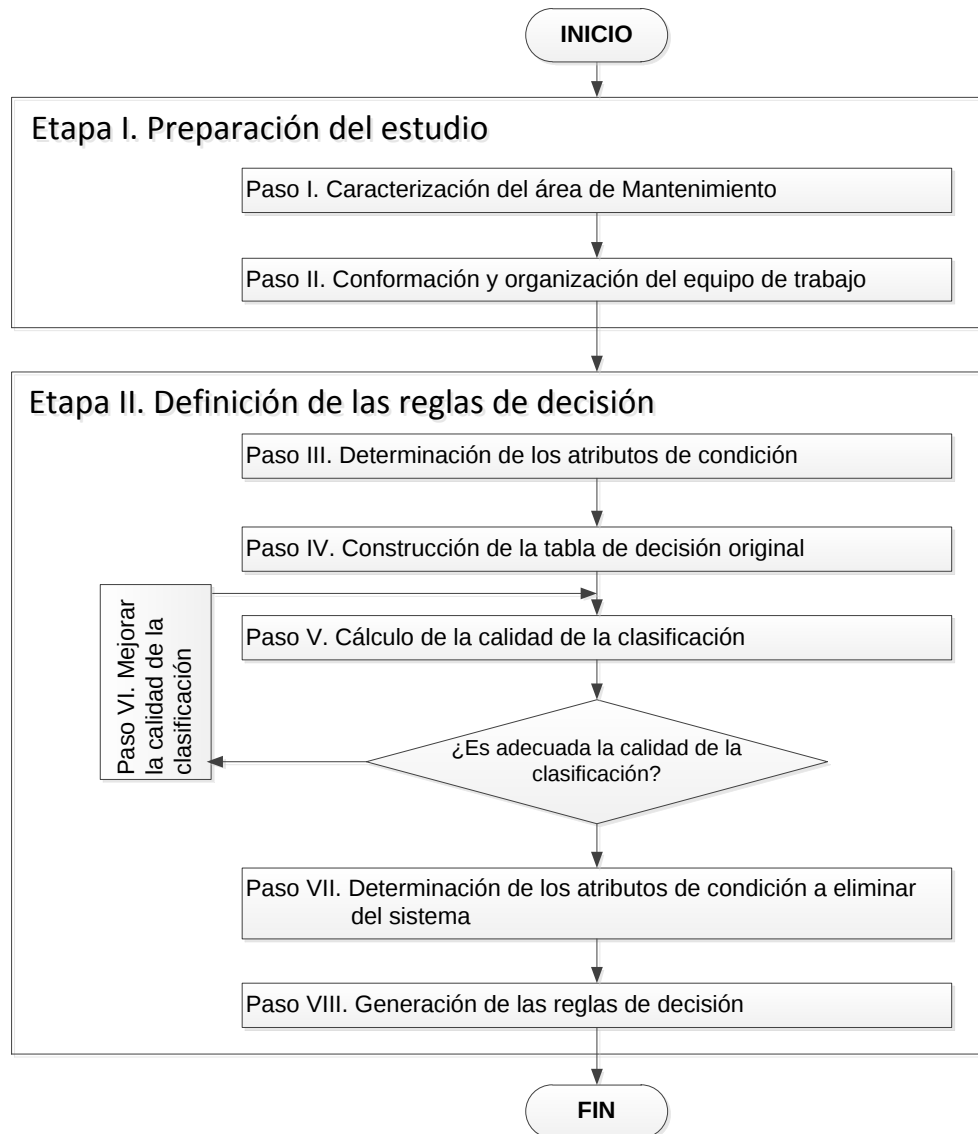


Figura 2.2. Procedimiento general para el establecimiento de prioridades u ordenamiento del equipamiento productivo.

Etapa I. Preparación del estudio

Esta etapa incluye dos pasos: la caracterización general del área de mantenimiento; y la conformación y organización del equipo de trabajo.

Paso I. Caracterización del área de mantenimiento

En este apartado el autor ha considerado que se deben implicar aspectos clave como los siguientes: misión, objetivos, estructura organizativa, plantilla de personal, políticas empleadas,

cantidad de equipos a atender, estado técnico del equipamiento. Además, se pueden especificar las principales insuficiencias que se encuentran afectando el desempeño adecuado del área en este momento.

Paso II. Conformar y organizar el equipo de trabajo

Este paso, abarca la conformación del equipo de trabajo que se encargará de liderar y ejecutar la aplicación del procedimiento general propuesto. Para esto se seleccionan a personas con conocimientos sobre el mantenimiento (de ser necesario se realizará la capacitación) y con un nivel elevado de compromiso, se definen quiénes serán los decisores, los analistas o equipo de estudio, los usuarios y programadores; además los miembros del equipo tienen que ser capaces de desarrollar las actividades siguientes:

- 1) Organizar y dirigir el accionar de los grupos de trabajo específicos que se conformen en determinadas etapas del procedimiento.
- 2) Recopilar la información necesaria para desarrollar cada una de las etapas del procedimiento.
- 3) Realizar los análisis incluidos en cada etapa, así como aplicar el software que se considere necesario.

Para alcanzar el objetivo de esta etapa es necesario utilizar técnicas de trabajo en grupos, siendo la tormenta de ideas o "Brain storming" [Gálvez Hernández, et al., 1987] una de las más usadas, participando en él un grupo de expertos, para la determinación y selección de los mismos se emplea el procedimiento presentado por Hurtado de Mendoza Fernández [2003].

Etapla II. Definir las reglas de decisión para el establecimiento de reglas de prioridad u ordenamiento del equipamiento

Para el desarrollo de esta etapa se utilizan el Método de las Jerarquías Analíticas y la Teoría de Conjuntos Aproximados. A continuación se exponen los pasos a seguir para la implementación de dichos métodos.

Paso III. Determinación de los atributos de condición

Para realizar este paso se emplea el análisis jerárquico que en su método AHP (Analytic Hierarchy Process). La elección de los atributos y los criterios de clasificación es una tarea fundamental en el uso de esta metodología. El problema de la elección de los atributos implica la tarea de buscar una métrica (escala de medición o descriptores) que permita representar los diferentes estados de cada atributo. Es en general, el resultado de un consenso entre los expertos. Los atributos deben reunir las características siguientes:

- cada atributo representa una dimensión o faceta del problema de decisión y todos los atributos deben ser independientes y no redundantes.

- todos los atributos, en un sentido colectivo, se consideran suficientes para los efectos de la clasificación de los artículos.
- se supone que la diferencia entre los valores que se asignan a cada atributo es importante para diferenciar entre ellos.

La lista final de los atributos, ya sea cuantitativa o cualitativa, puede ser fuertemente influenciada por el contexto de la decisión y los valores de los participantes.

Paso IV. Construcción de la tabla de decisión original

La información original del sistema, es decir, la construcción de la tabla de decisión debe ser realizada por un experto (o grupo de ellos) con los atributos seleccionados anteriormente y que sean capaces de establecer una clasificación de los ítems de acuerdo a dichos criterios.

Paso V. Cálculo de la calidad de la clasificación

Para el cálculo de la calidad de la clasificación se debe:

- Definir los subconjuntos "Yj" conformados por los ítems de cada una de las clases A, B y C.
- Definir los subconjuntos de "T". Estos son los conjuntos "Mi" conformados por los ítems que tienen igual comportamiento (evaluación) de los criterios en la tabla de decisión original.
- Obtener las aproximaciones T-Inferior (TI) y T-Superior (TS), así como las regiones dudosas (Fc) y la precisión de las aproximaciones (α). A continuación se expone cómo se realiza el cálculo de cada uno de estos elementos.

Tomando en consideración que $Y \in D$ y $X \in T$, se definen TI y TS de la forma siguiente:

TI Yj: Formado por la unión de aquellos subconjuntos de T que pertenecen a Yj (Subconjuntos exactos de T que se encuentran dentro de Yj).

$$TI Yj = \bigcup P = \{X_i \in T / X_i \subseteq Yj\} \quad j = A, B \text{ o } C \quad (2.1)$$

TS Yj: Formado por la unión de aquellos subconjuntos de T que tienen intersección con Yj (Subconjuntos enteros de T que al menos tienen un valor que coincide con los valores dentro de Yj).

$$TS Yj = \bigcup Q = \{X_i \in T / (X_i \cap Yj) \neq \emptyset\} \quad (2.2)$$

La Región dudosa (Fc) se define como un conjunto formado por aquellos elementos (ítems) de TS que no están incluidos en TI.

La precisión de la aproximación (α) representa el cociente de la cantidad de elementos incluidos en TI entre la cantidad de elementos de incluidos en TS.

- Cálculo de la calidad de la clasificación original.

El cálculo de la calidad de la clasificación original (γ_c) se realiza a través de la expresión 2.3.

$$\gamma_c(Y) = \frac{(\text{Total de ítems bajo análisis} - \text{Cantidad de ítems contenidos en } F_c)}{\text{Total de ítems bajo análisis}} \quad (2.3)$$

En el caso de que el resultado obtenido sea del 100% significa que la calificación hecha por los expertos es buena y se pasa a realizar el paso siete, de ser inferior se procede al paso seis.

Paso VI. Mejoramiento de la calidad de la clasificación

En este paso se realiza una revisión de la tabla original con el objetivo de repasar y mejorar la calidad de la clasificación anterior por parte de los expertos, obteniéndose una nueva tabla. Luego de esto se realiza nuevamente el paso tres.

Paso VII. Determinación de los atributos de condición a eliminar del sistema

En esta parte de la aplicación de se debe hacer un análisis de cuales atributos pueden abandonar el sistema, es decir, que su existencia no determina en ninguna medida la clasificación. Esto se hace eliminando provisionalmente el atributo, calculando la calidad de la clasificación con el conjunto restante y comparándola con la existente.

Paso VIII. Generación de las reglas de decisión

Del sistema de información revisado se pueden plantear una serie de reglas. Para ello se sigue un algoritmo basado en la Teoría de Conjuntos Aproximados, como se expone a continuación:

- a) Escoger una de las tres clases (A, B o C) para comenzar a aplicar el algoritmo (Yj) y se calcula la precisión de la aproximación dada por cada atributo individualmente.
- b) Escoger el atributo de mayor valor en este indicador (precisión de la aproximación) y analizar si procede alguna regla de clasificación con dicho atributo.
- c) Formar los conjuntos de dos atributos posibles donde uno sea el seleccionado en el paso anterior, determinar la precisión de la aproximación y escoger el conjunto de mayor valor. Se continúa el procedimiento hasta que queden incluidos todos los atributos.
- d) Aplicar este procedimiento para las dos clases restantes.

