

UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y TURISMO
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



**PROCEDIMIENTOS PARA CONTRIBUIR AL LOGRO DE LA
PLANEACIÓN INTEGRADA PRODUCCIÓN – MANTENIMIENTO
EN LA SUBDIVISIÓN DE MAQUINARIAS PESADAS.**

AUTORA: DUNIA MENDOZA RODRÍGUEZ
TUTOR: MSC. ING. RONALD DÍAZ CAZAÑAS

SANTA CLARA, 2013
“AÑO 55 DE LA REVOLUCIÓN”

*“ Si un día nuestro trabajo no nos pareciera bueno, debemos luchar
por hacerlo mejor. Si un día nos pareciera mejor,
debemos luchar por hacerlo perfecto ”*

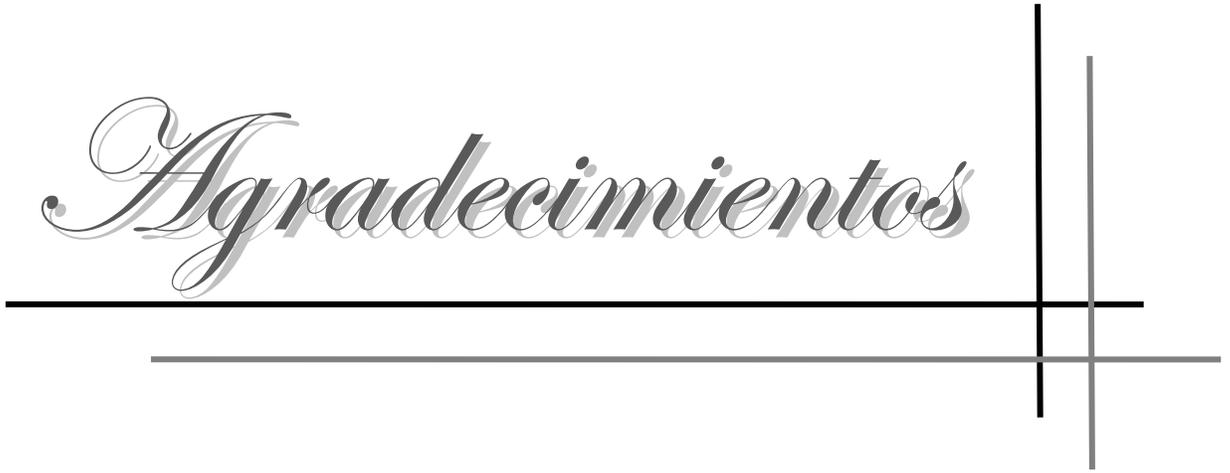
Fidel Castro Ruz

Dedicataria



*A mi mamá, a mi papá y a mi hermano, por quererme,
apoyarme y guiarme por el camino indicado, por ser mi luz en la
oscuridad. A ellos, que les debo todo lo que tengo y lo que soy,
Los quiero.*

Agradecimientos



A mi tutor Ronald Díaz Cazañas por aceptarme y ayudarme, a todo el personal de la empresa Planta Mecánica, en especial a Francisco Iglesias, por entregarme con mucho esmero toda la información que necesite.

No voy a poner más nombres porque quizás olvide mencionar a alguien que ha contribuido de una manera u otra en esta ardua tarea, pero Dios sabe que le agradezco a todas aquellas personas que me han brindado aunque sea un poquito de sus conocimientos, tiempo o simplemente me han escuchado o criticado, para crear o perfeccionar habilidades y así formar el ser humano que soy hoy.

a todos, gracias de corazón.

Resumen





La integración entre los distintos departamentos, áreas y procesos constituye uno de los elementos a considerar para alcanzar el éxito empresarial. En este contexto se inserta la problemática de la integración Producción – Mantenimiento, que aunque es un tema de reconocida importancia, en la práctica empresarial se evidencia una notable brecha entre los procesos de toma de decisiones que tienen lugar en uno y otro subsistemas, ocasionando resultados adversos para las organizaciones. En la presente investigación se supera esta insuficiencia mediante la adopción e implementación de procedimientos enfocados al logro de la planeación integrada Producción – Mantenimiento en la subdivisión de Maquinarias Pesadas de la empresa Planta Mecánica, en lo que refiere a la etapa de planificación a mediano y corto plazo. La aplicación de los instrumentos metodológicos desarrollados permitió, por una parte, definir las funciones, que realmente añaden valor al subsistema de Producción, del activo seleccionado y precisar la estrategia de mantenimiento más conveniente para el mismo y, por otra, obtener la secuencia óptima de órdenes de producción (trabajos) e intervenciones de mantenimiento preventivo, minimizando el tiempo improductivo del equipamiento a partir de la reducción del tiempo total de preparación, contribuyendo de esta manera al logro del cumplimiento de las fechas de entrega de los productos, teniéndose como premisa el cumplimiento del programa de mantenimiento preventivo fijado.

Summary





The integration between departments, areas and processes is one of the elements to be considered to achieve business success. In this context the problem is inserted Production Integration - Maintenance, which although it is a recognized important topic in business practice is evidence of a remarkable gap between the decision-making processes that take place in one and the other subsystems, causing results adverse organizations. In the present investigation overcomes this insufficiency by adoption and design of procedures aimed at achieving integrated planning Production - Maintenance in subdivision Heavy Machinery Mechanical Plant Company, when it comes to the planning stage medium and short term. The application of the methodological tools developed allowed one hand to define the roles of selected asset, that really add value to the production subsystem and determining the most appropriate maintenance strategy for the same and secondly, to obtain optimal sequence of orders production (jobs) and preventive maintenance interventions, minimizing equipment downtime from reducing the total preparation time, thus contributing to the achievement of compliance with delivery dates of products, taking as its premise compliance established preventive maintenance program.

Índice



ÍNDICE	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL DE LA INVESTIGACIÓN	
1.1 Introducción.....	5
1.2 El subsistema de Producción.....	5
1.2.1 Las Operaciones como sistema.....	6
1.2.2 Estructura de las decisiones en Producción.....	7
1.2.3 Planificación de la producción.....	7
1.2.4 Enfoque jerárquico del proceso de planificación de la producción.....	8
1.2.5 Elementos generales sobre los sistemas de planificación de la producción.....	9
1.3 El subsistema de Mantenimiento.....	13
1.3.1 El Mantenimiento como sistema.....	13
1.3.2 Estructura de las decisiones en Mantenimiento.....	14
1.3.3 Planificación del mantenimiento.....	15
1.3.4 Enfoques desarrollados para la planificación del mantenimiento en los niveles táctico y operativo.....	17
1.4 Elementos que determinan la integración entre la planeación de la producción y la planeación del mantenimiento.....	17
1.5 Enfoques desarrollados para la planeación integrada Producción – Mantenimiento.....	20
1.6 Integración GP-GM en el Sector de la Industria Sidero-Mecánica en Cuba.....	26
1.7 Conclusiones parciales.....	29
CAPÍTULO II: CONTRIBUCIÓN AL LOGRO DE LA PLANEACIÓN INTEGRADA PRODUCCIÓN – MANTENIMIENTO EN LA SUBDIVISIÓN DE MAQUINARIAS PESADAS DE LA EMPRESA PLANTA MECÁNICA	
2.1 Introducción.....	30
2.2 Aplicación del procedimiento para la planeación integrada Producción – Mantenimiento a nivel táctico en la subdivisión de Maquinarias Pesadas.....	30
2.3 Conclusiones parciales.....	50
CAPÍTULO III: PROGRAMACIÓN INTEGRADA DE ÓRDENES DE PRODUCCIÓN Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN LA SUBDIVISIÓN DE MAQUINARIAS PESADAS	

ÍNDICE	Pág.
3.1 Introducción.....	51
3.2 Descripción del procedimiento para la programación integrada entre órdenes de producción y mantenimiento preventivo.....	51
3.3 Aplicación del procedimiento general en la organización objeto de estudio.....	56
3.4 Conclusiones parciales.....	66
CONCLUSIONES GENERALES.....	67
RECOMENDACIONES.....	69
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
ANEXOS	

Introducción





Actualmente se vive en la era de la competitividad, más aún, el logro de la excelencia, que exige la creatividad del profesional de producción (operación y mantenimiento) en la búsqueda de alternativas que permitan la supervivencia de la empresa en ambientes muy competitivos y exigentes donde se ve la necesidad de producir o prestar servicios con calidad y a costos alcanzables.

La viabilidad de las empresas en los años venideros depende de su integración a nivel mundial, a través de una política de transformación productiva que permita un aumento de la eficiencia, la incorporación de nuevas tecnologías y una reducción progresiva del costo promedio de los procesos de producción. Un elemento vital dentro de la gestión empresarial es el reconocimiento de la importancia del mantenimiento en el proceso productivo; según Neto (2008): El mantenimiento dentro de la industria es el motor de la producción, sin mantenimiento no hay producción.

Han sido varios los autores que han tratado la temática de integración Producción – Mantenimiento, entre los que se destacan: Zweig (1992); Fernández (1998); Berges & Royo (2000); Gaither & Frazier (2000); Tavares (2001); Sotuyo Blanco (2002); Mojicar Caballero (2004); Yori (2005); Aghezzaf & Jamali (2007); Ashayeri et al. (2008); Alaoui & Najid (2010). Refiriéndose a la importancia del tema, Sotuyo (2002) asegura que para lograr confiabilidad se requiere que el uso y el cuidado de los activos sean una única función coordinada. Sin embargo, resulta paradójico el hecho de que siendo la necesidad de integración Gestión de la Producción (GP) – Gestión de Mantenimiento (GM) un elemento de reconocida importancia, en la mayor parte de las situaciones la realidad no es congruente con este imperativo y, tal como apuntan Berges & Royo (2000) la integración entre los departamentos de Producción y Mantenimiento es prácticamente nula.

Comprender los inconvenientes que un inadecuado mantenimiento reportaría tanto a Producción como a la organización en sentido general, e interiorizar los problemas originados por una deficiente coordinación entre tales subsistemas contribuiría, de una parte, a demostrar la pertinencia del desarrollo de un proyecto para la integración y, de otra, a perfilar los factores claves que influyen sobre la gestión integrada GP – GM. Tal caso, condujo a seleccionar como objeto de estudio práctico la subdivisión de Maquinarias

Pesadas de la empresa Planta Mecánica de Santa Clara, donde la **situación problemática** que da pie a la presente investigación viene dada por el desarrollo de procesos de toma de decisiones independientes en el momento de gestionar los subsistemas de Producción y de Mantenimiento, provocando frecuentes incumplimientos del programa de producción debido a paros por mantenimiento, producciones defectuosas debido a deficiencias en el desempeño de equipos, causadas, a su vez, por dificultades en el cumplimiento de los planes de mantenimiento, bajo control del costo de mantenimiento, intervenciones de mantenimiento aplazadas, sin una justificación técnicamente argumentada, al coincidir una actividad productiva y una de mantenimiento sobre el mismo equipo.

A partir de la situación problemática definida se plantea como **problema científico** la necesidad de aplicar procedimientos que posibiliten la planificación integrada entre los procesos de GP y GM en la subdivisión de Maquinarias Pesadas, fundamentalmente en lo que se refiere a la etapa de planificación a mediano y corto plazo, de manera que, por una parte, se logre la objetividad requerida en el momento de formular las decisiones en Producción, posibilitando que estas sean coherentes con la capacidad que presente el subsistema de Mantenimiento para hacerlas viables en un momento dado y, por otra, se consiga que las decisiones dentro de la planificación del Mantenimiento se enfoquen hacia el cumplimiento de los objetivos de Producción, situando las bases para maximizar con esto la efectividad global del sistema Producción – Mantenimiento.

Las consideraciones anteriores conducen a formular como **hipótesis de investigación**: Mediante la adopción e implementación de procedimientos enfocados al logro de la planeación integrada Producción – Mantenimiento en la subdivisión de Maquinarias Pesadas se logrará delinear los cambios fundamentales en la gestión que permitirán un desempeño superior del sistema Producción - Mantenimiento.

Dicha hipótesis quedará comprobada si:

1. Se logra implementar procedimientos que adoptan en su diseño algunos cambios respecto al diseño de algunas de las metodologías tomadas como base para su desarrollo, para permitir un mejor tratamiento del objeto de estudio teórico (integración Producción – Mantenimiento).

2. La aplicación de los procedimientos permite establecer las líneas de acción a seguir para contribuir a la planeación integrada.

En correspondencia con lo planteado anteriormente, **el objetivo general** de la investigación consiste en implementar procedimientos que contribuyan al logro de la integración entre la planificación de la producción y la planificación del mantenimiento, a mediano y corto plazo, en la subdivisión de Maquinarias Pesadas de la Empresa Planta Mecánica.

Para el logro de este objetivo general se proponen los **objetivos específicos** siguientes:

- Revisar los procedimientos generales existentes para la integración Producción – Mantenimiento, fundamentalmente en lo que refiere a la etapa de planificación a mediano y corto plazo, con el objetivo de determinar sus posibilidades de aplicación de forma íntegra o con adaptaciones en el objeto de estudio práctico seleccionado.
- Adoptar e implementar procedimientos que se adapten a las características del objeto de estudio práctico seleccionado para contribuir al logro de la planeación integrada Producción – Mantenimiento en los niveles táctico y operativo.
- Aplicar los procedimientos para la contribución al logro de la planeación integrada Producción – Mantenimiento, con vistas a comprobar la efectividad de los mismos en el objeto de estudio práctico seleccionado.

Para cumplir los objetivos trazados se ha estructurado la investigación en tres capítulos. En el Capítulo I se realiza una revisión bibliográfica que permita sintetizar los antecedentes teóricos encontrados sobre el objeto de estudio, así como los principales conceptos y enfoques utilizados para la conformación de la propuesta. En el Capítulo II se exponen los resultados obtenidos luego de la aplicación del procedimiento para la planeación integrada Producción – Mantenimiento, en el nivel táctico, diseñado por Díaz Cazañas y Ruiz Hernández (2010). En el Capítulo III se muestra el diseño y los resultados de la aplicación de un procedimiento para la programación integrada de órdenes de producción y mantenimiento preventivo en la subdivisión de Maquinarias Pesadas. Finalmente se evidencian un grupo de Conclusiones y Recomendaciones derivadas de la investigación efectuada; una recopilación de todas las Bibliografías consultadas y referenciadas, para en último lugar detallar en un grupo de Anexos de necesaria inclusión, como complemento de los resultados expuestos.

Durante el desarrollo del estudio se hizo uso del método analítico deductivo, así como otras técnicas entre las que destacan: Programación Lineal, la entrevista y el trabajo con expertos.