Estas reglas se pueden usar para clasificar ítems que no fueron incluidos en la muestra anterior, así como para clasificar aquellos equipos en los que varíe alguno de los atributos considerados. Finalmente, en el caso de una aplicación no estricta de estas reglas (un ítem donde la evaluación de los criterios no corresponda con ninguna de las reglas definidas) se debe buscar la regla más próxima de las citadas anteriormente o utilizar a los propios expertos para, dada las reglas anteriores, establecer alguna nueva.

2.4. Aplicación del procedimiento en la UEB Fábrica de Fusibles y Desconectivos de Villa Clara

Para la validación del procedimiento se toma como objeto de estudio práctico la UEB Fábrica de Fusibles y Desconectivos de Villa Clara. Se pudo constatar que en la entidad se cumple con las

premisas necesarias para la aplicación del procedimiento presentado en el epígrafe anterior, dígase: aprobación y compromiso de la alta dirección, capacidad para formar equipos de trabajo, y disponibilidad de la información necesaria.

Etapas I. Preparación del estudio

Paso I. Caracterización del área de mantenimiento

El área del mantenimiento se encuentra organizada de manera que asegure la disponibilidad máxima planificada de los equipos al menor costo, dentro de los requisitos de seguridad. Por cuanto, el departamento de mantenimiento dispone del personal técnico capaz de aplicar las exigencias del sistema, el desarrollo tecnológico, y a su vez garantizar la ejecución de las labores de mantenimiento en la empresa.

Cada trabajador labora un turno de ocho horas por día, subordinados al jefe de mantenimiento que a la vez es el jefe de producción. Los obreros son los encargados de cumplir con las tareas de mantenimiento que sean necesarias ejecutar para garantizar la capacidad operativa del equipamiento productivo de la fábrica: los sistemas de refrigeración y acondicionadores de aire, las tuberías e instalaciones eléctricas y todos los demás problemas que se presentan, siempre y cuando, estos se puedan resolver en relación con la calificación de la brigada, además, se encargan de la limpieza y cuidado de las áreas verdes y la pintura de todas las instalaciones.

La política del área de mantenimiento está encaminada a garantizar el máximo nivel de calidad en los productos con costos de mantenimiento bajos y asegurar el funcionamiento de los equipos e instalaciones con el máximo de rendimiento y el mínimo de consumo.

Los objetivos que persiguen son: maximizar la disponibilidad de las maquinarias y equipos para la producción, de manera que siempre estén aptos y en condiciones de operación inmediata; lograr el mayor tiempo de servicio de las instalaciones y maquinarias productivas; preservar el valor de las instalaciones, optimizando su uso y minimizando el deterioro y en consecuencia, su depreciación; disminuir los paros imprevistos de producción ocasionados por fallas inesperadas tanto en los equipos como en las instalaciones, contando con un sistema eficiente que permita definir que priorizar ante esta situación; y lograr la creación de un sistema de mantenimiento preventivo capaz de alcanzar metas en la forma más económica posible.

El Departamento de Mantenimiento cuenta con una plantilla aprobada de cuatro trabajadores completamente cubierta (ver tabla 2.1) que brinda servicios a un total 56 equipos de las líneas de producción de la entidad. En la tabla 2.2 se muestra un listado de estos equipos.

Tabla 2.2. Datos del equipamiento productivo de la UEB Fábrica de Fusibles y Desconectivos

Nombre	Modelo	País	Año de fabricación	Año de instalación	Peso	Estado técnico
Torno mecánico	M400	Inglaterra	1974	1974	2500kg	Malo
Fresadora vertical	GT-12-1	URRS	1982	1988	4t	Malo
Fresadora universal	FA 3 I	Rep. Checa	1964	1971	2t	Malo
Recortador	7E 35	URSS	1979	2000	2,5t	Malo
Torno especial	V2508	Suecia	1974	1974	270kg	Malo
Prensa Manual hidráulica	PX/30	Italia	2008	2008	350kg	Malo
Recortadora plana	MPS 450	Suecia	1974	1974	1,2t	Malo
Rectificadora cilíndrica	RMS-2	Suecia	1986	1986	1,7t	Malo
Electro esmeriladora	E-308	Suecia	1974	1974	230kg	Malo
Afiladora	VS 2305-2	Suecia	1974	1974	800kg	Malo
Viking	3MA	Holanda	1975	1975	1,5t	Malo
Torno mecánico	15AA	Suecia	1974	1974	900kg	Malo
Torno mecánico	16KP	URRS	1988	1988	2t	Malo
Torno automático	A12	Rep. Checa	1961	1984	1,5t	Malo
Torno automático	A20B	Rep. Checa	1975	1975	1,25t	Malo
Torno automático	A40C	Rep. Checa	1985	1985	2505kg	Malo
Torno automático	A40C	Rep. Checa	1987	2010	2505kg	Malo
Torno automático	AT25	Polaco	1978	2004	2350kg	Malo
Trono automático	IB 118	URSS	1976	2000	1,2t	Malo
Segueta mecánica	8672	URSS	1975	1980	500kg	Malo
Taladro columna	GM-2512	Suecia	1974	1974	300kg	Malo
Dobladora de tubo	125-T3	URSS	1981	2008	1120kg	Malo
Electro esmeriladora	EP 308	Suecia	1974	1974	230kg	Malo
Electro esmeriladora	EP 309	Suecia	1974	1974	230kg	Malo
Taladro mesa	B1304	Suecia	1974	1974	100kg	Malo
Taladro mesa	B1305	Suecia	1974	1974	100kg	Malo
Cizalla eléctrica	HA 3316	URSS	1975	1989	2910kg	Malo
Cizalla eléctrica	NA	3314G	1986	2008	2040kg	Malo
P 6,3	KH211BA	URSS	1980	1982	900kg	Malo
Prensa 16t	KA 2333E	URSS	1980	1982	1510kg	Malo
Prensa 6t	DP10HS	Suecia	1975	1978	700kg	Malo
Prensa 40t	KA2126E	URSS	1980	2002	5t	Malo
T 40t	KD 2126E	URSS	1980	1982	5t	Malo
T 100t	KE 2330	URSS	1980	1982	1t	Malo
Prensa 4,40t	RPR140PC	Italia	1977	1979	2,5t	Malo
Taladro mesa	B1304	Suecia	1974	1974	100kg	Malo
Prensa 16t	KA 2322E	URSS	1986	1986	1510kg	Malo
Prensa 6t blis	KA2130B	URSS	1896	1984	450kg	Malo
Prensa 6t blis	KA2130B	URSS	1896	1984	450kg	Malo

Tabla 2.2. Continuación ...

Prensa 4t	4t	URSS	1896	1984	350kg	Malo
Cizalla pulman	C229-A	Suecia	1978	1980	756kg	Malo
Cizalla pulman	P5	Cuba	1988	1988	700kg	Malo
Máquina Cortar alambre	NC	Cuba	1984	1984	50kg	Malo
Máquina Cortar tubo	Cuba	Cuba	1984	1984	70kg	Malo
Tambora	criolla	Cuba	1984	1984	30kg	Malo
Cizalla manual	LR10	Suecia	1975	1978	6kg	Regular
Cizalla multiple	C229A	URSS	1980	1985	1,5t	Malo
Torno mecánico hillier	CE 460/1	Co. Europea	2006	2009	2210kg	Bueno
Taladro vertical	B50E	España	2006	2009	710kg	Bueno
Compressor tornillo	5K 15t	Alemania	2007	2008	830kg	Bueno
Compressor tornillo	SK 15t	Alemania	2007	2008	830kg	Bueno
Extractor fusibles	criollo	Cuba	1984	1984	20kg	Muy malo
Prensa 5t	5T	India	2007	2014	300kg	Bueno
Prensa 5t	5T	India	2007	2014	300kg	Bueno
Prensa 10t	10T	India	2007	2014	450kg	Bueno
Prensa 10t	10T	India	2007	2014	450kg	Bueno

Tabla 2.1 Plantilla del personal del Área de Mantenimiento

Especialidad	Cantidad
Jefe de Mantenimiento	1
Jefe de Brigada	1
Ajustador herramental	1
Mecánico	1

Fuente: documentos de la empresa.

Al realizar un análisis del desempeño del sistema de mantenimiento, a partir del diagnóstico realizado por Hernández Pérez [2013], se observó que en la empresa objeto de estudio no se está logrando la función de mantenimiento a plenitud, ya que con las actividades de planificación no se garantiza fiablemente un funcionamiento estable de las instalaciones productivas, debido a que solamente se le da seguimiento a la disponibilidad de los equipos y no se le presta atención al resto de los indicadores de mantenimiento que son necesarios para realizar una correcta gestión de esta función. Otros problemas que siguen persistiendo son los siguientes:

- No se encuentran definidas las reglas a seguir para el establecimiento de prioridades a la hora de afrontar acciones de mantenimiento correctivo que sean demandadas simultáneamente.
- No es posible definir con exactitud el tiempo requerido para diagnosticar un fallo.
- Son ineficientes las tareas de mantenimiento que se realizan.
- El equipamiento existente presenta una tecnología obsoleta.
- No existe ningún procedimiento para determinar la política de mantenimiento adecuado para cada equipo.

Paso II. Conformar y organizar el equipo de trabajo

El equipo de trabajo quedo integrado por directivos y especialistas de la entidad seleccionados de la fábrica empleando el método presentado por Hurtado de Mendoza Fernández [2003]. En la tabla 2.3 se muestran los expertos que fueron seleccionados.

Paso III. Determinación de los atributos de condición

Para la realización de este paso los expertos propusieron una serie de variables, las cuales fueron sometidas a consideración y finalmente solo cinco de ellas fueron seleccionadas. Los atributos (variables) seleccionados son los que más se asemejan al contexto operacional donde se desempeñan los equipos objeto de estudio de la presente investigación. A cada criterio se le asignaron valores de 1 (bajo), 2 (medio) o 3 (alto) a partir de la opinión de los expertos. A

continuación se presenta el contenido de cada criterio, así como el comportamiento de los posibles valores a alcanzar.