El **valor teórico** de la investigación se fundamenta en el análisis crítico realizado en torno a la problemática que supone la integración GP – GM lo que puede constituir un material de referencia para el estudio de futuras investigaciones relacionadas y en el desarrollo de nuevas herramientas y enfoques para responder al problema científico planteado. Su **valor metodológico** queda determinado por la aplicación sistémica de técnicas que tradicionalmente han sido aplicadas dentro de la GP y de la GM, de manera independiente en uno y otro proceso, para obtener entonces una solución que permita una administración coordinada de estos subsistemas. Se pretende, además, aplicar dos procedimientos que propicien la iniciación del desarrollo de un sistema de gestión integrado Producción – Mantenimiento, extensible a empresas con características semejantes. Por último su **valor práctico** radica en los beneficios que obtendrá la empresa objeto de estudio a partir de la aplicación de estos procedimientos para mejorar el nivel de integración de Producción – Mantenimiento, lo cual se refleja en la reducción o eliminación de varios de los problemas que causan la falta de integración entre ambos subsistemas y que se evidencian en la situación actual planteada.

Capítulo 1



1.1 Introducción

En este capítulo se presentan los principales aspectos teóricos relacionados con la investigación, que servirán de apoyo para la misma, para ello se hizo una revisión en diversas fuentes que permitieron conocer el estado del arte y de la práctica en cuanto a la temática de planeación integrada de GP - GM. El marco teórico referencial se estructura de manera que facilite el análisis y comprensión del tema objeto de estudio.

En la Figura 1.1 se muestra el hilo conductor para la conformación del Marco Teórico Referencial de la Investigación.

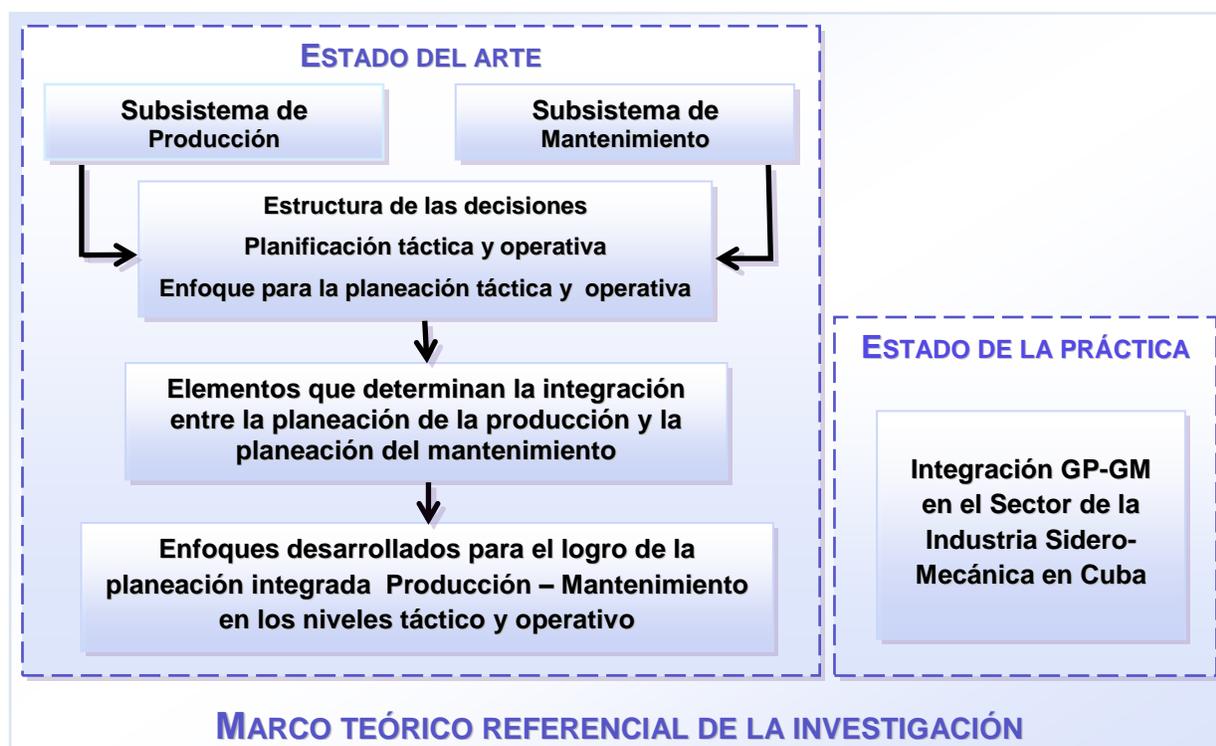


Figura 1.1: Hilo conductor del Marco Teórico de la investigación. **Fuente:** Elaboración propia.

1.2 El subsistema de Producción

El siguiente epígrafe está encaminado a analizar los aspectos generales relacionados con el diseño y gestión del subsistema de Producción. Debe aclararse que en la literatura consultada los autores tratan, indistintamente, los términos de Producción y Operaciones

para referirse al mismo subsistema; en consecuencia, de esta misma forma serán tratados a lo largo de este documento.

1.2.1 Las Operaciones como sistema

El campo de investigación encargado de estudiar la función de producción (subsistema productivo) se conoce en la literatura especializada por Dirección y Administración de la Producción y las Operaciones y se ha definido conceptualmente de diversas formas por los autores. Algunas consideraciones que han brindado diferentes autores respecto al estudio de las operaciones bajo el enfoque de sistema son las de Schroeder (1992) y (2005); Domínguez Machuca et al. (1995); Gaither & Frazier (2000); Quijano Ponce (2004). A partir de estos puntos de vista, puede tomarse como el más apropiado el criterio de Gaither & Frazier (2000), pues logra detallar de una forma resumida los elementos del sistema de Operaciones y sus interrelaciones. En este sentido plantean que el mismo puede verse como un sistema que recibe insumos en forma de materiales, personal, capital, servicios e información, los cuales son transformados, mediante el subsistema de conversión, en los productos o servicios deseados. Una porción del producto resultante es “vigilada” por el subsistema de control para determinar si es aceptable en términos de cantidad, costo y calidad. Si el resultado es aceptable no se requieren cambios en el sistema, de lo contrario se requerirá de una acción correctiva.

Por otra parte Lefcovich (2007) define la Administración de Operaciones como el área de la Administración de Empresas, dedicada tanto a la investigación como a la ejecución de todas aquellas acciones tendientes a generar el mayor valor agregado mediante la planificación, organización, dirección y control en la producción tanto de bienes como de servicios. Todo ello está destinado a aumentar la calidad, productividad, mejorar la satisfacción de los clientes y disminuir los costos. En síntesis, puede definirse como un conjunto de decisiones sobre la dirección y control de los procesos mediante los cuales los insumos se transforman en bienes y servicios terminados; por lo que funciona como un arma competitiva de las organizaciones.

De estas definiciones se concluye claramente que el proceso de dirección de operaciones consiste en planificar, organizar, gestionar personal, dirigir y controlar, de tal forma que el aprovisionamiento, el movimiento de los materiales, las operaciones de la mano de obra, la utilización de las máquinas, la distribución de las instalaciones y la coordinación entre

los sectores logren la más alta eficiencia, produciendo la cantidad necesaria de productos, de la calidad requerida en el tiempo exigido, por el mejor método.

1.2.2 Estructura de las decisiones en Producción

Gaither & Frazier (2000) destacan la necesidad del enfoque de área de decisiones para una mejor comprensión de la manera en que los gerentes de operaciones administran este subsistema. En el Anexo 1 se muestran algunas propuestas desarrolladas por varios autores para explicar la estructura que, de manera general, adoptan tales decisiones. La autora considera que el patrón de clasificación presentado por Schroeder (1992) resulta apropiado pues logra que las decisiones para el largo y el medio-corto plazo queden ubicadas dentro de cada una de las áreas por él definidas, esto permite una mayor organización en el estudio, aunque se hace necesario señalar que si bien el enfoque de dicho autor permite una conducción metodológica apropiada para estudiar el tema, sufre de la carencia de un elemento fundamental como lo es el establecimiento de las prioridades competitivas y objetivos del área de Operaciones, al menos de forma explícita, elemento que sí es considerado por Domínguez Machuca (1995).

Para el análisis se ha tomado como referencia el enfoque planteado por Schroeder (1992), agregándole otras cuatro áreas que se consideran importantes. Además, se ha querido clasificar las decisiones en estratégicas, tácticas y operativas, proceso que se dificulta pues existen varias discrepancias entre los autores consultados, lo cual a su vez puede ser resultado de las características propias del sistema de gestión de cada organización, donde quizás una decisión que aquí se ubique en el medio plazo, para una determinada empresa sea de tipo operativa o viceversa. El esquema de clasificación que se plantea constituye un punto de partida para el establecimiento de los procesos que abarca el área de operaciones y algunas de las decisiones que integran cada uno de estos. En este trabajo la atención estará centrada en las decisiones relativas a la fase de planificación y, dentro de esta, en los niveles táctico y operativo.

1.2.3 Planificación de la producción

El proceso de planificación debe comprometer a la mayoría de los miembros de una organización, ya que su legitimidad y el grado de adhesión que concite en el conjunto de los actores dependerán en gran medida del nivel de participación con que se implemente. Cairo Huaranga (2003).

Según Martínez Pérez (2009), la planificación en el área empresarial se refiere a todas aquellas acciones que son llevadas a cabo con el fin de realizar planes y proyectos de diferentes índoles. Para Cairo Huaranga (2003) planificar es prever y decidir hoy las acciones que nos pueden llevar desde el presente hasta un futuro deseable. No se trata de hacer predicciones acerca del futuro sino de tomar las decisiones pertinentes para que ese futuro ocurra.

Para los autores: Adam & Ebert (1991); Garvin, D. A. (1994); Machuca et al. (1995); Render & Heizer (1996); Noori & Radford (1998); Stoner & Wankel (2000); Heizer & Render (2000), las decisiones referentes a las operaciones influyen en aspectos como la planeación, programación y control de la producción y del inventario, las compras, el mantenimiento y el control de la calidad. Existe un conjunto de variables competitivas que dominan la empresa moderna, tales como: precio, calidad, flexibilidad de productos y cantidades, entregas y servicios, están íntimamente vinculadas con el área de operaciones.

Es por ello que no se puede descuidar esta área en cuanto a su planificación, pues en ocasiones la consideran básicamente operativa, sin tomar en consideración que ésta representa un alto costo y que su funcionamiento adecuado es importante para obtener ventajas competitivas.

1.2.4 Enfoque jerárquico del proceso de planificación de la producción

Con respecto al proceso de planificación de la producción han sido tratados, variados y similares enfoques, por diversos autores tales como: Meredith & Gibbs (1986); Companys Pascual (1989); Schroeder (1992); Díaz (1993); Fogarty et al. (1994); Buffa & Sarin (1996); Nahmias (1997); Chase et al. (2000); Fogarty et al. (2000) quienes establecen, en términos generales, que este se inicia con las previsiones, de las cuales se desprenden los planes a largo, mediano y corto plazo.

El enfoque jerárquico presenta algunas inexactitudes, ya que carece del concepto integrador que en el sentido vertical, debe comenzar en la estrategia empresarial y que en el sentido horizontal, debe relacionarse con los demás subsistemas de la organización. Al respecto, Domínguez Machuca (1995) afirma que, el proceso de planificación y control de la producción debe seguir un enfoque jerárquico, en el que se logre una integración vertical entre los objetivos estratégicos, tácticos y operativos y además se establezca su

relación horizontal con las otras áreas funcionales de la compañía para lo cual establece la estructura de un sistema jerárquico de planificación y control de la producción. También plantea que básicamente las cinco fases que componen el proceso de planificación y control de la producción son:

1. Planificación estratégica o a largo plazo.
2. Planificación agregada o a medio plazo.
3. Programación maestra.
4. Programación de componentes.
5. Ejecución y control.

Es importante anotar, que de acuerdo con Domínguez Machuca (1995), estas fases se deberán llevar a cabo en cualquier empresa manufacturera, independientemente de su tamaño y actividad, aunque la forma como estas se desarrollen dependerá de las características propias de cada sistema productivo. Tanto la estructura de un sistema jerárquico así como el modelo de las cinco fases que componen el proceso de planificación y control de la producción se observan en el Anexo 2.

De acuerdo con la estructura anterior, el contenido del presente trabajo queda enmarcado en las fases de planeación a mediano plazo y programación de componentes.

1.2.5 Elementos generales sobre los sistemas de planificación de la producción

Para la gestión de las diferentes estrategias de fabricación se desarrollaron diferentes Sistemas de Planificación y Control de la Producción (SPCP) que gozan de diferente arraigo en la comunidad empresarial. Los SPCP se pueden clasificar atendiendo a variados criterios. Uno de los más extendidos es el que caracteriza los sistemas según se utilice un procedimiento de empuje (push) o de arrastre (pull). La característica principal de los sistemas pull es que la producción se inicia como consecuencia de los pedidos de los clientes, mientras que en los sistemas push la producción se inicia por la decisión del suministrador de fabricar para stock, antes que el cliente exprese su necesidad, Haan et al. (2001).

Los métodos utilizados en las primeras décadas del siglo xx son los llamados **clásicos**, dentro de estas técnicas y métodos se incluyen, entre otros, el punto de pedido, gráficas de Gantt, PERT (Program Evaluation and Review Technique) / CPM (Critical Path Method) y el Estudio del Trabajo. (Maynard, 1984; Fundora Miranda et al., 1987).

A raíz del perfeccionamiento y avance científico es indispensable la búsqueda de nuevos sistemas con un mayor nivel de integración o trabajar en el mejoramiento continuo de los sistemas que emplean las empresas actualmente. Los países de punta en el desarrollo industrial son los primeros que toman conciencia de la extrema necesidad de implementar **sistemas modernos**. A continuación se explican brevemente algunos sistemas.

Sistema MRP (Planeamiento de los Requerimientos de Materiales)

Este sistema MRP se caracteriza por los aspectos siguientes: está orientado al producto, dado que a partir de las necesidades de esto planifica los componentes requeridos; es prospectivo, pues la planificación se basa en las necesidades futuras de equipos; realiza un defasaje de tiempo de las necesidades de ítems en función de los tiempos de suministros, estableciendo las fechas de emisión y entrega de pedidos; no tiene en cuenta las restricciones de capacidad, por lo que no asegura que plan de pedido sea viable, Vollman et al. (2000).

El efecto de las dos últimas razones generó la necesidad de comenzar a utilizar en paralelo, técnicas de planificación de capacidad y de gestión de talleres, lo cual mejora los resultados, pero no propicia una integración real, la cual se logra en un nuevo sistema MRP denominado por Domínguez Machuca (1995) “Sistema MRP de Bucle Cerrado (BC)” y por Schroeder (1991) “MRP II”.