Tabla 2.3 Datos de los expertos seleccionados

Nº	Especialidad o cargo
1	Especialista de Recursos Humanos
2	Jefe de Grupo Técnico
3	Especialista de Mantenimiento Industrial
4	Auditor interno
5	Económico principal
6	Subdirector comercial
7	Mecánico "A", jefe de brigada

Etapas II. Definir las reglas de decisión para el establecimiento de reglas de prioridad u ordenamiento del equipamiento

- C₁ - Seguridad y medio ambiente: capacidad del fallo de ocasionar daño a las personas que se encuentran en la zona donde opera el equipo o en general al medio ambiente.
Bajo: el fallo del equipo no trae riesgos para los operarios ni afecta el medio ambiente.
Medio: el fallo del equipo trae consigo riesgos para los operarios y/o para el medio ambiente.
Alto: el fallo del equipo provoca efectos graves sobre los operarios y/o sobre el medio ambiente.
- C₂ - Calidad: nivel de afectación a la calidad del producto que conlleva el fallo del equipo.
Bajo: el fallo no afecta la calidad del producto.
Medio: el fallo afecta la calidad del producto, pero con posibilidades de recuperación.
Alto: el fallo afecta la calidad del producto, sin posibilidades de recuperación.
- C₃ - Afectación a la producción: capacidad del fallo de ocasionar afectaciones al plan de producción.
Bajo: su parada no influye en el cumplimiento de la producción.
Medio: su parada afecta parcialmente el plan de producción.
Alto: su parada afecta al plan de producción.
- C₄ - Costo del reparación: costo asociado a la reposición del estado de funcionamiento del elemento que ha fallado (costo del fallo).
Bajo: el costo promedio de reparación del equipo ante un fallo es pequeño (menor de \$ 100).
Medio: el costo promedio de reparación del equipo ante un fallo es moderado (entre \$1000 y \$300).

Alto: el costo promedio de reparación del equipo ante un fallo es elevado (mayor de \$1000).

- C_5 - Tiempo medio de reparación: tiempo necesario para reparar el fallo.

Bajo: el tiempo promedio de reparación del equipo ante un fallo es pequeño (menor de 1h).

Medio: el tiempo promedio de reparación del equipo ante un fallo es moderado (entre 1y 4 h).

Alto: el tiempo promedio de reparación del equipo ante un fallo es elevado (mayor de 4 h).

Paso IV. Construcción de la tabla de decisión original

La información colocada en la tabla de decisión original es la correspondiente a una muestra de 18 equipos (25% del total de equipos disponibles en la empresa). Para definir los elementos componentes de la tabla de decisión el grupo de expertos realizó la clasificación de cada uno de los equipos a partir de los criterios de los cinco atributos (variables) seleccionados. En la tabla 2.4 aparece esta información. El atributo de decisión “d” provee una partición tricotómica “Y” de los varios equipos (ítems): d= A significa inclusión en la clase A, d= B significa inclusión en la clase B y d= C inclusión en la clase C.

Paso V. Cálculo de la calidad de la clasificación

En este sistema $T = \{c_1, c_2, c_3, c_4, c_5\}$ y D representa a los tres subconjuntos definidos según la clasificación de los expertos.

Se denotaron por Y_A , Y_B y Y_C al conjunto de equipos en las clases A, B y C. Los tres subconjuntos de D son:

$$Y_A = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_{14}, x_{15}\}$$

$$Y_B = \{x_7, x_8, x_{10}, x_{11}, x_{16}, x_{17}, x_{18}\}$$

$$Y_C = \{x_6, x_9, x_{12}, x_{13}\}$$

Los siguientes subconjuntos de T se derivan de la tabla 2.4:

$$\{x_1\}, \{x_2\}, \{x_3\}, \{x_4\}, \{x_5\}, \{x_6\}, \{x_7\}, \{x_8\}, \{x_9\}, \{x_{10}\}, \{x_{11}\}, \{x_{12}\}, \{x_{13}\}, \{x_{14}\}, \{x_{15}\}, \{x_{16}\}, \{x_{17}\} \text{ y } \{x_{18}\}$$

De esta forma quedan definidos:

$$TI Y_A = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_{14}, x_{15}\}$$

$$TS Y_A = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_{14}, x_{15}\}$$

$$F_C(Y_A) = \{\emptyset\}$$

$$\alpha_C(Y_A) = 1$$

$$TI Y_B = \{x_7, x_8, x_{10}, x_{11}, x_{16}, x_{17}, x_{18}\}$$

$$TS Y_B = \{x_7, x_8, x_{10}, x_{11}, x_{16}, x_{17}, x_{18}\}$$

$$F_C(Y_B) = \{\emptyset\}$$

$$\alpha_C(Y_B) = 1$$

$$TI Y_C = \{x_6, x_9, x_{12}, x_{13}\}$$

$$TS Y_C = \{x_6, x_9, x_{12}, x_{13}\}$$

Tabla 2.4. Información original

Ítem	c ₁	c ₂	c ₃	c ₄	c ₅	Línea a la que pertenece	Clase (d) ¹
x ₁ : Torno Automático A-12	2	3	2	3	3	Maquinado	A
x ₂ : Torno Automático A-40	2	2	3	3	3	Maquinado	A
x ₃ : Prensa 8 t	3	3	1	3	3	Conformado	A
x ₄ : Prensa16 t	3	3	3	2	2	Fusibles	A
x ₅ : Prensa 40 t	3	3	3	3	1	Conformado	A
x ₆ : Máquina de Cortar Tubo	2	1	1	1	2	Fusibles	C
x ₇ : Compresor SK-15 T	1	1	3	3	2	Maquinado	B
x ₈ : Prensa 6.3 t	3	3	2	3	2	Conformado	B
x ₉ : Tambora	1	1	1	3	2	Fusibles	C
x ₁₀ : Cizalla eléctrica	3	2	2	2	2	Conformado	B
x ₁₁ : Prensa hidráulica	3	3	2	1	2	Conformado	B
x ₁₂ : Máquina de cortar tubos	1	3	2	1	1	Fusibles	C
x ₁₃ : Máquina de cortar alambre	1	3	3	1	1	Fusibles	C
x ₁₄ : Prensa 6t	3	1	3	3	3	Fusibles	A
x ₁₅ : Prensa 4t	3	3	3	3	2	Fusibles	A
x ₁₆ : Torno A-20	1	3	2	2	3	Maquinado	B
x ₁₇ : Torno AutomáticoATA-125	2	1	2	2	3	Maquinado	B
x ₁₈ : Torno Automático IB-118	2	2	2	2	3	Maquinado	B

¹ La clase se clasifica en A (equipo crítico), B (equipo de medianamente crítico o importante) y C (equipo poco crítico o prescindible)

$$F_C(Y_C) = \{\emptyset\}$$

$$\alpha_C(Y_C) = 1$$

$$\gamma_C(Y) = \frac{20}{20} = 1$$

La calidad de la clasificación en la tabla 2.4 fue del 100% por lo que se procede a realizar el paso siete.

Paso VII. Determinación de los atributos de condición a eliminar del sistema

Eliminando c_1 del sistema

Se derivan los subconjuntos:

$$\{X_1\}, \{X_2\}, \{X_3\}, \{X_4\}, \{X_5\}, \{X_6\}, \{X_7\}, \{X_8\}, \{X_9\}, \{X_{10}\}, \{X_{11}\}, \{X_{12}\}, \{X_{13}\}, \{X_{14}\}, \{X_{15}\}, \{X_{16}\}, \{X_{17}\} \text{ y } \{X_{18}\}$$

Quedan definidos:

$$TI Y_A = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_{14}, X_{15}\}$$

$$TS Y_A = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_{14}, X_{15}\}$$

$$F_C(Y_A) = \{\emptyset\}$$

$$\alpha_C(Y_A) = 1$$

$$TI Y_B = \{X_7, X_8, X_{10}, X_{11}, X_{16}, X_{17}, X_{18}\}$$

$$TS Y_B = \{X_7, X_8, X_{10}, X_{11}, X_{16}, X_{17}, X_{18}\}$$

$$F_C(Y_B) = \{\emptyset\}$$

$$\alpha_C(Y_B) = 1$$

$$TI Y_C = \{X_6, X_9, X_{12}, X_{13}\}$$

$$TS Y_C = \{X_6, X_9, X_{12}, X_{13}\}$$

$$F_C(Y_C) = \{\emptyset\}$$

$$\alpha_C(Y_C) = 1$$

Eliminando c_2 del sistema

Se derivan los subconjuntos:

$$X_1 = \{X_1, X_{17}\}$$

$$Y = \{X_2\}, \{X_3\}, \{X_4\}, \{X_5\}, \{X_6\}, \{X_7\}, \{X_8\}, \{X_9\}, \{X_{10}\}, \{X_{11}\}, \{X_{12}\}, \{X_{13}\}, \{X_{14}\}, \{X_{15}\}, \{X_{16}\}, \{X_{18}\}$$

Quedan definidos:

$$TI Y_A = \{X_2, X_3, X_4, X_5, X_{14}, X_{15}\}$$

$$TS Y_A = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_{14}, X_{15}, X_{17}\}$$

$$F_C(Y_A) = \{X_{15}, X_{17}\}$$

$$\alpha_C(Y_A) = 0,75$$

$$TI Y_B = \{X_7, X_8, X_{10}, X_{11}, X_{16}, X_{18}\}$$

$$TS Y_B = \{X_1, X_7, X_8, X_{10}, X_{11}, X_{16}, X_{17}, X_{18}\}$$

$$F_C(Y_B) = \{x_1, x_{17}\}$$

$$\alpha_C(Y_B) = 0,6$$

$$TI Y_C = \{x_6, x_9, x_{12}, x_{13}\}$$

$$TS Y_C = \{x_6, x_9, x_{12}, x_{13}\}$$

$$F_C(Y_C) = \{\emptyset\}$$

$$\alpha_C(Y_C) = 1$$

Eliminando c_3 del sistema

Se derivan los subconjuntos:

$$X_1 = \{x_7, x_9\}$$

$$X_2 = \{x_8, x_{15}\}$$

$$X_3 = \{x_{12}, x_{13}\}$$

$$y \{x_2\}, \{x_3\}, \{x_4\}, \{x_5\}, \{x_6\}, \{x_{10}\}, \{x_{11}\}, \{x_{14}\}, \{x_{16}\}, \{x_{17}\}, \{x_{18}\}$$

Quedan definidos:

$$TI Y_A = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_{14}\}$$

$$TS Y_A = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_8, x_{14}, x_{15}\}$$

$$F_C(Y_A) = \{x_8, x_{15}\}$$

$$\alpha_C(Y_A) = 0,75$$

$$TI Y_B = \{x_{10}, x_{11}, x_{16}, x_{17}, x_{18}\}$$

$$TS Y_B = \{x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{18}\}$$

$$F_C(Y_B) = \{x_7, x_8, x_9, x_{15}\}$$

$$\alpha_C(Y_B) = 0,55$$

$$TI Y_C = \{x_6, x_{12}, x_{13}\}$$

$$TS Y_C = \{x_6, x_7, x_9, x_{12}, x_{13}\}$$

$$F_C(Y_C) = \{x_7, x_9\}$$

$$\alpha_C(Y_C) = 0,6$$

Eliminando c_4 del sistema

Se derivan los subconjuntos:

$$\{x_1\}, \{x_2\}, \{x_3\}, \{x_4\}, \{x_5\}, \{x_6\}, \{x_7\}, \{x_8\}, \{x_9\}, \{x_{10}\}, \{x_{11}\}, \{x_{12}\}, \{x_{13}\}, \{x_{14}\}, \{x_{15}\}, \{x_{16}\}, \{x_{17}\} \text{ y } \{x_{18}\}$$