Este sistema MRP de BC se caracteriza por los aspectos siguientes: carácter prospectivo; es integrador, ya que la base de datos y el sistema son únicos para todas las áreas de la empresa; incluye la PMP, la planificación de necesidades de materiales, la planificación de capacidad a corto y medio plazo, el control de capacidad y la gestión de talleres; tiene capacidad de simulación; actúa de la cúspide hacia abajo. (Domínguez Machuca, 1995)

Sistema Justo a Tiempo (JIT)

El JIT exige prestar el servicio en la cantidad, en el momento y con la calidad que exige el cliente, eliminando toda fuente de despilfarro. Esta filosofía propone como principios para lograr lo anterior, la satisfacción de las necesidades de los clientes, la eliminación de los desperdicios, la capacidad de cambio, la calidad total, la simplicidad de métodos y procesos, el compromiso total de las personas y el desarrollo constante o mejora continua (Vollman, 1991; Díaz, 1993; Domínguez Machuca, 1995; Vollman et al., 2000).

Tecnología de Producción Optimizada (OPT)

El sistema OPT (Optimized Production Technology) fue creado por Goldratt (1998), quien lo define como: una alternativa mejorada del sistema MRP, en el que se brinda una versión completa para la planificación de la producción, materiales y recursos. Es un sistema de control de la producción basado en el procesamiento de una carga finita con el objetivo de maximizar el flujo de producción a partir de la valoración de la capacidad del puesto de trabajo (cuello de botella). Bajo esta estrategia se planifica primero el cuello de botella y se supone que el resto de los procesos pueden acoplarse sin problemas a la fecha que les corresponde según la planificación del mismo.

Teoría de las Limitaciones (TOC)

El objetivo que persigue este sistema o teoría es desarrollar un sistema de gestión integral de la empresa a través del reconocimiento y aprovechamiento de sus recursos críticos. Las principales características de la TOC radican en la existencia de un plan director basado en previsiones, un programa maestro basado en pedidos confirmados, una planificación agregada y una planificación operativa.

Según Goldratt (1994), el elemento más importante a considerar cuando se selecciona un sistema, es definir la meta que debe alcanzar la organización.

Conjuntamente con los sistemas señalados anteriormente, los cuales pueden concebirse como filosofías de gestión, más allá que como técnicas de gestión, existen otro grupo de técnicas para la planificación y control de la producción que no constituyen en sí filosofías o paradigmas de gestión, entre estos:

Técnicas de pronóstico

Según Monks (1991); Adam & Ebert (1991); Hanke & Deitsch (1996); Chase & Aquilano (1995); Schroeder (1992): el procedimiento empleado los pronósticos pueden ser de tipo puramente cualitativo, en aquellos casos en que no se requiere de una abierta manipulación de datos y solo se utiliza el juicio o la intuición de quien pronostica o puramente cuantitativos, cuando se utilizan procedimientos matemáticos y estadísticos que no requieren los elementos del juicio.

Métodos Cualitativos: Método Delphi, método del juicio informado, método de la analogía de los ciclos de vida y método de la investigación de mercados.

Métodos cuantitativos: Métodos por series de tiempo y métodos causales.

Uno de los elementos de juicio que permiten la selección del método, lo proporciona el análisis de error, el cual expresa la diferencia entre los datos reales y los pronosticados. Los métodos de cálculo del error del pronóstico más comunes son: Error promedio, Desviación Absoluta Media (MAD), Error Cuadrado Medio (MSE), Error Porcentual Medio Absoluto (MAPE) y la Media de las Desviaciones por Periodo (BIAS). De cualquier forma, el mejor pronóstico es aquel, que además de manipular los datos históricos mediante una técnica cuantitativa, también hace uso del juicio y el sentido común empleando el conocimiento de los expertos, Hanke & Deitsch (1996).

Técnicas empleadas en la planificación agregada

La planeación agregada denominada también planeación combinada (Meredith & Gibbs, 1986), se encuentra ubicada en el nivel táctico del proceso jerárquico de planeación.

En cuanto a las técnicas existentes en la elaboración de planes agregados, de acuerdo con los autores consultados (Ibídem), las más renombradas son las siguientes:

- Métodos manuales de gráficos y tablas
- Métodos matemáticos y de simulación: programación lineal (método simplex y método del transporte), programación cuadrática, simulación con reglas de búsqueda (Search Decision Rules) y programación con simulación.
- Métodos heurísticos: método de los coeficientes de gestión, método PSH (Production Switching Heuristic), reglas lineales de decisión (LDR) y búsqueda de reglas de decisión (SDR).

Técnicas empleadas en la programación maestra de producción (PMP)

Básicamente, se puede afirmar que un programa maestro de producción, es un plan detallado que establece la cantidad específica y las fechas exactas de fabricación de los productos finales (Heizer & Render, 1997; Russell & Taylor, 1998).

Con respecto a las técnicas existentes para desagregar el plan agregado y traducirlo a un programa maestro de producción, se han desarrollado algunos modelos analíticos (Monks, 1991; Domínguez Machuca, 1995; Schroeder, 1992; Narasimhan et al., 1999) y de simulación los cuales, a juicio de los autores citados, adolecen de los mismos problemas de la planificación agregada, siendo los de mayor uso por parte de los empresarios, los métodos de prueba y error. No obstante, Narasimhan et al. (1999), plantea la existencia de

otros métodos para la desagregación, a saber: Método de corte y ajuste; Métodos de programación matemática; Métodos heurísticos.

Programación de componentes

Cuando el proceso productivo tiene un grado de complejidad significativo, ya sea por la gran cantidad de artículos a producir, por la diversidad de los insumos, porque el proceso utiliza etapas intermedias, o porque se realizan montajes de componentes, es necesario apoyarse en herramientas informáticas que ayuden a controlar y organizar el proceso productivo.

Para este fin se utilizan los sistemas MRP que tienen por objetivo producir eficientemente la cantidad y variedad de artículos necesaria para atender a los clientes.

1.3 El subsistema de Mantenimiento

En este epígrafe se analizarán los conceptos generales del subsistema de Mantenimiento, haciendo referencia principalmente a todo lo relativo a la estructura de las decisiones y al proceso de planificación, que son primordiales tanto en el diseño como en la gestión del mismo, como base para identificar las formas en que las decisiones tomadas en la GM inciden de manera significativa sobre la GP.

1.3.1 El Mantenimiento como sistema

Hoy el mantenimiento es un sistema fundamental que tiene la alta responsabilidad de ser el pilar dentro toda empresa con prestigio y que considere ser competitiva. En este sentido, las entidades se esfuerzan en desarrollar técnicas y métodos para la detección, control y ejecución de actividades que garanticen el eficiente desempeño de cualquier línea de producción o servicios.

Independientemente de la entidad en que se desarrolle, el mantenimiento debe conservar o restablecer el buen estado de los activos fijos, reducir fallas y de este modo los riesgos de paradas imprevistas; garantizando la máxima disponibilidad del equipamiento y las instalaciones al mínimo costo posible.

Desde el punto de vista de la teoría de sistemas, el Mantenimiento puede verse como un subsistema caracterizado por un conjunto de entradas expresadas en términos de recursos humanos, materiales financieros e informativos; el proceso de conversión y por último, un conjunto de salidas o resultados obtenidos como consecuencia del desempeño del sistema, expresados en términos del servicio, que este último provee a sus clientes,

fundamentalmente al subsistema de Operaciones. El subsistema de conversión ha quedado representado en función de los distintos sistemas de mantenimiento a través de los cuales es posible obtener los resultados en términos del servicio prestado, que se traduciría en un determinado nivel de disponibilidad del equipamiento y las instalaciones, con las consecuentes repercusiones que esto provoca sobre la estrategia de Operaciones, la seguridad del personal y el medio ambiente, unido al hecho de que durante la consecución del propio proceso de conversión se adquieren nuevos conocimientos que pueden conducir a la adopción de cambios tecnológicos, Díaz Cazañas (2008).

Sotuyo Blanco (2002) plantea que en momentos en que otras funciones de la empresa se automatizan, robotizan y tienden a la eliminación de la persona del lugar de trabajo, el mantenimiento se presenta como una actividad eminentemente humana y de insustituible aporte a la competitividad de la empresa moderna.

Se plantea entonces que el Mantenimiento consiste en la totalidad de las acciones técnicas, organizativas y económicas encaminadas a conservar y restablecer el buen estado de los activos, a partir de la observancia y reducción de su desgaste y con el fin de alargar su vida útil para lograr una mayor disponibilidad y cumplir con calidad y eficiencia su función productiva o de servicio, garantizando la seguridad del personal y del medio ambiente.

Uno de los principios para la proyección de la GM, derivados del concepto anterior, consiste en que los objetivos del mantenimiento están subordinados a las exigencias de la producción principal según De la Paz Martínez (2002); así mismo, dicha autora define la meta del Mantenimiento como la contribución a la competitividad de la organización, dando respuesta a las necesidades del proceso de producción o de servicios, tanto en cantidad como en calidad, lo cual implica la adaptación rápida a los cambios del entorno (flexibilidad) y la racionalidad en los costos de mantenimiento.

El análisis del concepto, principios y meta del mantenimiento, reafirma la necesidad y carácter de la relación entre la GP y la GM, donde el direccionamiento de esta última debe estar en total alineación con la primera.

1.3.2 Estructura de las decisiones en Mantenimiento

La gestión del mantenimiento es el conjunto de actividades coordinadas para dirigir y controlar una organización. A partir de esta definición se puede entender que para

desarrollar una buena gestión es preciso conocer y haber definido el objetivo u objetivos a alcanzar.

Algunos análisis sobre la efectividad de la gestión del mantenimiento indican que un tercio de todos los costos de mantenimiento se deben a una mala gestión. La gestión de mantenimiento abarca el cumplimiento de un conjunto de funciones: la planificación, la organización, la ejecución y el control. Los objetivos a conseguir pueden buscarse en las definiciones que se han hecho de mantenimiento. Ellas son: disponibilidad de instalaciones y equipos, incremento de la vida útil, forma eficaz y económica a largo plazo, mantener condiciones de proyecto, etc.

La gestión del Mantenimiento recae en la persona, grupo de personas, sección, departamento o subdirección que se encarga de dirigir la organización de Mantenimiento, siendo responsable del cumplimiento de las funciones necesarias para alcanzar los objetivos propuestos, por lo cual se sumerge continuamente en un proceso de toma de decisiones. El objetivo de la gestión del Mantenimiento es contribuir a maximizar la productividad general de la empresa a través de un óptimo balance entre el costo del factor de disponibilidad del equipamiento y el costo de su indisponibilidad, De la Paz Martínez (2002).

La autora considera que a pesar de que la problemática de la estructura de las decisiones en Operaciones ha sido tratada de manera explícita, en el caso del Mantenimiento no sucede así, quedando esto reflejado en las fuentes bibliográficas consultadas. En este sentido, luego de revisar los distintos aspectos que deben ser abordados en el momento de proyectar la GP, y analizando aquellos elementos tratados por otros autores tales como: Tavares (2001); Zhu & Pintelon (2001); Sotuyo Blanco (2002); Borroto Pentón (2005); Cáceres (2005), en sus estudios sobre GM, se ha establecido una propuesta de clasificación respecto a las posibles decisiones a tomar dentro de la GM, la cual presenta cierta analogía con el esquema definido previamente para la GP, y considera, además, los diferentes niveles del horizonte de planificación, tal y como se estableció en el caso de Producción, visto por Díaz Cazañas (2008). Dicha propuesta se muestra en el Anexo 3.

1.3.3 Planificación del mantenimiento

La planificación del mantenimiento es el alma de todos los esfuerzos desarrollados en esta función Tavares (2001) y Tomlinsong (2007). En ella se le debe dar respuesta a las

preguntas: ¿Cuándo hacerlo?, ¿Con qué hacerlo? y ¿Con quién hacerlo? 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, Fabro (2003); Yañez Medina (2005); Espinosa Fuentes (2006).

No es más que el conjunto de actividades que a partir de las necesidades de mantenimiento, definen el curso de acción y las oportunidades más apropiadas para satisfacerlas, identificando los recursos necesarios y definiendo los medios para asegurar su oportuna disponibilidad. La planificación de mantenimiento en base a la situación actual y los recursos de que se disponen, debe definir los objetivos que se quieren cumplir con la gestión de mantenimiento.

Deben ser cubiertos por la planificación los aspectos siguientes:

- Planes de mantenimiento.
- Manejo de repuestos y partes.
- Recursos Humanos.
- Manejo de contratistas.
- Recursos físicos.
- Recursos financieros.

Es de destacar que en muchas organizaciones la planificación del mantenimiento ha 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 estado de deterioro de los mismos, además de no ser constante, el considerable número de información que se ha de procesar. Esto trae un sinnúmero de problemas que es necesario enfrentar para mejorar la confiabilidad y eficiencia de los equipos. Esta tendencia es la que se conoce como planificación tradicional del mantenimiento.

La autora de la presente investigación considera que la planificación del mantenimiento es, en definitiva, toda aquella acción encaminada a definir, planear el curso de acción a seguir para cubrir las necesidades de mantenimiento en una organización; teniendo en cuenta aspectos tales como el manejo de contratistas, repuestos y partes y los recursos físicos, financieros y humanos.

1.3.4 Enfoques desarrollados para la planificación del mantenimiento en los niveles táctico y operativo

Una vez las empresas han alcanzado la madurez para el manejo real y conceptual de las acciones posibles de mantenimiento, empiezan a adoptar una estructura para el desarrollo secuencial, lógico y organizado del conjunto de acciones de mantenimiento que aplican; con el fin de gestar el mantenimiento bajo un sistema organizado al adoptar en su fase táctica, se destacan entre ellas: Mantenimiento Productivo Total (TPM), Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC), Combinado, Proactivo, Reactivo, Clase mundial (WCM), Mantenimiento Centrado en el Riesgo, Mantenimiento Centrado en objetivos o resultados, MCC Scorecard, en orden secuencial e histórico. Según Mora Gutiérrez (2012), no todas las empresas evolucionan históricamente al pasar por cada una de las tácticas en forma secuencial, simplemente adoptan una propia que reúne las mejores prácticas de varias de ellas, para recalcar que el TPM es la más básica de todas.

El nivel operacional comprende todas las posibles acciones a realizar en el mantenimiento de equipos parte del oferente, a partir de las necesidades y deseos de los demandantes. Aparecen en este nivel la Acciones correctivas, preventivas, predictivas y modificativas.

En este epígrafe no se darán detalles de las diferentes acciones y filosofías que aparecen en cada uno de los niveles que tienen lugar en esta investigación, pues en el epígrafe 1.5 se citará brevemente las características generales de algunas de las técnicas que contribuyen al logro de la integración GP – GM

1.4 Elementos que determinan la integración entre la planeación de la producción y la planeación del mantenimiento

La gestión del mantenimiento ha permitido incorporar los procedimientos de las empresas, de tal forma que seguridad industrial, cumplimiento de normas bajo los requerimientos del mantenimiento y la continuidad de las operaciones sean una sola cosa. Un sistema integrado se puede denominar como aquel sistema en el que todas sus funciones tienden a lograr un objetivo común. Se puede decir que un sistema integrado es aquel en el que todas las actividades se suman para obtener una resultante máxima en una dirección, en la cual es aconsejable que estén orientadas todas esas funciones. Esta dirección no puede ser estática, sino con capacidad de adaptación a los cambios del entorno en que se mueve el sistema, Royo & Berges (2000).

Si se revisan algunas de las posibles decisiones a tomar dentro de la GP y de la GM pueden identificarse ciertos vínculos o relaciones de dependencia que determinan el carácter de la integración entre los subsistemas de Producción y de Mantenimiento y, a la vez, fundamentan la necesidad de mantener una gestión integrada entre ambos, ya que de no ser tomadas en consideración impactarán de manera negativa sobre la eficiencia de uno y otro subsistema. Por ejemplo, en el momento de formular la estrategia de mantenimiento debe velarse porque la misma quede alineada (o subordinada) a los objetivos estratégicos de producción. Esta es la causa de que, generalmente, cuando la estrategia de producción se enfoca a la obtención de costo mínimo, el subsistema de Mantenimiento responda con una estrategia dirigida a reducir la severidad de los malos funcionamientos, como es el caso del diseño de un sistema de suministro de repuestos que permita reducir los tiempos de las reparaciones, en lugar de una estrategia para reducir la frecuencia de los fallos, como pudiera ser el caso de la adopción de equipos de monitoreo para la implementación del mantenimiento predictivo, el cual precisa de una alta inversión inicial. De igual forma, cuando se va a establecer el sistema de mantenimiento más adecuado para un conjunto de equipos, Alfonso LLanes (2009) se refiere a que uno de los elementos importantes, sobre el cual deberá basarse la decisión, es el impacto que provoca el fallo del activo sobre el proceso productivo o de servicio, o sea, sobre los objetivos de Producción.

En este caso, el carácter de la integración GP - GM no debe concebirse desde una perspectiva unidireccional, puesto que si bien los objetivos estratégicos de Mantenimiento deben quedar subordinados a los de Producción, este último subsistema puede adoptar decisiones de diseño que faciliten el desempeño de mantenimiento en su función de garantizar un adecuado nivel de disponibilidad. En este sentido Domínguez Machuca (1995) y Schroeder (2005) coinciden en que en la fase de diseño e ingeniería del producto las decisiones relativas a la estandarización de las partes, el diseño modular y el nivel de fiabilidad conferido contribuyen, respectivamente, a la reducción de los problemas de servicio y reparación, rapidez en el diagnóstico y corrección de los fallos y, en el caso del nivel de fiabilidad a incorporar durante el diseño, la adopción de elementos redundantes resulta útil cuando es muy difícil o muy costoso reparar el componente. Ello provoca que al

facilitarse las reparaciones se reduzcan los costos directos e indirectos de mantenimiento, así como las necesidades de formación del personal que realiza esta actividad.

Achermann (2008) plantea que independientemente de los elementos de diseño y la calidad del sistema de producción, mantenimiento tiene un alto impacto en la disponibilidad del sistema de producción. Este autor resalta que en la última década se han hecho muchos intentos para desarrollar modelos de mantenimiento dirigidos a optimizar la disponibilidad, sin considerar, la mayoría de estos, aspectos logísticos ni la rentabilidad del sistema global, sin embargo, la principal intención del personal de producción es optimizar, más bien, la rentabilidad del sistema en lugar de la disponibilidad misma. De esta forma, dicho autor considera que los modelos clásicos, limitados a representar y optimizar estrategias de mantenimiento enfocados solamente a la disponibilidad, fallan, por lo que se necesita un enfoque novedoso que incorpore todos los procesos que presenten un impacto financiero sobre el sistema de producción.

Entre los requerimientos para el adecuado funcionamiento de los procesos con configuraciones continuas se encuentra la necesidad de contar con un adecuado sistema de mantenimiento preventivo, pues una avería en alguna de las etapas provoca la detención de todo el flujo. De manera similar, si como parte de las decisiones sobre la capacidad de la instalación se ha optado por una estrategia de expansión, deberá comprobarse previamente si la capacidad instalada está siendo debidamente utilizada, siendo uno de los factores a analizar la efectividad de las políticas de mantenimiento. Si se trata de incrementar la capacidad, una de las vías para conseguirlo está en la mejora de la fiabilidad de los componentes, ya que esto puede reducir el número de defectuosos, reprocesamientos y las paradas del proceso, Domínguez Machuca et al. (1995)

Comprender los inconvenientes que un inadecuado mantenimiento reportaría tanto a Operaciones como a la organización en sentido general, e interiorizar los problemas originados por una deficiente coordinación entre tales subsistemas contribuiría, de una parte, a demostrar la pertinencia del desarrollo de un proyecto para la integración y, de otra, a perfilar los factores claves que influyen sobre la gestión integrada GP – GM. En este sentido puede consultarse a Gaither & Frazier (2000) quienes realizan un análisis donde señalan los principales problemas que un deficiente mantenimiento ocasionaría sobre la capacidad de producción, el costo de producción, la calidad del producto y/o del

servicio, la seguridad de los empleados o de los clientes y sobre la satisfacción de estos últimos. Precisamente, de acuerdo con estos autores, estos son los factores a evaluar en el momento de decidir sobre la implementación de una estrategia de mantenimiento.

Otro asunto de interés en materia de integración GP – GM está ligado al concepto de mantenibilidad. De acuerdo con Moore (2001) la tendencia consiste en desarrollar la estrategia de mantenimiento luego de la puesta en marcha de la empresa, sin que Mantenimiento haya tomado parte en el diseño y construcción de la planta. Esto en muchas ocasiones acarrea problemas de mantenimiento e interrupciones en la producción que quizás no se deriven de la GM implementada, y sí de un inadecuado análisis de la mantenibilidad durante la etapa de diseño.

Lo anterior es un ejemplo claro de la necesidad de analizar la integración GP – GM en ambas direcciones, pues si bien al departamento de Mantenimiento tradicionalmente se le ha encomendado la tarea de garantizar la disponibilidad necesaria del equipamiento para asegurar el cumplimiento de los programas de producción, Operaciones debe considerar, como parte de sus decisiones en torno a la tecnología, el criterio de mantenibilidad para coadyuvar al logro de las metas de Mantenimiento.

En el plano operativo una cuestión importante es el vínculo que debe existir entre el sistema de gestión de la producción y la programación de las intervenciones de mantenimiento, en aras de lograr una efectiva sincronización entre las actividades de ejecución de la producción y las de ejecución del mantenimiento pues resulta poco probable que, por ejemplo, la mejor solución para la secuencia de fabricación, sin considerar las tareas de mantenimiento planificado, coincida con la mejor solución cuando se consideran las tareas de mantenimiento, Ruiz et al. (2007). Luego de un bagaje teórico sobre algunos elementos relativos a la integración GP – GM, y los problemas que de ella se derivan, conviene analizar algunos puntos de vista y estrategias desarrolladas para dar respuesta a esta exigencia, a fin de obtener un mejor desempeño del sistema Producción – Mantenimiento.

1.5 Enfoques desarrollados para la planeación integrada Producción – Mantenimiento

De acuerdo con Sotuyo Blanco (2002) para lograr un adecuado nivel de integración GP – GM existen hoy en día varias técnicas posibles de aplicar; entre otras se destacan las

siguientes: OIM - Optimización Integral de Mantenimiento; TQM - Total Quality Management; TPM - Total Productive Maintenance; RCM - Reliability Centred Maintenance; LCC - Life Cycle Cost; DSP - Diseño Sistemico de Procesos; Gestión y Evaluación de Riesgos; FMEA - Failure Mode Effect Analysis; Diseño para la Confiabilidad y la Mantenibilidad; Análisis de Disponibilidad y Confiabilidad; RCS - Repuestos Centrados en la Confiabilidad; Sistemas de Gestión de Mantenimiento Asistido por Computadora; Tercerización.

En este apartado no se pretende presentar en detalle la estructura y modo de funcionamiento de estas técnicas, pues se necesitaría mucho espacio, más se citarán brevemente las características generales de algunas de las técnicas que contribuyen al logro de la integración GP – GM, haciendo énfasis de la fase de planeación en los niveles táctico y operativo

Optimización Integral de Mantenimiento (OIM)

Este “instrumento” de gestión es similar a la concepción de plan integral presentado anteriormente. Constituye un mecanismo debidamente estructurado para conectar la estrategia global de la empresa con la estrategia del departamento de Mantenimiento. Su alcance se remite a la definición de las estrategias de mantenimiento –previo análisis del ejercicio estratégico de la empresa-, continúa con la toma de decisiones en las áreas de Recursos Humanos, Recursos Materiales y, por último, Sistemas y procedimientos, Sotuyo Blanco (2002).

El Mantenimiento Productivo Total. (TPM, por sus siglas en inglés)

En cuanto a la filosofía TPM, varios han sido los autores que se han referido a su surgimiento, objetivos, principios, pilares en que se sustenta, beneficios y proceso de puesta en marcha, entre otros: Nakajima (1988); Tavares Lourival (2001); Améndola (2003); Torres (2005). En la literatura consultada se le ha encontrado referenciado, indistintamente, como filosofía, estrategia o, sencillamente, técnica para proyectar la GM. No obstante, la mayoría de los autores consultados coinciden en que es una estrategia compuesta por una serie de actividades ordenadas, que una vez implantadas ayudan a mejorar la competitividad de la organización. Como filosofía puede vérselo ligado a la Gestión de Calidad Total (TQM, por sus siglas en inglés) -de hecho, algunos autores como Améndola (2003) lo consideran una evolución de esta última- ya que, a decir por este

autor necesita de algunas premisas similares, tales como: la necesidad del compromiso de la alta gerencia, la suficiente delegación de autoridad para la implementación de los cambios requeridos, y el necesario cambio en la mentalidad y actitud de todo el personal involucrado en lo que respecta a sus nuevas responsabilidades.

El antenimiento Centrado en la Confiabilidad

Es uno de los procesos desarrollados durante 1960 y 1970 con la finalidad de ayudar a las personas a determinar las políticas para mejorar las funciones de los activos físicos y manejar las consecuencias de sus fallas. Tuvo su origen en la Industria Aeronáutica. De la Paz Martínez (2002) coincide en que el MCC es un sistema que aborda la descripción de los sistemas productivos, sus interfaces, insumos, equipamientos, funciones, modos, causas y efectos de las diversas fallas funcionales. García Palencia (2003) plantea que el objetivo primario de MCC es conservar la función del sistema, antes que la función del equipo.

Por definición, el objetivo supremo de un proceso de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad es mantener las funciones de los sistemas al nivel de rendimiento deseado, dado un determinado contexto operacional. En este caso lo que se denomina contexto operacional constituye una fuente de variación de las condiciones reales de operación que puede llegar a ser altamente variable e imprevisible para los que diseñan y fabrican los sistemas, por tanto la mayor responsabilidad se deja a los que operan y mantienen los activos en operación. El contexto operacional es una variable que puede superar con creces el uso previsto y aún así el MCC tendría el sentido y la misión de garantizar el cumplimiento de las funciones reestructurando el campo de operación de sus activos en una organización y condiciones dadas, Sexto (2007)

Un programa de MCC debe asegurar que las siete preguntas básicas sean contestadas satisfactoriamente en la secuencia mostrada.

1. ¿Cuáles son las funciones asociadas al activo en su actual contexto operacional (funciones)?
2. ¿De qué manera puede no satisfacer sus funciones (fallas funcionales)?
3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional (modo de fallos)?
4. ¿Qué sucede cuando ocurren las diferentes fallas (efectos de las fallas)?
5. ¿De qué manera afecta cada tipo de fallas (consecuencias de las fallas)?

6. ¿Qué puede hacerse para prevenir, predecir cada falla (tareas probables e intervalos de las tareas)?
7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada (acciones preestablecidas)?

El resultado de cada análisis de MCC de un equipo, es una lista de responsabilidades de mantenimiento que permiten aumentar la Disponibilidad, Confiabilidad y rendimiento operativo del equipo.

Otro de los enfoques desarrollados para contribuir al logro de la planeación coordinada de tareas de producción y de mantenimiento en el nivel táctico, es el planteado por Ruiz Hernández y Díaz Cazañas (2010). Este procedimiento se dirige a seleccionar el subsistema de mantenimiento más conveniente a cada activo, analizando entre otros aspectos, la incidencia del fallo en el proceso productivo, lo cual constituye un elemento importante en materia de integración de GP – GM. El procedimiento se basa en la metodología del MCC, agregando previamente algunos elementos del Análisis de Valor, que conducen a un cuestionamiento sobre la eficacia de las funciones del activo, de acuerdo con los objetivos de Producción, antes de emprender el análisis para la eliminación de los modos de fallos asociados o de sus impactos, por lo que permitirá racionalizar las actividades de planificación. El procedimiento tiene como objetivos:

- Establecer un sistema de mantenimiento diferenciado a cada equipo, en función de su impacto sobre las decisiones en operaciones.
- Optimizar el costo de mantenimiento, partiendo de un enfoque centrado en las funciones más importantes de los sistemas, eliminando o rediseñando aquellas que no son necesarias, o que no se presenten de forma adecuada.
- Determinar las acciones que garanticen la disponibilidad exigida.
- Contribuir al cumplimiento de las prioridades competitivas planteadas dentro de la gestión de operaciones.

Cuenta para su implementación con 16 pasos los que se pueden ver en el capítulo siguiente. El procedimiento comienza con el establecimiento del sistema de mantenimiento más adecuado a cada activo, considerando el valor que aportan las funciones de los activos fijos a los objetivos planteados en Producción. Posteriormente se analiza si la estrategia de mantenimiento establecida preliminarmente es factible, teniendo en cuenta la

disponibilidad de recursos para cumplimentar las tareas preventivas. En caso de que algunas de estas tareas no puedan ser ejecutadas se determinará el impacto que ello provoca en la gestión del subsistema de Producción, con lo que se podrá decidir si es necesario efectuar cambios en su planificación. Esto permite establecer un sistema de mantenimiento enfocado a los objetivos de Producción, a la vez de proyectar la planificación de este último subsistema de forma coherente con la capacidad que presenta Mantenimiento para respaldar los objetivos de Producción.