Quedan definidos:

$$TI Y_A = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_{14}, x_{15}\}$$

$$TS Y_A = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_{14}, x_{15}\}$$

$$F_C(Y_A) = \{\emptyset\}$$

$$\alpha_C(Y_A) = 1$$

$$TI Y_B = \{x_7, x_8, x_{10}, x_{11}, x_{16}, x_{17}, x_{18}\}$$

$$TS Y_B = \{X_7, X_8, X_{10}, X_{11}, X_{16}, X_{17}, X_{18}\}$$

$$F_C(Y_B) = \{\emptyset\}$$

$$\alpha_C(Y_B) = 1$$

$$TI Y_C = \{X_6, X_9, X_{12}, X_{13}\}$$

$$TS Y_C = \{X_6, X_9, X_{12}, X_{13}\}$$

$$F_C(Y_C) = \{\emptyset\}$$

$$\alpha_C(Y_C) = 1$$

Eliminando c_5 del sistema

Se derivan los subconjuntos:

$$\{X_1\}, \{X_2\}, \{X_3\}, \{X_4\}, \{X_5\}, \{X_6\}, \{X_7\}, \{X_8\}, \{X_9\}, \{X_{10}\}, \{X_{11}\}, \{X_{12}\}, \{X_{13}\}, \{X_{14}\}, \{X_{15}\}, \{X_{16}\}, \{X_{17}\} \text{ y } \{X_{18}\}$$

Quedan definidos:

$$TI Y_A = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_{14}, X_{15}\}$$

$$TS Y_A = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_{14}, X_{15}\}$$

$$F_C(Y_A) = \{\emptyset\}$$

$$\alpha_C(Y_A) = 1$$

$$TI Y_B = \{X_7, X_8, X_{10}, X_{11}, X_{16}, X_{17}, X_{18}\}$$

$$TS Y_B = \{X_7, X_8, X_{10}, X_{11}, X_{16}, X_{17}, X_{18}\}$$

$$F_C(Y_B) = \{\emptyset\}$$

$$\alpha_C(Y_B) = 1$$

$$TI Y_C = \{X_6, X_9, X_{12}, X_{13}\}$$

$$TS Y_C = \{X_6, X_9, X_{12}, X_{13}\}$$

$$F_C(Y_C) = \{\emptyset\}$$

$$\alpha_C(Y_C) = 1$$

Como se puede apreciar, los atributos (variables) c_1 , c_4 y c_5 no son significativas por si solas en la clasificación de equipamiento, ante esta situación se presentaron los atributos a los expertos para que consideraran cual debía eliminarse del sistema y decidieron que el menos importante es el atributo c_4 .

Paso VI. Generación de las reglas de decisión

Para la clase A

Aplicado para c_1

Con este primer atributo se derivan los siguientes conjuntos de T:

$$X_1 = \{X_1, X_2, X_6, X_{17}, X_{18}\}$$

$$X_2 = \{X_3, X_4, X_5, X_8, X_{10}, X_{11}, X_{14}, X_{15}\}$$

$$X_3 = \{X_7, X_9, X_{12}, X_{13}, X_{16}\}$$

Queda definido:

$$TI_{c_1}(Y_A) = \{\emptyset\}$$

$$TS_{c_1}(Y_A) = \{x_1, x_3, x_4, x_5, x_8, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{15}, x_{16}\}$$

$$F_C_{c_1}(Y_A) = \{x_3, x_4, x_5, x_8, x_{10}, x_{11}, x_{14}, x_{15}\}$$

$$\alpha_C(c_1) = 0$$

Aplicado para c_2

$$X_1 = \{x_1, x_3, x_4, x_5, x_8, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{15}, x_{16}\}$$

$$X_2 = \{x_6, x_7, x_9, x_{14}, x_{17}\}$$

$$X_3 = \{x_2, x_{10}, x_{18}\}$$

Queda definido:

$$TI_{c_2}(Y_A) = \{\emptyset\}$$

$$TS_{c_2}(Y_A) = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{18}\}$$

$$F_C_{c_2}(Y_A) = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{18}\}$$

$$\alpha_C(c_2) = 0$$

Aplicado para c_3

$$X_1 = \{x_1, x_8, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{16}, x_{17}, x_{18}\}$$

$$X_2 = \{x_2, x_4, x_5, x_7, x_{13}, x_{14}, x_{15}\}$$

$$X_3 = \{x_3, x_6, x_9\}$$

Queda definido:

$$TI_{c_3}(Y_A) = \{\emptyset\}$$

$$TS_{c_3}(Y_A) = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{18}\}$$

$$F_C_{c_3}(Y_A) = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{18}\}$$

$$\alpha_C(c_3) = 0$$

Aplicado para c_5

$$X_1 = \{x_1, x_2, x_3, x_{14}, x_{16}, x_{17}, x_{18}\}$$

$$X_2 = \{x_4, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{15}\}$$

$$X_3 = \{x_5, x_{12}, x_{13}\}$$

Queda definido:

$$TI_{c_5}(Y_A) = \{\emptyset\}$$

$$TS_{c_5}(Y_A) = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{18}\}$$

$$F_C_{c_5}(Y_A) = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{18}\}$$

$$\alpha_C(c_5) = 0$$

En este caso todos los atributos terminaron con igual valor en el indicador aproximación de la clasificación (α_C) por esto se selecciona el atributo c_1 para continuar la aplicación del procedimiento.

Aplicado para c_1 y c_2

$$X_1 = \{x_1, x_{18}\}$$

$$X_2 = \{x_3, x_4, x_5, x_8, x_9, x_{11}, x_{15}\}$$

$$X_3 = \{x_6, x_{17}\}$$

$$X_4 = \{x_7, x_9\}$$

$$X_5 = \{x_{12}, x_{13}, x_{16}\}$$

$$y \{x_1\}, \{x_{10}\}, \{x_{14}\}$$

Queda definido:

$$TI_{c_1 \text{ y } c_2}(Y_A) = \{x_1, x_{14}\}$$

$$TS_{c_1 \text{ y } c_2}(Y_A) = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_8, x_{11}, x_{14}, x_{15}, x_{18}\}$$

$$F_C_{c_1 \text{ y } c_2}(Y_A) = \{x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{18}\}$$

$$\alpha_C_{c_1 \text{ y } c_2}(Y_A) = 0,2$$

Aplicado para c_1 y c_3

$$X_1 = \{x_1, x_{17}, x_{18}\}$$

$$X_2 = \{x_4, x_5, x_{14}, x_{15}\}$$

$$X_3 = \{x_7, x_{13}\}$$

$$X_4 = \{x_{10}, x_{11}, x_8\}$$

$$X_5 = \{x_{12}, x_{16}\}$$

$$y \{x_2\}, \{x_3\}, \{x_6\}, \{x_9\}$$

Queda definido:

$$TI_{c_1 \text{ y } c_3}(Y_A) = \{x_2, x_3, x_4, x_5, x_{14}, x_{15}\}$$

$$TS_{c_1 \text{ y } c_3}(Y_A) = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_{14}, x_{15}, x_{17}, x_{18}\}$$

$$F_C_{c_1 \text{ y } c_3}(Y_A) = \{x_1, x_{17}, x_{18}\}$$

$$\alpha_C_{c_1 \text{ y } c_3}(Y_A) = 0,66$$

Aplicado para c_1 y c_5

$$X_1 = \{x_1, x_2, x_{17}, x_{18}\}$$

$$X_2 = \{x_3, x_{14}\}$$

$$X_3 = \{x_4, x_8, x_{10}, x_{11}, x_{15}\}$$

$$X_4 = \{x_7, x_9\}$$

$$X_5 = \{x_{12}, x_{13}\}$$

$$y \{x_5\}, \{x_6\}, \{x_{16}\}$$

Queda definido:

$$TI_{c_1 \text{ y } c_5}(Y_A) = \{x_3, x_5, x_{14}\}$$

$$TS_{c_1 \text{ y } c_5}(Y_A) = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_8, x_{11}, x_{14}, x_{15}, x_{17}\}$$

$$F_C_{c_1 \text{ y } c_5}(Y_A) = \{x_1, x_2, x_4, x_8, x_{10}, x_{11}, x_{15}, x_{17}, x_{18}\}$$

$$\alpha_C_{c_1 \text{ y } c_5}(Y_A) = 0,25$$

Se escogen los atributos c_1 y c_3 y se analiza si procede alguna regla de decisión (en este caso si proceden dos reglas) y se continúa el procedimiento.

Aplicado para c_1, c_2 y c_3

$$X_1 = \{x_4, x_5, x_{15}\}$$

$$X_2 = \{x_8, x_{11}\}$$

$$X_3 = \{x_{12}, x_{16}\}$$

$$y \{x_1\}, \{x_2\}, \{x_3\}, \{x_6\}, \{x_7\}, \{x_9\}, \{x_{10}\}, \{x_{13}\}, \{x_{14}\}, \{x_{17}\}, \{x_{18}\}$$

Queda definido:

$$TI_{c_1, c_2 \text{ y } c_3}(Y_A) = \{\emptyset\}$$

$$TS_{c_1, c_2 \text{ y } c_3}(Y_A) = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_{14}, x_{15}\}$$

$$F_C_{c_1, c_2 \text{ y } c_3}(Y_A) = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_{14}, x_{15}\}$$

$$\alpha_C_{c_1, c_2 \text{ y } c_3}(Y_A) = 1$$

Aplicado para c_1, c_3 y c_5

$$X_1 = \{x_1, x_{17}, x_{18}\}$$

$$X_2 = \{x_4, x_{15}\}$$

$$X_3 = \{x_8, x_{10}, x_{11}\}$$

$$y \{x_2\}, \{x_3\}, \{x_6\}, \{x_7\}, \{x_9\}, \{x_5\}, \{x_{12}\}, \{x_{14}\}, \{x_{13}\}, \{x_{16}\}$$

Queda definido:

$$TI_{c_1, c_3 \text{ y } c_5}(Y_A) = \{x_2, x_3, x_4, x_5, x_{14}, x_{15}\}$$

$$TS_{c_1, c_3 \text{ y } c_5}(Y_A) = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_{14}, x_{15}, x_{17}, x_{18}\}$$

$$F_C_{c_1, c_3 \text{ y } c_5}(Y_A) = \{x_1, x_{17}, x_{18}\}$$

$$\alpha_C_{c_1, c_3 \text{ y } c_5}(Y_A) = 0.66$$

Se utiliza este último conjunto pues es el mayor valor de α_C (procede una regla).

Aplicado para c_1, c_2, c_3 y c_5

$$X_1 = \{x_4, x_{15}\}$$

$$X_2 = \{x_8, x_{11}\}$$

$$y \{x_2\}, \{x_3\}, \{x_6\}, \{x_7\}, \{x_9\}, \{x_5\}, \{x_{12}\}, \{x_{14}\}, \{x_{13}\}, \{x_{16}\}, \{x_{10}\}, \{x_{17}\}, \{x_{18}\}$$

Queda definido:

$$TI_{c_1, c_2, c_3 \text{ y } c_5}(Y_A) = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_{14}, x_{15}\}$$

$$TS_{C_1, C_2, C_3 \text{ y } C_5}(Y_A) = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_{14}, X_{15}\}$$

$$F_C_{C_1, C_2, C_3 \text{ y } C_5}(Y_A) = \{\emptyset\}$$

$$\alpha_C_{C_1, C_2, C_3 \text{ y } C_5}(Y_A) = 0$$

De igual manera procede una regla con estos cuatro atributos.

Para la clase B

Aplicado para c_1

Queda definido:

$$TI_{C_1} = \{\emptyset\}$$

$$TS_{C_1} = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18}\}$$

$$F_C_{C_1} = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18}\}$$

$$\alpha_C_{C_1} = 0$$

Aplicado para c_2

Queda definido:

$$TI_{C_2} = \{\emptyset\}$$

$$TS_{C_2} = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18}\}$$

$$F_C_{C_2} = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18}\}$$

$$\alpha_C_{C_2} = 0$$

Aplicado para c_3

Queda definido:

$$TI_{C_3} = \{\emptyset\}$$

$$TS_{C_3} = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18}\}$$

$$F_C_{C_3} = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18}\}$$

$$\alpha_C_{C_3} = 0$$

Aplicado para c_5

Queda definido:

$$TI_{C_5} = \{\emptyset\}$$

$$TS_{C_5} = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18}\}$$

$$F_C_{C_5} = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18}\}$$

$$\alpha_C_{C_5} = 0$$

Aplicado para c_1 y c_2

Queda definido:

$$TI_{C_1 \text{ y } C_2} = \{X_{10}\}$$

$$TS_{C_1 \text{ y } C_2} = \{X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18}\}$$

$$F_C_{C_1 \text{ y } C_2} = \{X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18}\}$$

$$\alpha_C c_1 y c_2 = 0,06$$

Aplicado para c_1 y c_3

Queda definido:

$$TI c_1 y c_3 = \{x_8, x_{10}, x_{11}\}$$

$$TS c_1 y c_3 = \{x_1, x_7, x_8, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{16}, x_{17}, x_{18}\}$$

$$F_C c_1 y c_3 = \{x_1, x_7, x_{12}, x_{13}, x_{16}, x_{17}, x_{18}\}$$

$$\alpha_C c_1 y c_3 = 0,3$$

Aplicado para c_1 y c_5

Queda definido:

$$TI c_1 y c_5 = \{x_{16}\}$$

$$TS c_1 y c_5 = \{x_1, x_2, x_4, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{18}\}$$

$$F_C c_1 y c_5 = \{x_1, x_2, x_4, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{15}, x_{17}, x_{18}\}$$

$$\alpha_C c_1 y c_5 = 0.08$$

Aplicado para c_1, c_2 y c_3

Queda definido:

$$TI c_1, c_2 y c_3 = \{x_7, x_8, x_{10}, x_{11}, x_{17}, x_{18}\}$$

$$TS c_1, c_2 y c_3 = \{x_7, x_8, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{16}, x_{17}, x_{18}\}$$

$$F_C c_1, c_2 y c_3 = \{x_{12}, x_{16}\}$$

$$\alpha_C c_1, c_2 y c_3 = 0,75$$

Aplicado para c_1, c_3 y c_5

Queda definido:

$$TI c_1, c_3 y c_5 = \{x_7, x_8, x_{10}, x_{11}, x_{16}\}$$

$$TS c_1, c_3 y c_5 = \{x_1, x_7, x_8, x_{10}, x_{11}, x_{16}, x_{17}, x_{18}\}$$

$$F_C c_1, c_3 y c_5 = \{x_1, x_{17}, x_{18}\}$$

$$\alpha_C c_1, c_3 y c_5 = 0.62$$

Aplicado para c_1, c_2, c_3 y c_5

Queda definido:

$$TI c_1, c_2, c_3 y c_5 = \{x_7, x_8, x_{10}, x_{11}, x_{16}, x_{17}, x_{18}\}$$

$$TS c_1, c_2, c_3 y c_5 = \{x_7, x_8, x_{10}, x_{11}, x_{16}, x_{17}, x_{18}\}$$

$$F_C c_1, c_2, c_3 y c_5 = \{\emptyset\}$$

$$\alpha_C c_1, c_2, c_3 y c_5 = 1$$

Aplicado clase C

Aplicado para c_1

Queda definido:

$$TI\ c_1 = \{\emptyset\}$$

$$TS\ c_1 = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{18}\}$$

$$F_C\ c_1 = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{18}\}$$

$$\alpha_C\ c_1 = 0$$

Aplicado para c_2

Queda definido:

$$TI\ c_1 = \{\emptyset\}$$

$$TS\ c_2 = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{18}\}$$

$$F_C\ c_2 = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{18}\}$$

$$\alpha_C\ c_2 = 0$$

Aplicado para c_3

Queda definido:

$$TI\ c_1 = \{\emptyset\}$$

$$TS\ c_3 = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{18}\}$$

$$F_C\ c_3 = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{18}\}$$

$$\alpha_C\ c_3 = 0$$

Aplicado para c_5

Queda definido:

$$TI\ c_5 = \{\emptyset\}$$

$$TS\ c_5 = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{18}\}$$

$$F_C\ c_5 = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{18}\}$$

$$\alpha_C\ c_5 = 0$$

Aplicado para c_1 y c_2

Queda definido:

$$TI\ c_1\ y\ c_2 = \{\emptyset\}$$

$$TS\ c_1\ y\ c_2 = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{18}\}$$

$$F_C\ c_1\ y\ c_2 = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{18}\}$$

$$\alpha_C\ c_1\ y\ c_2 = 0$$

Aplicado para c_1 y c_3

Queda definido:

$$TI_{c_1 y c_3} = \{x_6, x_9\}$$

$$TS_{c_1 y c_3} = \{x_6, x_7, x_9, x_{12}, x_{13}, x_{16}\}$$

$$F_C_{c_1 y c_3} = \{x_7, x_{12}, x_{13}, x_{16}\}$$

$$\alpha_C_{c_1 y c_3} = 0,33$$

Aplicado para c_1 y c_5

Queda definido:

$$TI_{c_1 y c_5} = \{x_6, x_{12}, x_{13}\}$$

$$TS_{c_1 y c_5} = \{x_6, x_7, x_9, x_{12}, x_{13}, x_{16}\}$$

$$F_C_{c_1 y c_5} = \{x_7, x_9\}$$

$$\alpha_C_{c_1} = 0,6$$

Aplicado para c_1, c_2 y c_5

Queda definido:

$$TI_{c_1, c_2 y c_3} = \{x_6, x_{12}, x_{13}\}$$

$$TS_{c_1, c_2 y c_3} = \{x_6, x_7, x_9, x_{12}, x_{13}\}$$

$$F_C_{c_1, c_2 y c_3} = \{x_7, x_9\}$$

$$\alpha_C_{c_1, c_2 y c_3} = 0,6$$

Aplicado para c_1, c_3 y c_5

Queda definido:

$$TI_{c_1, c_3 y c_5} = \{x_6, x_9, x_{12}, x_{13}\}$$

$$TS_{c_1, c_3 y c_5} = \{x_6, x_9, x_{12}, x_{13}\}$$

$$F_C_{c_1, c_3 y c_5} = \{\emptyset\}$$

$$\alpha_C_{c_1, c_3 y c_5} = 1$$

Aplicado para c_1, c_2, c_3 y c_5

Queda definido:

$$TI_{c_1, c_2, c_3 y c_5} = \{x_6, x_9, x_{12}, x_{13}\}$$

$$TS_{c_1, c_2, c_3 y c_5} = \{x_6, x_9, x_{12}, x_{13}\}$$

$$F_C_{c_1, c_2, c_3 y c_5} = \{\emptyset\}$$

$$\alpha_C_{c_1, c_2, c_3 y c_5} = 1$$

A continuación se muestran las reglas derivadas de la aplicación sistémica del algoritmo:

Regla 1:	Si $c_1 = 3$ ó $c_3 = 3$	entonces $d = A$
Regla 2:	Si $c_1 = 3$ y $c_3 = 1$ y $c_5 = 3$	entonces $d = A$
Regla 3:	Si $c_1 = 2$ y $c_2 = 3$ y $c_3 = 2$ y $c_5 = 3$	entonces $d = A$
Regla 4:	Si $c_1 = 3$ y $c_3 = 2$	entonces $d = B$
Regla 5:	Si $c_1 = 2$ y $c_2 = 1$ ó 2 y $c_3 = 2$	entonces $d = B$
Regla 6:	Si $c_1 = 1$ y $c_2 = 1$ ó 3 y $c_3 = 2$ y $c_5 = 2$ ó 3	entonces $d = B$
Regla 7:	Si $c_1 = 1$ y $c_5 = 1$	entonces $d = C$
Regla 8:	Si $c_1 = 1$ ó 2 y $c_2 = 1$ y $c_5 = 2$	entonces $d = C$

2.5. Conclusiones parciales

1. La metodología MABCA, presentada en este trabajo, es una poderosa técnica realista con el fin de clasificar los equipos en la presencia de múltiples criterios de clasificación. La aplicación práctica de la propuesta permitió definir las reglas a seguir en el futuro para realizar la clasificación del equipamiento existente en la empresa objeto de estudio práctico de la investigación.

Conclusiones.