Dentro de las entradas que toma el procedimiento se tienen: las decisiones fundamentales tomadas en el subsistema de Producción, las funciones de los activos que mayor impacto poseen sobre estas decisiones, sistemas de mantenimiento posibles de adoptar en la organización, elementos de metodologías para la gestión del mantenimiento y la gestión empresarial, de manera general, y juicios valorativos de expertos. Los procesos fundamentales que desarrolla el procedimiento son: análisis del valor de las funciones de los activos fijos, establecimiento del sistema de mantenimiento más adecuado a cada uno de estos, evaluación de la factibilidad del sistema de mantenimiento propuesto, evaluación de la necesidad de efectuar ajustes en la planificación de la producción y diseño de las mejoras que se identifiquen. Las salidas consisten en el grupo de funciones de los activos que añaden valor al subsistema de Producción, el sistema de mantenimiento más adecuado a cada activo y los ajustes a efectuar, de ser necesarios, en la planificación de la producción.

Como el procedimiento se sustenta en la idea de que lo más importante es lograr el cumplimiento de los objetivos de Producción, considerando, paralelamente, que estos deben ser formulados teniendo en cuenta la capacidad de Mantenimiento, se logra un análisis bidireccional del tema correspondiente a la integración Producción – Mantenimiento, enfocando, por una parte, la gestión del Mantenimiento hacia el logro de los objetivos de Producción y, por otra, cuidando que las decisiones en Producción sean coherentes con las exigencias y capacidad de Mantenimiento.

Pasando al plano operativo Ruiz et al. (2007) señalan que, generalmente, la programación de las tareas de mantenimiento y la secuenciación de la producción son tratadas de manera independiente tanto en la literatura como en la industria. Una de las conclusiones más importantes planteadas por estos autores es que resulta poco probable que la mejor

solución para la secuencia de fabricación, obtenida mediante el empleo de métodos heurísticos y sin considerar las tareas de mantenimiento planificado, coincide con la mejor solución cuando se consideran las tareas de mantenimiento.

Uno de los elementos a optimizar al establecer la secuencia de fabricación es la reducción del tiempo total de preparación, debido a su incidencia sobre el tiempo improductivo del equipamiento. Esta temática ha recibido gran atención por parte de varios investigadores en la actualidad, puesto que se obtienen grandes ahorros cuando los tiempos de preparación son incluidos en las decisiones de secuenciación, Naderi, B. et al. (2009).

De acuerdo con este autor, la mayoría de las investigaciones realizadas sobre secuenciación de la producción, considerando los tiempos de preparación, se dirigen a los denominados talleres de flujo, orientados al producto, lo que se denomina configuraciones flow shop, siendo menos estudiados los talleres orientados al proceso (job shop).

En este último caso se destacan las investigaciones de Zhou & Egbelu (1989) quienes propusieron un método heurístico para minimizar el tiempo total de procesamiento (makespan). Choi & Korkmaz (1997) trataron este tipo de problema, en talleres job shop, mediante un método de programación en enteros mixto, desarrollando un método heurístico para su solución, teniendo por objetivo, igualmente, minimizar el makespan. Schutten (1998) abordó este problema considerando aspectos tales como: fechas de lanzamiento, fechas de vencimiento y tiempo de transportación. Cheung & Zhou (2001) desarrollaron un algoritmo híbrido basado en algoritmos genéticos y una regla de despacho que prioriza los trabajos de menor tiempo de procesamiento; las primeras operaciones para cada una de las máquinas son definidas a partir del algoritmo genético, mientras que las restantes operaciones son programadas mediante la mencionada regla de despacho, teniéndose por objetivo la minimización del makespan.

Naderi et al. (2009) realizaron un estudio en el que aplicaron cuatro metaheurísticas para la solución de un conjunto de instancias del problema general de secuenciación de la producción y tareas de mantenimiento preventivo considerando el tiempo de preparación de las máquinas. Se tuvieron en cuenta tres políticas de mantenimiento preventivo (MP):

- 1) MP en intervalos de tiempo fijo, predeterminado,
- 2) modelo de periodo óptimo de MP, maximizando la disponibilidad del equipamiento,
- 3) mantener un umbral mínimo de confiabilidad para un periodo dado.

Estas políticas fueron incluidas en las metaheurísticas híbridas: Algoritmo Genético (GA) – Regla de Despacho Shorter Processing Time (GA-SPT), Recocido Simulado (SA) – Regla de Despacho Shorter Processing Time (SA – SPT), algoritmo genético adaptado para la secuenciación de la producción y actividades de mantenimiento preventivo simultáneamente, a partir del propuesto por Cheung & Zhou (2001) (GA-Ch), y el Sistema Inmune presentado por Zhou et al. (2006) para la secuenciación en talleres job shop considerando los tiempos de preparación (IA-YZ). Luego de un análisis de varianza se concluyó que, entre las metaheurísticas, el método híbrido GA-SPT proporcionó los mejores resultados; no existieron diferencias significativas entre los resultados obtenidos mediante los métodos SA-SPT y GA-Ch; el IA-YZ mostró resultados menos favorables y con la aplicación de la regla de despacho SPT, de forma aislada, se obtuvo el peor resultado.

Se puede aseverar que no se ha encontrado la alternativa óptima para resolver el problema de secuenciación de la producción y tareas de mantenimiento preventivo, incluyendo modelos matemáticos y metaheurísticas, debido a las desventajas de todas estas propuestas, siendo una de ellas el hecho de que al ser tan sofisticados necesitan grandes esfuerzos para su codificación e implementación. En otros casos las propuestas desarrolladas carecen de generalidad. Muchos de estos métodos poseen características específicas que raramente son aplicables a extensiones del problema original. Los argumentos anteriores demuestran la complejidad del problema de secuenciación de productos e intervenciones de mantenimiento, ya sea en un ambiente caracterizado por una o varias máquinas, así como diferentes elementos que ocurren en la práctica empresarial y que al ser tenidos en cuenta elevan dicha complejidad, sin embargo, no considerarlos puede llevar a elaborar modelos que proporcionen una representación del problema real de forma muy limitada y, en consecuencia, las soluciones serán poco efectivas. De manera que el analista deberá sopesar el grado de precisión con que el modelo representa la realidad y el nivel de complejidad que esto entraña.

1.6 Integración GP-GM en el Sector de la Industria Sidero-Mecánica en Cuba

La Resolución 183-2005 del Ministro de la Industria Sidero-Mecánica especifica, legalmente, las operaciones económico-comerciales autorizadas a realizar por las empresas que conforman ese sector industrial. El desglose de las operaciones prescritas

permite esclarecer lo que puede hacerse en la empresa y encauzar las iniciativas de producción, o nuevas formas de servicios y productos que se conciban. Explica claramente las relaciones de las áreas productivas con los departamentos de calidad, comercial, logística y mantenimiento con el objetivo de satisfacer las necesidades de los clientes e identificar nuevas.

El proceso de validación del proceso de producción tiene como objetivo establecer las medidas para validar los procesos de fabricación en correspondencia con los requisitos solicitados, abarcando todos los productos resultantes que no pueden verificarse mediante actividades de seguimiento y medición, esto incluye a cualquier proceso en que las deficiencias se hagan aparentes únicamente después de que el producto esté siendo utilizado. Es responsabilidad de los Jefes de las Brigadas de Diseño y Tecnología, sus especialistas y técnicos señalar en la documentación de diseño y/o tecnológica las características, las normas y códigos que deben aplicarse tanto para la fabricación como para la ejecución de pruebas y ensayos, y define los criterios para la aprobación de los procesos. De los Jefes de Brigada de los Talleres y Técnicos en Gestión de la Calidad es mantener la identificación y trazabilidad de la producción sometidas a procesos validados de fabricación, según la identificación y trazabilidad de los productos. Identificar conjuntamente con calidad las necesidades de formación en lo referente a la certificación y recertificación del personal que ejecuta los procesos validados de fabricación incluidos los de pruebas y ensayos, manteniendo un estricto control sobre su estado y actualización. Solo utiliza equipos certificados incluidos los de pruebas y ensayos, coordinando dicha certificación a través de la Gestión de la Calidad y la Gestión del Mantenimiento General. Solo ejecuta los procesos cuando tiene disponible toda la documentación de trabajo debidamente aprobada, así como continúa dichos procesos solo cuando se conocen los resultados de las pruebas y ensayos. Solicita la presencia o conformidad del cliente cuando ocurran desviaciones que requieran de su conocimiento y/o aprobación, así como cuando sea necesario introducir cambios y modificaciones que alteren los compromisos contractuales.

La Gestión de la Calidad no permite que se ejecuten procesos validados con equipos que no posean los certificados de aptitud, los materiales certificados y el personal también certificado para ejecutar los mismos. Mantener y exigir porque los registros de calidad

estén debidamente actualizados, de manera que se pueda en cualquier momento mostrar las evidencias que se soliciten, así como mantener una correcta trazabilidad. Mantener en correcto estado de inspección y ensayo de los productos sometidos a procesos validados de fabricación. Confeccionar los expedientes de fabricación de los productos sometidos a procesos validados, conservando los mismos por el tiempo que se establezcan en cada caso en particular, así como prepara el expediente que será entregado al cliente si lo establece el contrato. Se garantiza la disponibilidad en las áreas donde se necesiten toda la documentación técnico normalizado a utilizar durante la fabricación, pruebas y ensayos para los procesos validados.

El técnico en Gestión de la Calidad mantendrá el control sobre el estado de los equipos de inspección, medición y ensayos que se estén utilizando, manteniendo actualizado y disponible los certificados de calibración para ser mostrado de ser necesario. El Técnico en Gestión de la Calidad al detectar desviaciones o no conformidades durante la ejecución de los procesos detendrá los mismos, informando inmediatamente a Diseño y Tecnología para aplicar las acciones correctivas requeridas y prever que vuelvan a ocurrir. Las UEB Productivas y de Logística deben garantizar que todos los materiales conserven las características de calidad solicitadas, no utilizando los mismos hasta tanto no se conozcan los resultados de los ensayos si es necesario ejecutarlo. Para la evaluación de desempeño del proceso productivo, se realiza una comparación entre los resultados obtenidos y los indicadores de evaluación anteriormente trazados. Entre los indicadores de más relevancia se encuentran los referidos al cumplimiento de la capacidad de producción, considerando la cantidad y especificaciones del pedido, cumplir con las entregas en más de un 90% en el período evaluado y lograr un trabajo organizado, eficaz y eficiente con un mínimo de rechazo de piezas de hierro, acero fundidas, de bronce en maquinado. Como se puede apreciar, para lograr los objetivos específicos se debe contar con una adecuada integración entre GP-GM, permitiendo disminuir la tasa de interrupciones del equipamiento y el mal funcionamiento del mismo, repercutiendo en el cumplimiento de los plazos de entrega y la disminución del porcentaje de productos defectuosos, aspectos esenciales para la evolución de cualquier empresa.

1.7 Conclusiones parciales

1. Son varios los autores que han planteado explícitamente la necesidad de lograr un nivel de integración adecuado entre la GP y la GM, sin embargo, en lo que al estado del arte se refiere, esta temática no ha sido abordada lo suficiente. Esta situación se hace extensiva a la práctica empresarial, donde, en la mayoría de los casos, este objetivo no ha sido alcanzado aún, lo que fundamenta la necesidad del desarrollo y aplicación de instrumentos metodológicos encaminados a tal fin.
2. Dentro de los enfoques que contribuyen a la integración entre la planeación de la producción y la planeación del mantenimiento, a nivel táctico, se considera que la propuesta desarrollada por Ruiz Hernández y Díaz Cazañas (2010) permite un análisis más integral de esta problemática, ya que desde su propio diseño se enfoca directamente al logro de este objetivo y concibe el tema de la integración desde una perspectiva bidireccional.
3. A pesar de la gran cantidad de técnicas desarrolladas para la integración producción – mantenimiento, a nivel operativo, incluyendo modelos matemáticos y metaheurísticas, no se puede afirmar que se ha encontrado la alternativa óptima para su tratamiento debido a las desventajas de todas estas propuestas, siendo una de ellas el hecho de que al ser tan sofisticados, necesitan grandes esfuerzos para su codificación e implementación.

Capítulo 2



2.1 Introducción

En el presente capítulo se exponen los resultados obtenidos luego de la aplicación parcial del procedimiento para la planeación integrada Producción – Mantenimiento a nivel táctico, diseñado por Díaz Cazañas y Ruiz Hernández (2010).

2.2 Aplicación del procedimiento para la planeación integrada Producción – Mantenimiento en el nivel táctico en la subdivisión de Maquinarias Pesadas

A continuación se presenta una breve explicación de cada paso del procedimiento general y los resultados de su aplicación en el objeto de estudio práctico seleccionado. El procedimiento se muestra en la Figura 2.1.

Paso 1. Planificación del estudio

Se refiere a la planificación y organización de los recursos necesarios para llevar a cabo el proyecto. Abarca las tareas de conformación del equipo de trabajo y del grupo de expertos, considerando las exigencias en cuanto a tamaño del grupo de expertos y su calidad. Se incluye en este paso la búsqueda de la información necesaria para la caracterización general de la organización y de los subsistemas de Producción y de Mantenimiento.

El **equipo de trabajo** quedó integrado por el jefe de taller, los jefes de Producción y de Mantenimiento, el tutor de este trabajo y la autora.

El **grupo de expertos** seleccionado, fueron aquellas personas con conocimientos de la GP y de la GM de la empresa. Esta selección se llevó a cabo, con la utilización del procedimiento utilizado por Ruiz Hernández (2010), el cual se muestra en el Anexo 4 de la presente investigación. El resultado final, se muestra en la Tabla 2.1, fueron 7 especialistas, procedentes de las áreas de producción y de mantenimiento.

Caracterización general de la empresa:

Situada en la Ciudad de Santa Clara, Planta Mecánica se erige como el más importante complejo fabril de construcciones mecánicas en Cuba. Fundada el 3 de mayo de 1964 estableció su producción en el mercado nacional, con equipos y piezas de repuesto para la industria azucarera. Años más tarde se consolida, además, como fabricante de

maquinaria para las industrias Metalúrgicas, Siderúrgicas, del Cemento, de la Minería, Obras Hidráulicas, Petróleo, construcción, química, petroquímica, transporte, estas entre las más significativas. El complejo industrial posee divisiones especializadas, talleres de servicio, laboratorios y almacenes. Dispone además de un acceso ferroviario industrial enlazado al ferrocarril central.