CONCLUSIONES

Como resultado de la presente investigación pudo arribarse a las conclusiones generales siguientes:

1. Los aspectos que caracterizan el entorno empresarial actual obligan a las organizaciones a ser cada vez más flexibles jugando un papel fundamental en esto la aplicación eficiente de la Gestión del mantenimiento ya que permite gestionar eficaz y eficientemente la fiabilidad, conservación, preservación, disponibilidad y desempeño de los activos físicos de las empresas.
2. La priorización de órdenes de trabajo es un elemento de la programación ampliamente tratado en la Gestión de operaciones, sin embargo en la Gestión del mantenimiento no ha sido explotada cabalidad; por esta razón se hace necesario desarrollar herramientas que permitan lograr esta meta en casos donde se presenten órdenes de trabajo simultáneas en Departamentos de mantenimiento.
3. El análisis de la situación problemática que fundamenta la presente investigación motivó la necesidad de disponer de una herramienta que, basada en la combinación de una serie de variables características del contexto operacional del equipamiento, permitiera realizar su clasificación y el establecimiento de reglas para la priorización de los equipos por recibir mantenimiento ante fallas simultáneas.
4. La aplicación práctica del procedimiento propuesto en la UEB Fábrica de Fusibles y Desconectivos de Villa Clara permitió realizar la jerarquización del equipamiento bajo estudio a través del MABCA y con este la definición de reglas para la priorización del equipamiento productivo de la entidad.

Recomendaciones.

RECOMENDACIONES

1. Presentar los resultados de la presente investigación a la Dirección de Mantenimiento de la empresa objeto de estudio en aras de que sea considerada su aplicación en la programación del Mantenimiento. Realizar la capacitación necesaria al personal encargado de dicha aplicación.
2. Realizar un estudio encaminado a desarrollar reglas que desarrollen la priorización (secuenciación) de trabajos simultáneos en equipos de igual clasificación.
3. Incorporar los conocimientos, resultados y experiencias de esta investigación a la enseñanza de pregrado y postgrado, de forma tal que los actuales y futuros profesionales se apropien de los fundamentos de este enfoque en su quehacer profesional, a la vez que pueda servir de base para otras investigaciones que se decidan realizar en este campo.
4. El desarrollo de un software para facilitar la aplicación del análisis y que permita un uso más amplio de este enfoque.

Bibliografia.

BIBLIOGRAFÍA

1. Abreu Ledón, R. et al., [2004] "Clasificación ABC Multicriterio con fines inversionistas del equipamiento productivo en empresas de apoyo a la Industria Ligera". UCLV. Villa Clara, Cuba.
2. Asencio García y Delgadillo Gutiérrez [2005] "Multicriteria ABC analysis and AHP-a convined aplication". UCLV. Villa Clara, Cuba.
3. Acevedo Suárez, J.A. y Gómez Acosta, M. [2010] "Introducción a la Ingeniería Industrial". La Habana, Cuba.
4. Acosta Palmer, H.R. [2012] "Auditoría y evaluación de la gestión de la calidad en el mantenimiento". CEIM, ISPJAE. La Habana, Cuba.
5. Adam, E. & Ebert, R. [1991] "Administración de la producción y de las operaciones". 4ta, Ed. Prentice Hall. México.
6. Aguilar del Oro, Y. [2012] "Procedimiento para la determinación del tipo de mantenimiento a partir del Análisis de Riesgo. Aplicación en la empresa mecánica Indalecio Montejo de Ciego de Ávila". Tesis en opción al grado científico de Ingeniero Industrial. UCLV. Santa Clara, Cuba.
7. Alfonso Llanes, A. [2009] "Procedimiento para la asistencia decisonal al proceso de tercerización de la ejecución del mantenimiento". Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. UCLV. Santa Clara, Cuba.
8. Alfonso Llanes, A. et al., [2008] "Caracterización de la función de mantenimiento de las empresas productivas del MINAL en Villa Clara". Informe de Investigación Terminada. Fondos de la biblioteca "Chiqui Gómez Lubián", código 658.202/Alf/C. UCLV. Santa Clara, Cuba.
9. Alkaim, J. L. [2003] "Metodologia para incorporar conhecimento intensivo às tarefas de Manutenção Centrada na Confiabilidade aplicada em ativos de sistemas elétricos". Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ingeniería de Producción. Universidad Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Brasil.
10. Amaris Arias, J. B. [2006] "Un modelo de gestión de mantenimiento hacia la excelencia". Ponencia presentada en el V Congreso Cubano de Mantenimiento. III CIMEI. Santa Clara, Cuba.
11. Aguilera Martínez, A. F. [2001] "Perfeccionamiento de la planificación de recursos humanos en el Sistema Alternativo de Mantenimiento (SAM). Una aplicación en la Industria Textil Cubana". Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. UCLV. Santa Clara, Cuba.

12. Batista Rodríguez, C. [2000] "Contribución al diseño de un sistema de gestión de mantenimiento para los centrales azucareros cubanos". Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad de Holguín. Holguín, Cuba.
13. Ben-Daya, M. et al., [2009] "Handbook of Maintenance Management and Engineering". Dhahran, Saudi Arabia.
14. Bennett, D. [2009] "Maintenance Management". s.l.: s.n.
15. Borroto Pentón, Yodaira [2005] "Contribución al mejoramiento de la gestión del mantenimiento en hospitales en Cuba. Aplicación en hospitales de la provincia Villa Clara". Tesis en opción al grado científico de Doctora en Ciencias Técnicas. UCLV. Santa Clara, Cuba.
16. Buffa, E. & Sarin, R. [1995] "Administración de la producción y de las operaciones". s.l.: s.n.
17. De la Paz Martínez et al., [2011] "Mantenimiento". Diplomado Dirección y Gestión empresarial. 8va Edición. UCLV. Cuba.
18. Cardoso de Moraes, V. [2004] "Metodologia de priorização de equipamentos médico-hospitalares em programas de manutenção preventiva". Tesis en opción al grado académico de Master en Ingeniería Biomédica. Universidad de Campiñas. Brasil.
19. Chapman, S. [2006] "Planificación y control de la producción". s.l.: s.n.
20. Chase, R. & Aquilano, N. [2009] "Dirección y administración de la producción y de las operaciones. Producción y Cadena de Suministros". 20ma Ed., Editorial McGraw-Hill, Interamericana Editores, S.A. México.
21. Christensen, C [2006] "Críticidad de equipos". www.clubdemantenimiento.com Última consulta: 16.11.2009.
22. Cottsk, D. G. et al., [2010] "The facility management hand book". s.l.: s.n.
23. De la Paz Martínez, E. [2011] "Estrategias y criterios en la función mantenimiento". Material del curso del mismo nombre. Especialidad Gestión de los servicios técnicos del Turismo. UCLV. Santa Clara, Cuba.
24. De la Paz Martínez, E. M. [1996] "Perfeccionamiento del sistema de mantenimiento en la Industria Textil Cubana. Aplicación en la Empresa Textil Desembarco del Granma". Tesis en opción al grado científico de Doctora en Ciencias Técnicas. UCLV. Santa Clara, Cuba.
25. Domínguez Machuca, J.A. et al., [1995] "Dirección de operaciones. Aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios". Editorial Mc Graw Hill, Madrid.
26. Dunn, S. [2002] "Maintenance Terminology. Some Key Terms". Plant Maintenance Resource Center. <http://www.plant-maintenance.com/terminology.html> Última consulta: 21.01.2010.

27. Espinosa Fuentes, F. F. [2006] "Metodologia para inovação da gestão de manutenção industrial". Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ingeniería Mecánica. Universidad Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Brasil.
28. Fabro, E. [2003] "Modelo para planejamento de manutenção baseado em indicadores de criticidade de processo". Tesis de Maestría. Universidad Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Brasil.
29. Faulin, J. et al., [2010] "Simulation Methods for Reliability and Availability of Complex Sytems". New Jersey, USA.
30. Fernández Pérez, A. J. et al., [2003] "Optimización del mantenimiento. Implantación de la metodología RCM en máximo". Revista Ingeniería y Gestión de Mantenimiento. No. 2, Sep/oct, 2003, pp. 40-45.
31. Frederick Stapelberg, R. F. [2009] "Handbook of Reliability Availability Maintainability and Safety in Engineering Design". s.l.: s.n.
32. García Garrido, S. [2013] "Ingeniería del mantenimiento". Madrid, España.
33. García Garrido, S. [2010] "Organización y Gestión Integral de Mantenimiento. Manual práctico para la implantación de sistemas de gestión avanzados de mantenimiento industrial". Editorial Díaz de Santos. España. Disponible en <http://diazdesantos.es/ediciones> Última consulta: 05/05/2014.
34. García González-Quijano, J [2004] "Mejora en la confiabilidad operacional de las plantas de generación de energía eléctrica: desarrollo de una metodología de gestión de Mantenimiento Basado en el Riesgo (RBM)". Tesis en opción al grado académico de Master en Gestión Técnica y Económica en el Sector Eléctrico. Universidad Pontificia Comillas, Madrid. España.
35. Gaizer, N. y Frazier, G. [2007] "Administración de producción y operaciones". 8va Ed., Universidad de Texas. ESA.
36. Gusmão, C. A. [2001] "Índices de desempenho da manutenção". Revista Club de Mantenimiento. Año 1 No. 4. <http://www.mantenimientomundial.com/articulos/4indices.asp> Última consulta: 06.04.2010.
37. González Fernández, F. J. [2007] "Contratación avanzada del mantenimiento". Editorial Diaz de Santos, S. A. España. pp. 259.
38. Heizer, J. & Render, B. [2009] "Principios de Administración de Operaciones". 7ma Ed. Pearson Educación, México.

39. Hernández Pérez. [2013] "Realización de una auditoría de mantenimiento en la UEB Fábrica de Fusibles y Desconectivos perteneciente a la Empresa de Producciones Electromecánicas". Trabajo de Diploma. UCLV. Santa Clara, Cuba.
40. Jeira, C. y Gibson, P. [2004] "Las tendencias del mercado moderno. Outsourcing". http://www.kpmg.cl/documentos/Final_Presentacion_BPO_July_2004.pdf . Última consulta: 12/04/2014.
41. Asencio García, J. y Delgadillo Gutiérrez, L. [2005] "Multicriteria ABC Analysis and AHP- a combined application". Sixteenth Annual Conference of POMS, Chicago, IL, April 29 - May 2, 2005.
42. John Hastings, N. A. [2010] "Physical Asset Management". s.l.: Australia
43. Kaneiwa, K. y Kudo, Y. [2011] "A Sequential Pattern Mining Algorithm using Rough Set Theory". National Institute of Information and Communications Technology. Hikaridai, Seika, Soraku, Kyoto 619-0289, Japan.
44. Klimasauskas, R. [2011] www.mantenimientomundial.com. [En línea] Available at: <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/pesadas2.pdf> . Último consulta: 20. 2. 2014.
45. Knezevic, J. [1996a] "Mantenimiento". Publicaciones Ingeniería de Sistemas. Editorial Isdefe. Madrid, España. pp. 211. ISBN: 84-89338-08-6.
46. Koyama et al., [2008] "Application of Rough Set Theory to High Throughput Screening Data for Rational Selection of Lead Compounds". Chem-Bio Informatics Journal, Vol.8, No 3.
47. Kuniewsk, M. J. y Kallen, S. P. [2009] "Risk and decision Analysis maintenance Optimization and Flood Management". s.l.: s.n.
48. Manzini, R. et al., [2010] "Maintenance for Industrial Systems". New Jersey, USA.
49. Martines López, A. [2010] "La secuenciación: reglas de prioridad". <http://www.buenastareas.com/ensayos/Reglas-De-Prioridad-Para-La-Secuenciacion/30553.html>
50. Monks, J. [1991] "Administración de operaciones". Ed. Mc Graw Hill. México D.F. , México.
51. Mora Gutiérrez, A. [2012] "Mantenimiento Industrial Efectivo". Edición Segunda. Medellín, AMG. Colombia.
52. Mora Gutiérrez, A. [2009] "Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios. Enfoque Sistemático Kantiano". Editorial COLDI, 2da Edición, Colombia. 354 p.
53. Moubray, J. M. [1997] "RCM II. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad". Segunda Edición. Ellmann, Sueiro y Asociados. España. pp. 433.
54. Nahmias, S. [1997] "Production and Operations Analysis". 3ra, Ed. IRWIN. Chicago, ESA.