Su potencial tecnológico, la flexibilidad en tecnologías especiales y 49 años de tradición productiva, hacen que la empresa sea hoy una organización capaz de asumir los más diversos proyectos y situar sus productos en el mercado nacional e internacional. Cuenta con personal técnico-ingeniero de alto nivel y especialización que desarrolla los procesos de ingeniería, fabricación, garantía de la calidad, montaje y servicios de posventa a los equipos y piezas que suministra. La capacidad industrial de la empresa, permite además de fabricar una amplia gama de equipos, aceptar trabajos a pedido dada la tecnología propia instalada en sus áreas productivas y de servicios.

Misión: La empresa Planta Mecánica con profesionalidad y lealtad a sus clientes, ofrece servicios de ingeniería, fabricación, montaje y puesta en marcha de plantas completas, equipos y partes y servicios asociados, orientado al mercado nacional e internacional, distintivo por su calidad, precios y capacidad de reacción.

Visión: Ser líderes productores de equipos, piezas de repuestos y plantas completas para la industria del níquel, cemento, turismo, petróleo, pesca, transporte y la agricultura con servicios industriales asociados, utilizando tecnologías de punta, con competitividad en los mercados nacionales e internacionales.

Tabla 2.1. Grupo de expertos seleccionado para la investigación

Expertos	Ocupación
1	Especialista de mantenimiento
2	Especialista de producción
3	J' de Departamento Mantenimiento
4	J' de Departamento Producción
5	J' de Brigada Producción
6	J' de Brigada Mantenimiento
7	Tecnólogos

Fuente: Elaboración propia.

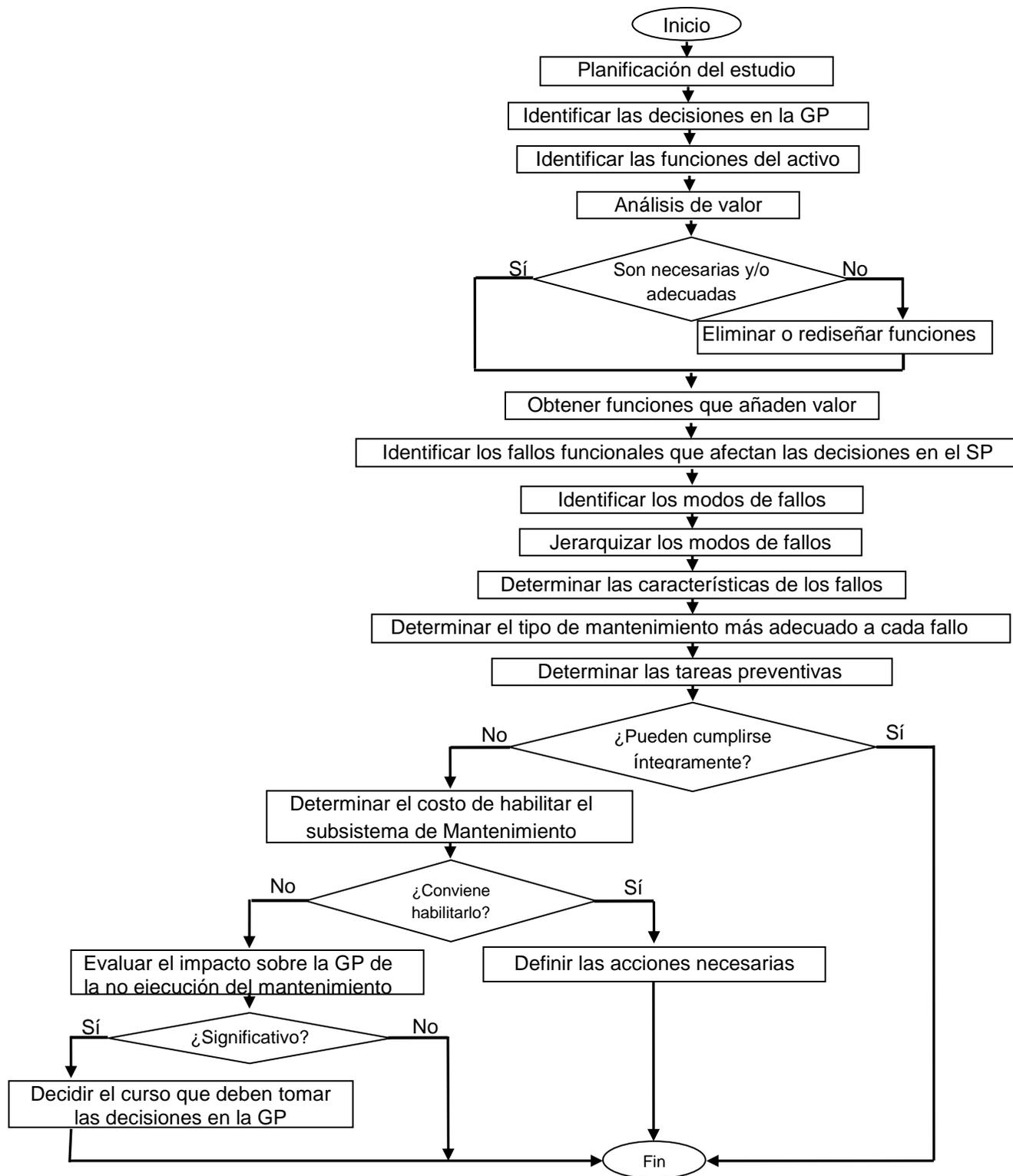


Figura 2.1. Procedimiento para contribuir al logro de la planeación integrada de Producción - Mantenimiento a nivel táctico. **Fuente:** Ruiz Hernández (2010).

Caracterización del sistema de Producción de la planta de Maquinarias Pesadas:

En la subdivisión de Maquinaria Pesada se produce una variada gama de equipos tecnológicos y piezas de repuesto destinados a las industrias azucarera, metalúrgica, minera, petróleo y materiales de la construcción, entre otras.

Con el respaldo de un equipamiento tecnológico se fabrican reductores de gran potencia, basculadores de camiones y de carros de ferrocarril, molinos cañeros, desfibradoras, cribas, molinos de martillo y de rolos, laminadores de tubo, de cabillas y perfiles; así como una amplia línea de equipos para acerías.

Respecto a la Estrategia de Producción, las prioridades competitivas se dirigen hacia la disminución de los costos de producción, además de desarrollar el producto con rapidez para garantizar entregas oportunas; todo esto sin descuidar la calidad.

En cuanto a la decisión sobre el producto, puede afirmarse que se produce contra pedido, planificando la producción a nivel de planta, considerando inventario entre un equipo y otro para garantizar la continuidad del flujo productivo. Pudiera decirse que la producción es de tipo seriada. Se ajusta con los clientes la disposición de la materia prima y en caso necesario la sustitución por otra que cumpla con las condiciones constructivas y las especificaciones de calidad.

Se cuenta con equipamiento de propósito diferenciado con 49 años de uso continuo, aumentando la cantidad de interrupciones durante el ciclo productivo. La planificación de la producción se realiza sin tener en cuenta las interrupciones, debido al incumplimiento en la entrega del plan de mantenimiento.

Las decisiones en torno a la planificación y control de la producción a nivel táctico incluyen las reubicaciones, programación de vacaciones y pago de estimulaciones. El régimen de trabajo se compone de dos turnos, de lunes a sábado, pero se puede extender para cumplir con los plazos de entrega.

Entre los principales problemas que afronta este subsistema se puede mencionar que: se cuenta con un equipamiento obsoleto sin posibilidades hasta el momento de sustitución; ocurrencia de averías debidas a la violación de los parámetros técnicos de operación; planificación de la producción sin tener en cuenta las intervenciones por mantenimiento, ocasionando el incumplimiento de las estrategias de producción; empleo de herramientas en mal estado, provocando afectaciones en el cumplimiento de las normas de consumo y

de rendimiento; retrasos en el procesamiento de la información a enviar hacia otros departamentos e incumplimiento con los plazos de entrega.

Caracterización del subsistema de Mantenimiento en Planta Mecánica:

La subdivisión productiva de Mantenimiento General tiene como objetivo fundamental establecer el procedimiento que garantice el mantenimiento del equipamiento industrial de la empresa y se desarrollen los procesos en condiciones controladas, así como establecer el control y las instrucciones para supervisar el uso adecuado de los portadores energéticos. Esta división abarca los servicios de mantenimiento industrial, servicios energéticos, fabricación de piezas de repuesto, enrollado de motores y reparaciones capitales de máquinas herramientas. Presta servicios industriales generales al mercado nacional y externo que abarcan: mantenimiento mecánico, eléctrico y electrónico a máquinas, herramientas y equipos no activos; pruebas estáticas y dinámicas con certificación a equipos de izaje no activos; reparación capital de máquinas herramientas y equipos; enrollado de Motores; fabricación y comercialización de piezas de repuesto, herramientas, recuperación de piezas, tratamiento térmico, servicios de ensayos destructivos y no destructivos, así como los controles de defectoscopia.

Para la caracterización de este subsistema se tomó como base la metodología empleada por Borroto (2005). A continuación se ofrece un resumen de los elementos más significativos en cada una de las áreas de análisis.

- Organización del Mantenimiento:

El mantenimiento a nivel de fábrica presenta una organización de tipo centralizada, con un departamento de mantenimiento general que realiza las actividades de pailería, reparación de equipos y redes eléctricas, así como el enrollado de motores. El mismo cuenta con brigadas asignadas a cada línea. Existe la documentación técnica de todos los equipos, donde se reflejan datos tales como el año de fabricación, de instalación, de puesta en marcha, los parámetros técnicos fundamentales y las horas de mantenimiento planificado en el año. Si bien existe un software para asistir la GM, esta herramienta no se utiliza adecuadamente o no se utilizan los datos procesados.

- Administración del Mantenimiento:

Es responsabilidad del Director de la subdivisión productiva Mantenimiento General implantar el procedimiento del Sistema de Gestión de la Calidad, organizar y controlar los

planes de mantenimiento y la modernización de la empresa. Realizar la propuesta del presupuesto teniendo en cuenta las necesidades detectadas a partir del diagnóstico realizado a fin de cada año. Evaluar los indicadores de mantenimiento mensual y anual para tomar las acciones correctivas necesarias. Controlar y fiscalizar el presupuesto de mantenimiento y el cumplimiento efectivo del procedimiento. En la subdivisión se planifica correctamente las intervenciones para cada uno de los equipos en la empresa según los recursos asignados y las necesidades para el presente año. Generalmente se ejecuta la labor sin el empleo de órdenes de trabajo, aunque estas si se encuentran previamente establecidas.

- Personal:

La subdivisión Mantenimiento General cuenta con: un Director, Especialistas en Mantenimiento Industrial, Técnicos en ahorro y uso racional de la energía, Especialistas en Automatización, Operarios de Equipos Electrónicos, Electromecánicos y de Telecomunicaciones, Mecánicos y Electricistas, para un total de 126 trabajadores con un 85,13% de ocupación de la plantilla laboral. De entrevistas realizadas al personal se concluye que no existe un adecuado nivel de motivación, en ello inciden las condiciones de trabajo, que si bien se plantea han mejorado, aún no son suficientes. Por otra parte, al decir de la administración, la brigada de mantenimiento presenta un nivel de conocimientos en correspondencia con las características técnicas del equipamiento instalado, no obstante el mismo no requiere de un alto nivel de servicio técnico.

- Infraestructura y Equipos de Mantenimiento:

El área de trabajo asignada a Mantenimiento lo constituye toda la empresa, subdividida en Unidad empresarial de base, Grupo de control y la planificación del mantenimiento, Taller de Mantenimiento de Equipos Tecnológicos, Brigada de Mantenimiento Mecánico, Brigada de Mantenimiento Eléctrico, Brigada de Lubricación, Brigada de Izaje, Taller de Mantenimiento Equipos de Fundición y Tratamiento Térmico, Brigada de Mantenimiento de fundición y tratamiento térmico, Brigada de Compresores, Taller Energético, Brigada de Sub Estación Eléctrica, Brigada Mantenimiento Constructivo y Brigada de Reparaciones Capitales. Aunque ha aumentado la disponibilidad de herramientas, aún no se cuenta con el utillaje necesario para efectuar el trabajo con la calidad deseada. Es muy frecuente la

falta de materiales para ejecutar las reparaciones por lo influye negativamente en el cumplimiento de las estrategias de producción.

- Equipos e instalaciones:

Para brindar el servicio, cuenta con 36 equipos, los cuales presentan sistemas electrónicos, eléctricos, hidráulicos, neumáticos, mecánicos y de refrigeración, además tienen instalados sistemas de control automatizados, lo que fundamenta el alto nivel de formación requerido tanto por el personal de Producción como por el de Mantenimiento. El extenso tiempo de explotación del equipamiento ha causado graves daños en los componentes mecánicos.

- Tercerización:

Esta estrategia no es solicitada por la empresa, sin embargo está en la disposición de ofrecer dicho servicio a las empresas que lo soliciten en parte de la región central y la región oriental en materia de reparaciones capitales. Debido a la forma de organización del mantenimiento existente a nivel de empresa, las reparaciones a las que la subdivisión no pueda dar solución con medio propios son transferidas al departamento de Mantenimiento General de la empresa.

Paso 2. Identificar las decisiones en la GP

Se refiere a la relación de las principales decisiones que determinan el direccionamiento del subsistema de Producción, fundamentalmente aquellas que impactan en mayor medida sobre el desempeño del subsistema de Mantenimiento, ya sea porque los resultados que se obtengan de estas decisiones estén condicionados por el desempeño de Mantenimiento, o bien porque tales decisiones constituyen elementos a considerar en el momento de diseñar este último subsistema.

El grupo de decisiones y acciones que se podrían ver afectadas por un desempeño inadecuado de los activos fue seleccionado por el equipo de trabajo, dentro del grupo de decisiones se quiso destacar las prioridades competitivas, estas son, según el orden de preferencia:

- minimizar el costo de producción,
- maximizar la calidad del producto,
- cumplir con los plazos de entrega establecidos.

Paso 3. Identificar las funciones del activo

A partir de entrevistas al personal de Producción y de Mantenimiento el equipo de trabajo identificó las funciones productivas que realizan los activos en su contexto operacional. Se decidió centrar el análisis en el grupo homogéneo de tornos, pues es uno de los grupos de mayor por ciento de utilización y por ende donde la tasa de fallos se presenta con mayor valor. La función principal de un torno es suministrar un medio para hacer girar una pieza contra una herramienta de corte y, de esta manera, arrancar metal. Todos los tornos, sin importar su diseño o tamaño, son básicamente iguales y realizan tres funciones que consisten en proporcionar:

- un soporte para los accesorios del torno o la pieza,
- una manera de hacer girar la pieza,
- un medio para sostener y mover la herramienta de corte.

Para el análisis de las funciones en los pasos posteriores es necesario conocer los parámetros tecnológicos del torneado, que son:

- Velocidad de corte óptima a que debe realizarse el torneado
- Avance óptimo del mecanizado
- Profundidad de pasada
- Velocidad de giro (RPM) del cabezal
- Sistema de cambio de herramientas.

Paso 4. Análisis de valor

Este paso se dirige a evaluar la eficacia de las funciones del activo, lo que permite examinar la efectividad de las mismas antes de trazar estrategias para su preservación, bajo el principio de que lo importante es lograr el cumplimiento de los objetivos de Producción, más que la preservación de las propias funciones de los activos fijos. Para esto se considera suficiente aplicar las fases informativas, análisis y evaluación de la metodología Análisis de Valor.

A partir de este análisis los expertos concluyeron que todas las funciones tienen un impacto significativo sobre las decisiones de la GP. Se concluyó que todas son necesarias y se encuentran debidamente diseñadas.

Paso 5. Eliminar o rediseñar funciones

Este paso resulta necesario en caso de que se identifiquen funciones innecesarias o que no estén debidamente diseñadas. Debe obtenerse la máxima colaboración de tecnólogos y del personal de mantenimiento, puesto que los cambios propuestos en los estándares de funcionamiento pueden conducir a la adopción del mantenimiento mejorativo o al rediseño de equipos.

A partir de lo planteado en el paso anterior se determina no aplicar este paso 5.

Paso 6. Obtener funciones que añaden valor

Al demostrarse que las funciones que se analizan son pertinentes, y se encuentran debidamente diseñadas, se concluye que todas ellas constituyen el grupo de funciones que añaden valor al proceso. El análisis de los fallos que se efectúa en pasos posteriores se realizará en base a estas funciones que añaden valor al subsistema de Producción.

Paso 7. Identificar los fallos funcionales que afectan las decisiones en Producción

Los fallos funcionales fueron determinados a partir de un análisis exhaustivo efectuado por el grupo de expertos. Los resultados fueron:

- Agarre inadecuado de la pieza
- Incapacidad de agarre
- Velocidad de giro incorrecta
- Prensado insuficiente de la herramienta
- Inadecuado movimiento de avance

Paso 8. Identificar los modos de fallos

Se trata de identificar cuál es la causa origen de cada modo de fallo. Esto asegura que no se malgasten tiempo y esfuerzo tratando los síntomas en lugar de las causas.

Los modos de fallo del activo fueron determinados de la misma forma que los fallos funcionales, siendo los mismos:

1. Desgaste en las muelas del plato que sujeta la pieza.
2. Filetes del platillo de rosca frontal partidos o en mal estado.
3. Desperfectos mecánicos o eléctricos en la caja de velocidad, en el delantal o en los carros.
4. Desperfectos en los tornillos de fijación y elementos o piezas interiores del portaherramientas.

5. Desgaste del husillo por inadecuada lubricación
6. Husillo obstruido por viruta

En la Tabla 2.2 se presentan los fallos funcionales respecto a cada una de las funciones del activo identificadas así como los modos de fallos correspondientes.

Tabla 2.2. Relación entre las funciones del activo, los fallos funcionales y los modos de fallos correspondientes

Función	Fallo funcional	Modo de fallo
soportar la pieza	Agarre inadecuado	1. Desgaste en las muelas del plato que sujeta la pieza.
	Incapacidad de agarre	2. Filetes del platillo de rosca frontal partidos o en mal estado.
girar la pieza	Velocidad de giro incorrecta	3. Desperfectos mecánicos o eléctricos en la caja de velocidad, en el delantal o en los carros.
sostener y mover la herramienta de corte	Prensado insuficiente de la herramienta	4. Desperfectos en los tornillos de fijación y elementos o piezas interiores del portaherramientas.
	Inadecuado movimiento de avance	5. Desgaste del husillo por inadecuada lubricación.
		6. Husillo obstruido por viruta.

Fuente: Elaboración propia.

Paso 9. Jerarquizar los modos de fallos

Para desarrollar este paso primero se determinará el impacto que presentan los modos de fallos sobre las decisiones de la GP; luego se determina la importancia relativa de cada una de estas decisiones y, por último, conjugando el impacto de los modos de fallo sobre las decisiones de la GP, y la importancia relativa de estas, se obtendrá la criticidad, y orden jerárquico, de cada modo de fallo.

Para determinar el impacto de los modos de fallo se propone utilizar el Modelado Lingüístico Difuso Ordinal, una técnica que ha dado buenos resultados para modelar la incertidumbre inherente a las valoraciones cualitativas de expertos. Para la evaluación se propone una escala de siete niveles. Estos niveles constituyen términos lingüísticos

correspondientes a números difusos con función de pertenencia de tipo triangular. La escala se muestra en la Figura 2.2.

Dónde:

n: nulo, mb: muy bajo, b: bajo, m: medio, a: alto, ma: muy alto, p: perfecto

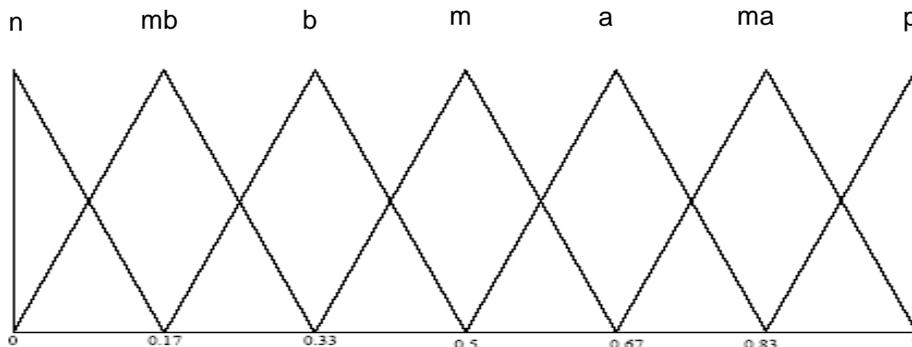


Figura 2.2. Conjunto de términos lingüísticos para la evaluación de indicadores. **Fuente:** Ruiz Hernández (2010).

La evaluación de los expertos relativa al impacto de los modos de fallo sobre Producción, según la escala planteada en la Figura 2.2, se muestra en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Evaluaciones, dadas por los expertos, referidas al impacto que tienen los modos de fallo sobre las decisiones tomadas en Producción

Modos de fallos	Costo	Calidad	Plazo de entrega
Modo de fallo 1	a	a	a
Modo de fallo 2	a	b	ma
Modo de fallo 3	m	a	m
Modo de fallo 4	b	a	m
Modo de fallo 5	m	m	a
Modo de fallo 6	m	b	a

Fuente: Elaboración propia.

El peso o importancia relativa de las decisiones consideradas puede ser obtenido mediante alguno de los métodos de obtención de pesos establecidos, como el de Ordenación Simple. Para conjugar el impacto de los modos de fallo y la importancia relativa de las decisiones de la GP se aplicará el método de suma ponderada, según la expresión 2.1.

$$Cr_i = \sum_{j=1}^n (a_{2ij} * w_j) \tag{2.1}$$

Donde:

Cr_i : criticidad del modo de fallo i

a_{2ij} : término a_2 correspondiente al número difuso triangular, vinculado al término lingüístico, que caracteriza la valoración del impacto del modo de fallo i sobre la decisión j , según los expertos, utilizando la escala definida en la Figura 2.2.

w_j : peso relativo de la decisión j

n : total de decisiones consideradas

A modo de ejemplo se presenta el cálculo de criticidad del modo de fallo 1 (Desgaste en las muelas del plato que sujeta la pieza).

$$Cr_1 = (0,67*0,5) + (0,67*0,33) + (0,67*0,17) = 0,67$$

El resultado de calcular la criticidad de todos los modos de fallos se muestra en la Tabla 2.4.

Para evaluar la calidad de la información emitida por los expertos se cuantificó el grado de consenso mediante el Coeficiente de Concordancia de Kendall (W). La información se procesó mediante el paquete computacional SPSS (versión 11.5). Los resultados se muestran en la Figura 2.3.

Rangos		Estadísticos de contraste		
	Rango promedio	N		7
CALIDAD	1,71	W de Kendall(a)		,796
COSTO	1,29	Chi-cuadrado		11,143
ENTREGAS	3,00	gl		2
		Sig. asintót.		,004
		Sig. Monte Carlo	Sig.	,001(b)
			Intervalo de confianza de 99%	
			Límite inferior	,000
			Límite superior	,002

a Coeficiente de concordancia de Kendall

b Basado en 10000 tablas muestrales con semilla de inicio 221623949.

Figura 2.3. Tablas de salidas del paquete computacional SPSS, referidas a los rangos y al Coeficiente de Concordancia de Kendall (W).

Dado que W fue superior a 0,7 se infiere un adecuado nivel de consenso. Para probar la significación del resultado se realizó una prueba de hipótesis basada en el cálculo del

estadístico S de Friedman. Se prefijó un nivel de significación (α) igual a 0,01. Se obtuvo un valor de S mayor que cero (el cual es el valor teórico correspondiente al nivel de significación fijado, el número de expertos y de variables en este caso), indicándose con esto la existencia de concordancia entre los expertos.

El orden jerárquico de los modos de fallo se obtendrá en base a cada valor de criticidad, ordenándolos descendientemente. Estos valores fueron obtenidos a partir de la expresión 2.1 y se muestran en la Tabla 2.5.

Tabla 2.4. Orden de importancia establecido por cada experto respecto a las decisiones

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	Peso
Costo	3	2	1	1	1	1	1	0.5
Calidad	1	1	2	2	3	2	2	0.33
Entrega	2	3	3	3	2	3	3	0.17

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.5. Orden jerárquico de los modos de fallos

Modos de fallos	Criticidad
Modo de fallo 1	0,67
Modo de fallo 2	0,58
Modo de fallo 3	0,55
Modo de fallo 5	0,52
Modo de fallo 6	0,472
Modo de fallo 4	0,471

Fuente: Elaboración propia.

Paso 10. Determinar las características de los fallos

Se tomará el criterio seguido por Borroto Pentón (2005), el que establece que los fallos pueden clasificarse atendiendo a elementos tales como: Aleatoriedad (a); Facilidad de detección (fd); Frecuencia (f) y Periodicidad (p). La evaluación de las variables se realizó a partir del criterio de expertos, utilizando la escala que se muestra en la Figura 2.2. Los resultados se muestran en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6. Evaluaciones de las variables establecidas para caracterizar los fallos

Modos de fallos	Clasificación			
	fd	f	p	a
Modo de fallo 1	m	a	b	a
Modo de fallo 2	b	b	b	a
Modo de fallo 3	ma	a	m	m
Modo de fallo 4	a	m	b	a
Modo de fallo 5	a	a	b	a
Modo de fallo 6	a	ma	m	a

Fuente: Elaboración propia.

Paso 11. Determinar el tipo de mantenimiento más adecuado a cada fallo

En este caso se consideró que el Sistema Alternativo de Mantenimiento quedará conformado por los tipos de mantenimiento preventivo y correctivo, ante la imposibilidad de aplicar otro tipo, como el predictivo, fundamentalmente por la ausencia de recursos materiales y humanos, unidos a la dificultad que presentan estos modos de fallo para ser detectados a priori.

Para la identificación del tipo de mantenimiento más adecuado a cada modo de fallo se utilizó el método utilizado por De la Paz Martínez (2002) -referenciado por Ruiz Hernández (2010)- el cual conjuga la importancia del activo dentro del proceso productivo y las características del fallo. Este método se resume en la Tabla 2.7.

El factor Clase caracteriza la importancia del modo de fallo dentro del proceso productivo, de manera que los de clase A son los de mayor importancia, debido al impacto que provocan en el orden económico, ambiental, y en la seguridad del personal; y los de clase C aquellos que influyen poco sobre las variables mencionadas. Según este método, para un modo de fallo que clasifique como clase A y sea periódico, y de fácil detección, debería analizarse primero la posibilidad de asignársele mantenimiento Predictivo, de no ser posible, el Preventivo y, por último, el Correctivo.

Se consideró que los conceptos de subconjuntos borrosos pueden ser aplicados para modelar la clasificación del modo de fallo, según la clase, y sus características, de acuerdo con el método planteado en la Tabla 2.7. En este sentido se considera poco coherente con la realidad plantear límites exactos entre clases, pues al analizar el impacto del fallo sobre el proceso productivo, el medio ambiente y las personas puede ocurrir que el mismo no sea, por ejemplo, 100% clase A, pudiendo estar incluido, a la vez, en las clases A y B, de

acuerdo con la intensidad de su impacto. Lo mismo puede plantearse respecto a las características del fallo pues, la aleatoriedad, facilidad de detección, periodicidad y frecuencia, constituyen términos difusos.

Los tipos de mantenimiento Predictivo, Preventivo y Correctivo se señalaron en la Tabla 2.7 como I, II y III respectivamente.

Tabla 2.7. Método utilizado para seleccionar el sistema de mantenimiento más adecuado a cada activo

Clase	Periódico de Fácil Detección	Periódico de Difícil Detección	Aleatorio Poco Frecuente	Aleatorio Muy Frecuente
“A”	I,II,III	II,I,III	I,III	I,III
“B”	I,II,III	II,III	III	I,III
“C”	II,III	III	III	III

Fuente: Ruiz Hernández (2010).

Estas consideraciones fueron incorporadas al método mostrado en la Tabla 2.7, modelando la pertenencia del modo de fallo a cada una de las 3 posibles clases señaladas, así como a sus características, según los conceptos de variable lingüística y teoría del control borroso, utilizando los exponentes 2 y 1/2 para los cuantificadores *muy* y *más o menos* respectivamente y el clásico operador de negación. De esta forma puede ocurrir que un mismo modo de fallo pertenezca, con distinta intensidad (grados de pertenencia), a más de un tipo de mantenimiento.