55. NC-ISO 9000 [2001] "Sistemas de gestión de la calidad. Fundamentos y vocabulario". Oficina Nacional de Normalización (ONC), Ciudad de La Habana, Cuba.
56. OMS, D. Técnicos [2012] "Introducción al programa de mantenimiento de equipos médicos". Organización Mundial de la Salud 2012. Ediciones de la OMS, Organización Mundial de la Salud. Ginebra, Suiza.
57. Parra Márquez, C. A. y Crespo Márquez, A. [2012] "Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos. Desarrollo y aplicación práctica de un modelo de gestión del mantenimiento". INGEMAN. España.
58. Pérez Jaramillo, C. M. [2004] "El futuro del mantenimiento de la ingeniería de manufactura". Soporte y Cía. Ltda. <http://www.soporteycia.com.co/documentos/mtopasado1.doc>. Última consulta: 14/03/2014.
59. Ríos Pacheco, J, Villafañe Rodríguez, J. [2010]. "Programación de las operaciones". <http://pert-cpm-operaciones.blogspot.com/2010/10/introduccion-de-pert-cpm.html>. Última consulta: 14/06/2014.
60. Rivera Rubio, E. M. [2011] "Sistema de gestión del mantenimiento industrial". Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Industrial". Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.
61. Romero, E. y Martí, L. [2010] "Reglas de secuenciación". <http://operaciones-lye.blogspot.com/2010/12/ventajas-y-limitaciones-de-las-tecnicas.html>. Última consulta: 14/06/2014.
62. Rodríguez Díaz, Y. [2014] "Definición de la política de mantenimiento para el equipamiento productivo de la UEB "Elpidio Sosa" de la Electroquímica de Sagua la Grande a partir de la metodología de Análisis de riesgo". Tesis presentada en opción al título académico de Máster en Ingeniería Industrial. UCLV. Santa Clara, Cuba.
63. Rodríguez Machado, A. Borroto Pentón, Y. y Alfonso Llanes, A. [2012] "Manual de gestión del mantenimiento". Tesis de Diploma. UCLV. Santa Clara. Cuba.
64. Rodrigues, M. [2003] "Manutencao industrial em Curitiba e cidades circunvizinhas: un diagnóstico atual". Tesis en opción al grado académico de Master en Tecnología. Centro Federal de Educacao tecnológica do Paraná. Curitiba, Brasil.
65. Rodriguez Machado, A. [2012] "Manual de Gestión del mantenimiento". Tesis de Grado. UCLV. Santa Clara, Cuba.
66. Russell, R. & Taylor, B. [1998] "Operations Management. Focusing on quality and competitiveness". 2da, Ed Prentice Hall, New Jersey.

67. Sánchez Sánchez, R. [1999] “Contribución al perfeccionamiento del sistema de gestión del mantenimiento a las máquinas y equipos productivos y energéticos en la fase de operación en las fábricas de azúcar crudo cubanas”. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. UCLV. Santa Clara, Cuba.
68. Segovia Vargas et al., [2008] “La metodología Rough Set frente al Análisis Discriminante en los problemas de clasificación multiatributo”. Facultad de C. Económicas y Empresariales, Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España.
69. Schroeder, R. [1992] “Administración de operaciones, toma de decisiones en la función de operaciones”. 3ra. Ed., Editorial Mc Graw Hill. México.
70. Stefano, L. [2006] “Maintenance global service contracts: a guide to develop maintenance management strategies and performance indicators”. Tesis de Especialista en Administración de la Ingeniería. Universidad de Pisa. Italia.
71. Tawfik, L. & Chauvel, A.M. [1992] “Administración de la producción”. Ed. Mc Graw Hill. México D.F., México.
72. Tomlinsong, P. D. [2010] “Equipment Management Key to Equipment Reliability and Productivity in Mining”. 2da. Editorial SME. Colorado, USA.
73. Torres, L. D. [2005]. “Mantenimiento. Su implementación y gestión”. Editorial UNIVERSITAS. 2da Edición. Argentina.
74. Yañez Medina, M. [2003] “Aspectos Generales de Confiabilidad como soporte del SAM. Módulo I”. Reliability and Risk Management. México. pp. 316
75. Zabiski Duardo, E. [2007] “El proceso de planificación y programación del mantenimiento”. www.gestiopolis1.com/recursos8/Docs/ger/proceso-de-planificacion-y-programacion-del-mantenimiento . Consultado en abril 5 del 2014.

News.

Anexo 1. Resumen de los planes de mantenimientos

Fuente	Pasos para la planificación
Abella Leganés (2003).	1. Definir los elementos objeto de mantenimiento 2. Establecer su vida útil 3. Determinar los trabajos a realizar en cada caso 4. Agrupar temporalmente los trabajos
Bennett (2009)	1. Lista de equipos significativos 2. Listado de tareas genéricas para cada tipo de equipo 3. Aplicación de las tareas genéricas 4. Comprobación de las instrucciones de los fabricantes 5. Añadir mantenimiento legal
García Garrido (2009)	1. Codificación y listado 2. Estudio detallado del funcionamiento del sistema 3. Determinación de los fallos funcionales y fallos técnicos 4. Determinación de los modos de fallo o causas de cada uno de los fallos encontrados en la fase anterior Estudio de las consecuencias de cada modo de fallo. 5. Determinación de medidas preventivas 6. Agrupación de las medidas preventivas en sus diferentes categorías 7. Puesta en marcha de las medidas preventivas
Cotts <u>et al</u> (2010)	1. Determine las metas y objetivos. 2. Establecer los requerimientos para el mantenimiento preventivo. 3. Procedimientos del mantenimiento preventivo. (Lista dos de rutinas.) 4. Plan de implementación. 5. Medición de resultados y establecimiento de nuevas metas. 6. Revisión del plan.
Payant (2010)	1. Clasificación e identificación de equipos 2. Recogida de información 3. Selección de la política individual

4. Programa de mantenimiento preventivo total
5. Líneas generales del programa de mantenimiento correctivo

Fuente	Pasos para la planificación
Manzini (2010)	1. Determinar los objetivos. 2. Determinar los recursos necesarios y la cantidad suficiente a utilizar. 3. Tiempo en el que se usarán los recursos, se puede usar el método PERT/CPM 4. Determinar el tiempo en el cual se usarán los equipos. 5. Emitir órdenes por escrito que permitan el uso de los recursos, en los tiempos estipulados. 6. Hacer seguimiento y control de los recursos y actividades para verificar que sean utilizados tal como fueron planificadas. 7. Estudiar los resultados de este procedimiento para aplicar acciones correctivas y superar las deficiencias.

Anexo 2. Definiciones de varios autores sobre variables de priorización del equipamiento.

No	Fuente	Variables de priorización
1*	Fennigkoh& Smith [1989]	- Función del equipamiento; - Riesgo físico para el paciente/operador; - Histórico de fallas; - Necesidad de mantenimiento.
2*	Moussavi&Whitmore [1993]	
3*	Hertz [1990]	- Probabilidad de falla del equipamiento; - Probabilidad de que el operador no perciba la falla; - Probabilidad de que la falla dañe al paciente; - Equipamiento con un MP atrasado.
4*	Martins, <u>et al.</u> [1990]	- Grado de urgencia del equipamiento; - Grado de dependencia del equipamiento; - Grado de utilización del equipamiento; - No confiabilidad del equipamiento; - No existencia de alternativas; - Viabilidad de realización de MP; - Costo de reparación.
5*	Anderson [1992]	- Riesgo físico para el paciente/operador; - Efectos sobre el tratamiento del paciente; - Efecto de la falla del equipamiento en el paciente.
6*	Kendall, <u>et al.</u> [1993]	Prioridad para equipamientos: - de soporte de vida; - con piezas de vida útil predeterminada; - que consumen altos niveles de energía; - sujetos a normas de MP.
7	Marín [1994]	-Costo de implementación - Costo por dejar de producir - Costo por parada de equipos - Costos asociados a existencias de repuestos
8	MINAL [1994]	- Afectación a la producción
9	Moreu de León, Crespo Márquez y Sánchez Herguedas [2000]	- Seguridad - Efectos en el entorno - Disponibilidad requerida por el plan de producción - La existencia de equipos de reserva - Los costos de reparación
10*	Ramírez [1996]	- Riesgo físico para los pacientes/operadores; - Requerimientos de mantenimiento (fabricante); - Histórico de fallas; - Importancia estratégica; - Viabilidad de realización del MP.
11	De la Paz Martínez [1996]	- Cantidad de producción - Calidad - Costo - Seguridad

Anexo 2. Continuación...

12	Torres [1997]	- Seguridad - Calidad - Régimen de trabajo - Afectaciones o confiabilidad operacional - Frecuencia de fallas - Costo
13*	Capuano y Koritko [1998]	- Riesgo físico para el paciente/operador; - Función del equipamiento; - Consecuencias de la falla; - Histórico de fallas; - Análisis de los costos del ciclo de vida del equipamiento.
14*	Sánchez [1997]	- Riesgo físico para los pacientes/operadores; - Dispositivos de protección; - Grado de utilización y razón de uso; - Complejidad del equipamiento; - Régimen de operación; - Requerimiento de mantenimiento (fabricante); - Condiciones de operación;
15	Calil y Teixeira [1998]	- Riesgo físico para el paciente/operador; - Dificultad de prestación de servicios; - Grado de utilización; - Existencia de normas de fiscalización gubernamentales; - Requerimientos de mantenimiento (fabricante).
16*	Silva y Pineda [2000]	- Riesgo físico para el paciente/operador; - Características del proyecto; - Condiciones de operación; - Costos de reparación.
17*	Wang y Levenson [2000]	- Riesgo físico para el paciente/operador; - Importancia estratégica; - Requerimientos de mantenimiento (fabricante).
18	Bevilacqua y Braglia [2000]	- Seguridad - Importancia del equipo en el proceso - Costo de mantenimiento - Frecuencia de fallos - Tiempo de reparación - Condiciones de operación
19	Huerta Mendoza [2001 y 2006]	- Impacto en seguridad del personal - Impacto ambiente - Nivel de producción - Costos (operacionales y de mantenimiento) - Tiempo promedio para reparar - Frecuencia de falla

Anexo 2. Continuación...

20	González Danger y Hechavarría Pierre[2002]	- Intercambiabilidad - Importancia productiva - Régimen de operación - Nivel de utilización - Precisión - Mantenibilidad - Conservabilidad - Automatización - Valor de la máquina - Aprovisionamiento - Seguridad
21	García Garrido [2003]	- Seguridad y medio ambiente - Producción (pérdidas de producción) - Calidad - Mantenimiento (costos)
22	Murthi [2003]	- Impacto en el proceso de producción • Disponibilidad • Productividad funcional • Calidad funcional • Tiempo de reparación (Lead Time) • Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF) • Costos de Mantenimiento
23	García González-Quijano [2004]	- Matriz de Riesgo • Probabilidad de Fallo • Consecuencia del Fallo
24	Seifeddine [2003]	- Salud y Seguridad - Integridad Ambiental - Rendimiento - Calidad de producción - Costo de operación y mantenimiento - Frecuencia de la falla
25	Fabro [2003]	- Riesgo ambiental - Riesgo de accidente - Índice de falla (TMEF) - Tiempo para reparación (TMPR) - Costo de mantenimiento - Informatización - Equipo limitante (cuello de botella) - Índice de relación preventivo-correctivo - Índice de monitoreo de las condiciones del equipamiento
26	Cardoso de Morais [2004]	- Factor de riesgo - Factor de costo - Factor de falla - Importancia del equipo - Factor de mantenimiento - Factor de operación - Factor de proyecto

Anexo 2. Continuación...

27	Alsyouf [2004]	- Grupo: Orientado al negocio • Ventajas competitivas a partir de aspectos claves del negocio - Grupo: Los verdes • Salud • Seguridad del medio ambiente - Grupo: Los seguidores • Recomendaciones de los fabricantes
28	Pettersson y Martel [2005]	- Producción - Condiciones medioambientales - Conformidades de salud y seguridad - Viabilidad financiera (costo) - Mantenimiento (recursos disponibles)
29	Espinosa Fuentes [2005]	- Factor de velocidad de manifestación de la falla - Factor de seguridad del personal y ambiente - Factor de costos de la parada de producción - Factor de costos de reparación
30	Zorita, <u>et al.</u> [2006]	- Gravedad (a través del tiempo medio de reparación) - Detectabilidad (a través del tiempo medio de retraso generado) - Ocurrencia (a través de la tasa de fallo)
31	Torres [2005]	- <i>Influencia sobre producción</i> • Porcentaje de tiempo de uso del equipo • Redundancia o la producción es recuperable con otro equipo - <i>Importancia sobre la calidad</i> • Pérdidas por no cumplir requisitos de calidad • Influencia del equipo en la calidad final del producto - <i>Influencia sobre el mantenimiento</i> • Frecuencia o costo de las averías • Número de horas paradas por mes • Grado de especialización del equipo y personal para atenderlo - <i>Seguridad</i> • Riesgo de las personas • Riesgo de los equipos - <i>Medio ambiente</i>
32	BorrotoPentón [2005]	- Seguridad - Calidad - Afectaciones - Frecuencia de Fallas - Utilización - Tiempo
33	Colombi [2006]	- Seguridad- Mantenibilidad - Medio ambiente - Producción - Clientes - Tiempo de reparación - Capacidad operativa - Frecuencia del fallo

Anexo 2. Continuación...

34	Wikoff [2006]	- Misión e impacto en el cliente - Seguridad e impacto ambiental - Habilidad para separar los puntos de fallo - Historia de las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo - Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF) o fiabilidad - Probabilidad de fallo - Tiempo de suministro de los repuestos - Valor de reemplazo del activo - Tasa de utilización planificada
35	Christensen[2006]	- Seguridad y medio ambiente - Calidad y productividad - Oportunidad de producción - Tasa de ocupación - Frecuencia de parada - Mantenibilidad
36	Espinosa Fuentes [2006]	- Velocidad de manifestación del fallo - Seguridad del personal y del medio ambiente - Costo de la parada de la producción - Costo de reparación
37	Braglia, Fantoni y Frosolini [2007]	- Seguridad humana - Impacto medioambiental - Calidad (pérdida de desempeño) - Costo de mantenimiento - Pérdida de producción
38	Alfonso Llanes [2009]	- Seguridad - Calidad - Afectaciones - Frecuencia de Fallas - Utilización - Tiempo - Costo
39	García Garrido [2010]	-Seguridad y medio ambiente -Producción -Calidad -Mantenimiento
40	Amendola [2011]	-Flexibilidad operacional -Efecto del fallo -Coste de reparación -Seguridad/higiene/ambiente -Frecuencia de fallas

Anexo 3. Levantamiento de planta de la UEB Fábrica de Fusibles y Desconectivos

Equipo: Torno automático			Código:			Modelo: A-40		
Componente	Función	Fallo funcional	Modo de fallo	Duración reparación (h)	Frecuencia (veces/a)	Especialista necesario (Calificación)	Cantidad	Costo de la reparación (\$)
Caja de velocidades	Transmisión de movimiento al usillo	No transmite movimiento	Desgastes en los piñones	8	1	Mecánico	1	
			Deja de funcionar el cloche eléctrico	8	1	Electricista	1	
Usillo	Recibe el movimiento de la caja de velocidad	Paro total de la maquina	Falla el cloche eléctrico	4	1	Electricista	1	
			Falla el cloche mecánico	4	1	Mecánico	1	
Caja de levas	Realiza las distintas operaciones de la maquina	Deja de realizar las operaciones	Pasadores partidos	2	1	Mecánico Tornero	1	
			Desgastes en el patín	2	1	Mecánico Tornero	1 1	

Anexo 3. Continuación...

Equipo: Torno Harrison			Código:			Modelo:		
Componente	Función	Fallo funcional	Modo de fallo	Duración reparación (h)	Frecuencia (veces/a)	Especialista necesario (Calificación)	Cantidad	Costo de la reparación (\$)
Caja de velocidad	Regula la velocidad	No regula la velocidad	Desgaste de uno de los piñones	6	1	Mecánico	1	63.36
Motor eléctrico	Generar el movimiento	No genera el movimiento	Rotura de los rodamientos	6	2	Electricista	1	42.36
			Se quema el motor	24	1	Electricista enrollador	1	1574.29
Pulsadores	Puesta en marcha y parada del equipo.	Incapaz de poner en marcha el equipo.	Rotura de los contactos	2	1	Electricista	1	4.79
Cabezal Fijo	Soporta el mecanismo principal	Problema para el soporte del mecanismo principal	Desgastes de los piñones	6	4	Mecánico	1	63.45
Cabezal móvil	Soporte de las herramientas	Desajustes en las herramientas	Desgaste	8	1	Mecánico	1	40.35
Guitarra	Transmisión del mecanismo del usillo principal de la caja de velocidad a la caja de avance	No logra la transmisión	Piñones partidos	0.3	1	Mecánico	1	83.10

Anexo 3. Continuación...

Equipo: Prensa Hidráulica			Código:			Modelo: 40 t		
Componente	Función	Fallo funcional	Modo de fallo	Duración reparación (h)	Frecuencia (veces/a)	Especialista necesario (Calificación)	Cantidad	Costo de la reparación (\$)
Bomba hidráulica	Presión de aceite	No da presión en el pistón	Desgaste en la zapatilla	6	1	Mecánico	1	63.36
Motor eléctrico	Generar el movimiento	No genera el movimiento	Rotura de los rodamientos	6	2	Electricista	1	42.36
			Se quema el motor	24	1	Electricista enrollador	1	860.29
Porta punzón	Soporta las herramientas de prensado	Desajustes en soporte	Desgaste	2	1	Mecánico	1	4.79
Sistema de enfriamiento	Enfriamiento de aceite	No enfría el aceite para el hidráulico	Falla en la bomba de aceite	10	1	Mecánico	2	2.45
Llave de presión	Regulador de presión	Incapacidad de regular la presión	Desgastes en la zapatilla	1	1	Mecánico	1	

Anexo 3. Continuación...

Equipo: Prensa			Código:			Modelo: 16t		
Componente	Función	Fallo funcional	Modo de fallo	Duración reparación (h)	Frecuencia (veces/a)	Especialista necesario (Calificación)	Cantidad	Costo de la reparación (\$)
Cloche	Da el movimiento a la ecéntrica	No llega el aire o mala regulación	No hay aire en el sistema	2	1	Mecánico	1	
			Se va de regulación	2	1	Mecánico	1	
Bloque de válvulas	Regula la ecéntrica	Deja de regular	Zapatilla en mal estado o fallo de corriente	2	1	Mecánico Electricista	1 1	
Porta punzón	Soporta las herramientas de prensado	Desajustes en soporte	Desgaste	2	1	Mecánico	1	

Anexo 3. Continuación...

Equipo: Prensa			Código:			Modelo: 8 t		
Componente	Función	Fallo funcional	Modo de fallo	Duración reparación (h)	Frecuencia (veces/a)	Especialista necesario (Calificación)	Cantidad	Costo de la reparación (\$)
Cloche	Da el movimiento a la ecéntrica	No llega el aire o mala regulación	No hay aire en el sistema	2	1	Mecánico	1	
			Se va de regulación	2	1	Mecánico	1	
Bloque de válvulas	Regula la ecéntrica	Deja de regular	Zapatilla en mal estado o fallo de corriente	2	1	Mecánico Electricista	1 1	
Porta punzón	Soporta las herramientas de prensado	Desajustes en soporte	Desgaste	2	1	Mecánico	1	

Equipo: Cizalla eléctrica			Código:			Modelo: AA-3316		
Componente	Función	Fallo funcional	Modo de fallo	Duración reparación (h)	Frecuencia (veces/a)	Especialista necesario (Calificación)	Cantidad	Costo de la reparación (\$)
Cuchillas	Cortar	Deja de cortar	Desgastes en el filo de las cuchillas	8	1	Mecánico Tornero	1 1	63.36
Motor eléctrico	Generar el movimiento	No genera el movimiento	Rotura de los rodamientos	6	2	Electricista	1	42.36
			Se quema el motor	24	1	Electricista enrollador	1	860.29