La pertenencia de un modo de fallo al subconjunto de los modos de fallos a los que se debería asignar mantenimiento preventivo, considerando los casos en que el mantenimiento preventivo aparece como primera opción según la Tabla 2.7, se define a partir de la condición siguiente: *En caso de que el modo de fallo pertenezca a la clase A y sea periódico y de difícil detección; o en caso de que pertenezca a la clase B y sea, igualmente, periódico y de difícil detección; o en caso de que pertenezca a la clase C y sea periódico y de fácil detección* (ver Tabla 2.7). Esto queda modelado, por medio de los conceptos de variable lingüística y teoría del control borroso, de la forma siguiente:

$$\mu_{II}^{Mf} = T^* [T [\mu_A^{Mf}, T [\mu_p^{Mf}, 1 - \mu_{fd}^{Mf}]], T [\mu_B^{Mf}, T [\mu_p^{Mf}, 1 - \mu_{fd}^{Mf}]], T [\mu_C^{Mf}, T [\mu_p^{Mf}, \mu_{fd}^{Mf}]]] \quad (2.2)$$

La pertenencia de los modos de fallos al mantenimiento Correctivo quedaría modelada según la expresión 2.3.

$$\mu_{III}^{Mf} = T^* [T [\mu_B^{Mf}, T [\mu_a^{Mf}, 1 - \mu_f^{Mf}]], T [\mu_C^{Mf}, T^* [T [\mu_p^{Mf}, 1 - \mu_{fd}^{Mf}], T [\mu_a^{Mf}, 1 - \mu_f^{Mf}], T [\mu_a^{Mf}, (\mu_f^{Mf})^2]]]] \quad (2.3)$$

Donde:

μ_{II}^{Mf} : Grado de pertenencia del modo de fallo Mf al sistema de mantenimiento II (mantenimiento preventivo)

μ_{III}^{Mf} : Grado de pertenencia del modo de fallo Mf al sistema de mantenimiento III (mantenimiento correctivo)

T^* : T-conorma triangular utilizada dentro de la teoría del control borroso para modelar el operador lógico *or*.

T : T-norma triangular utilizada dentro de la teoría del control borroso para modelar el operador lógico *and*.

μ_A^{Mf} : Grado de pertenencia del modo de fallo Mf a la clase A.

μ_B^{Mf} : Grado de pertenencia del modo de fallo Mf a la clase B.

μ_C^{Mf} : Grado de pertenencia del modo de fallo Mf a la clase C

μ_a^{Mf} : Grado de pertenencia del modo de fallo Mf al subconjunto difuso compuesto por los modos de fallos aleatorios.

μ_f^{Mf} : Grado de pertenencia del modo de fallo Mf al subconjunto difuso compuesto por los modos de fallos frecuentes.

μ_{fd}^{Mf} : Grado de pertenencia del modo de fallo Mf al subconjunto difuso de los modos de fallos fáciles de detectar.

μ_p^{Mf} : Grado de pertenencia del modo de fallo Mf al subconjunto difuso compuesto por los modos de fallos periódicos.

En este trabajo se utilizarán los operadores mínimo y máximo para modelar la T-norma y la T-conorma respectivamente.

La criticidad de cada modo de fallo puede considerarse un indicador del impacto que estos presentan sobre Producción, por tal razón el agrupamiento de estos en las clases consideradas se hará en base a este indicador. Las clases A, B y C, fueron modeladas como subconjuntos borrosos con función de pertenencia triangular, tal como se muestra en la Figura 2.4.

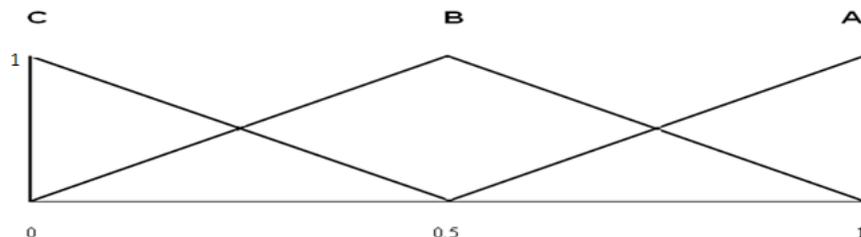


Figura 2.4. Representación de las clases a partir de subconjuntos borrosos con función de pertenencia triangular.

La medida en que un modo de fallo pertenece a una u otra clase se obtiene a partir de la expresión 2.4.

$$\mu_{C_{ij}(M_{fi})} = \begin{cases} 0, & \text{si } cr_i \leq a_{1j} \\ (cr_i - a_{1j}) / (a_{2j} - a_{1j}), & \text{si } a_{1j} \leq cr_i \leq a_{2j} \\ (a_{3j} - cr_i) / (a_{3j} - a_{2j}), & \text{si } a_{2j} \leq cr_i \leq a_{3j} \\ 0, & \text{si } cr_i \geq a_{3j} \end{cases} \quad (2.4)$$

Dónde:

$\mu_{C_{ij}(M_{fi})}$: nivel de pertenencia del modo de fallo i a la clase j

cr_i : criticidad del modo de fallo i

a_{1j} , a_{2j} , a_{3j} : términos inferior, medio y superior, respectivamente, del número difuso triangular que caracteriza la clase j.

En la Tabla 2.8 se muestran los niveles de pertenencia de los 6 modos de fallo a las 3 clases definidas. Se aplicaron las expresiones 2.2 y 2.3 para calcular los niveles de pertenencia de estos a los tipos de mantenimiento Preventivo y Correctivo.

Tabla 2.8. Pertenencia de cada modo de fallo a cada una de las clases

	Clase A	Clase B	Clase C
Modo de fallo 1	0,34	0,66	0
Modo de fallo 2	0,16	0,84	0
Modo de fallo 3	0,1	0,9	0
Modo de fallo 4	0	0,9422	0,0578
Modo de fallo 5	0,04	0,96	0
Modo de fallo 6	0	0,9456	0,0544

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se presentan los cálculos realizados para determinar el nivel de pertenencia a los tipos de mantenimiento Preventivo y Correctivo:

Modo de fallo 1:

$$\mu_{\pi}^{M1} = T^*[T [0,34, T [0,33, 1-0,5]], T [0,66, T [0,33, 0,5]], T [0, T[0,33, 0,5]]] = 0,34$$

$$\mu_{\text{III}}^{M1} = T^*[T [0,66, T [0,67, 1-0,67]], T [0, T^*[T [0,33, 1-0,5], T [0,67, 1-0,67], T [0,67, 0,4489]]]]$$

$$\mu_{\text{III}}^{M1} = 0,33$$

Modo de fallo 2:

$$\mu_{\pi}^{M2} = T^*[T [0,16, T [0,33, 1-0,33]], T [0,89, T [0,33, 0,67]], T [0, T[0,33, 0,33]]] = 0,33$$

$$\mu_{\text{III}}^{M2} = T^*[T [0,84, T [0,67, 1-0,33]], T [0, T^*[T [0,33, 1-0,33], T [0,67, 1-0,33], T [0,67, 0,1089]]]]$$

$$\mu_{\text{III}}^{M2} = 0,67$$

Modo de fallo 3:

$$\mu_{\pi}^{M3} = T^*[T [0,1, T [0,5, 1-0,83]], T [0,9, T [0,5, 0,17]], T [0, T[0,5, 0,83]]] = 0,17$$

$$\mu_{\text{III}}^{M3} = T^*[T [0,9, T [0,5, 1-0,83]], T [0, T^*[T [0,5, 1-0,83], T [0,5, 1-0,83], T [0,5, 0,4489]]]]$$

$$\mu_{\text{III}}^{M3} = 0,17$$

Modo de fallo 4:

$$\mu_{\pi}^{M4} = T^*[T [0, T [0,33, 1-0,67]], T [0,9422, T [0,33, 0,33]], T [0,0578, T[0,33, 0,67]]] = 0,33$$

$$\mu_{III}^{M4} = T^*[T [0,9422, T [0,67, 1-0,5]], T [0,0578, T^*[T [0,33, 1-0,67], T [0,67, 1-0,5], T [0,67, 0,25]]]]]$$

$$\mu_{III}^{M4} = 0,5$$

Modo de fallo 5:

$$\mu_{II}^{M5} = T^*[T [0,04, T [0,33, 1-0,67]], T [0,96, T [0,33, 0,33]], T [0, T[0,33, 0,67]]] = 0,33$$

$$\mu_{III}^{M5} = T^*[T [0,96, T [0,67, 1-0,67]], T [0, T^*[T [0,33, 1-0,67], T [0,67, 1-0,67], T [0,67, 0,1089]]]]]$$

$$\mu_{III}^{M5} = 0,33$$

Modo de fallo 6:

$$\mu_{II}^{M6} = T^*[T [0, T [0,5, 1-0,67]], T [0,9456, T [0,5, 0,33]], T [0,0544, T[0,5, 0,67]]] = 0,33$$

$$\mu_{III}^{M6} = T^*[T [0,9456, T [0,67, 1-0,83]], T [0,0544, T^*[T [0,5, 1-0,67], T [0,67, 1-0,83], T [0,67, 0,6889]]]]]$$

$$\mu_{III}^{M6} = 0,17$$

Los resultados se muestran en la Tabla 2.9.

Tabla 2.9. Pertenencia de los modos de fallo a los tipos de mantenimiento II y III

	μ_{II}^{Mf} (Preventivo)	μ_{III}^{Mf} (Correctivo)
Modo de fallo 1	0,34	0,33
Modo de fallo 2	0,33	0,67
Modo de fallo 3	0,17	0,17
Modo de fallo 4	0,33	0,5
Modo de fallo 5	0,33	0,33
Modo de fallo 6	0,33	0,17

Fuente: Elaboración propia.

Paso12. Determinar alternativas para la ejecución de las tareas preventivas

El desarrollo de este paso exige determinar el volumen de recursos necesarios para ejecutar las intervenciones preventivas, siendo necesario calcular previamente el tiempo entre estas intervenciones. A tal efecto puede seguirse una política de maximizar la disponibilidad u otra dirigida a garantizar una cuota mínima de fiabilidad. A partir de estos

critérios y considerando la distribución que sigue la variable tiempo entre fallos, se calcula el tiempo óptimo entre intervenciones de mantenimiento.

Calculando los grados de pertenencia normalizados que presenta cada modo de fallo respecto a los tipos de mantenimiento preventivo (μ_{II}^{MfN}) y correctivo (μ_{III}^{MfN}), (ver Tabla 2.10) se podrían considerar las alternativas de:

1. Ofrecer mantenimiento preventivo durante el μ_{II}^{MfN} del horizonte de planificación, obteniendo el tiempo entre intervenciones preventivas bajo la política de maximizar la disponibilidad, e implementar correctivo el μ_{III}^{MfN} restante del horizonte de planificación.
2. Implementar el sistema de mantenimiento preventivo durante todo el período del horizonte de planificación calculando el tiempo entre intervenciones preventivas de manera que se garantice un μ_{II}^{MfN} de fiabilidad.

Tabla 2.10. Grados de pertenencia normalizados que presenta cada modo de fallo

	μ_{II}^{MfN} (%)	μ_{III}^{MfN} (%)
Modo de fallo 1	51	49
Modo de fallo 2	33	67
Modo de fallo 3	50	50
Modo de fallo 4	40	60
Modo de fallo 5	50	50
Modo de fallo 6	66	34

Fuente: Elaboración propia.

Para calcular el tiempo entre intervenciones preventivas bajo la política de maximizar la disponibilidad o garantizar un porcentaje determinado de fiabilidad, se necesitan los tiempos hasta el fallo de cada modo de fallo, pero como en este caso no fue posible encontrar esta información en la empresa, se decide entonces ofrecer mantenimiento siguiendo la primera alternativa y distribuir las intervenciones preventivas de cada modo de fallo en el período correspondiente, dividiendo el plan aprobado en estos momentos para el equipo analizado (torno paralelo):

G - R₁ - P₁ - R₂ - P₂ - R₃ - M₁ - R₄ - P₃ - R₅ - P₄ - R₆ - G

La empresa Planta Mecánica se dedica, dentro de otras cosas, a la reparación de sus equipos de producción y fabricación de piezas de repuesto, por lo que cuenta con los recursos necesarios, ya sean materiales o humanos, para cumplir con las tareas preventivas en el tiempo propuesto para cada modo de fallo, dicho esto se da fin a este procedimiento.

2.3 Conclusiones parciales

1. El procedimiento se sustenta en la idea de que lo más importante es el cumplimiento de los objetivos de Producción, considerando, paralelamente, que estos deben ser formulados teniendo en cuenta la capacidad de Mantenimiento. De esta forma se logra un análisis bidireccional del tema correspondiente a la integración Producción – Mantenimiento, en el nivel táctico.
2. Los resultados fundamentales que aporta el procedimiento consisten en la identificación de las funciones del activo que aportan valor al sistema productivo, indicando si es conveniente realizar modificaciones en algunas de estas para elevar la eficacia; el establecimiento del sistema de mantenimiento más adecuado a cada modo de fallo; la necesidad de efectuar cambios dentro de la planificación táctica de la producción en caso de que posibles incumplimientos del plan de Mantenimiento presenten un impacto significativo sobre los objetivos de Producción.
3. La aplicación de elementos de la teoría del Control Borroso a un método existente para asignar sistemas de mantenimiento a los activos proporcionó mayor flexibilidad, debido a que permitió asignar más de un tipo de mantenimiento, en diferentes momentos dentro del horizonte de planificación, a un mismo modo de fallo, lográndose con ello mayor eficiencia en la operación del sistema Producción – Mantenimiento.

Capítulo 3



3.1 Introducción

Si se toma en consideración lo analizado en el marco teórico - referencial de la investigación y las conclusiones expuestas, queda evidenciada la necesidad de aportar soluciones para contribuir a la planeación integrada Producción – Mantenimiento, a nivel operativo. En tal sentido se propone un procedimiento general, que permite la programación integrada de órdenes de producción y tareas de mantenimiento preventivo.

3.2 Descripción del procedimiento para la programación integrada entre órdenes de producción y mantenimiento preventivo

Este procedimiento incluye un modelo de programación lineal, basado en la modelización del problema del Agente Viajero, donde se toma como medida de distancia el tiempo de preparación del equipamiento. El objetivo es obtener una secuencia de productos e intervenciones preventivas que logre reducir el tiempo improductivo, evitar los retrasos en las entregas y cumplir el programa de mantenimiento.

El método heurístico que se propone abarca cuatro pasos generales los cuales se describen a continuación:

Paso 1. Búsqueda de una solución inicial

Se refiere a la búsqueda de una secuencia inicial para el procesamiento de los trabajos (órdenes de productos), de manera independiente, en cada una de las máquinas. Esta secuencia inicial estará dirigida a la minimización del tiempo total de preparación (cambio de utillaje y ajuste al pasar del procesamiento de un trabajo a otro en la máquina), y la minimización de los retrasos en las entregas. Se plantea el algoritmo siguiente:

Para cada máquina $m_i \in M$ hacer:

1.1 $N_{Si} = 0$

1.2 Implementar el modelo matemático siguiente:

Parámetros del modelo:

n: número de productos (órdenes de producción) a ser secuenciados.

i, j, k: índices utilizados para hacer referencia a los trabajos

m : índice utilizado para hacer referencia a la intervención de mantenimiento preventivo.

l : total de órdenes a secuenciar en el equipo, incluyendo producción e intervención de mantenimiento preventivo.

t_{ij} : tiempo de preparación de la máquina para, luego de terminar el trabajo i , iniciar la elaboración del trabajo j .

t_{km} : tiempo de preparación de la máquina para, luego de terminar la elaboración del trabajo k comenzar la ejecución de la intervención de mantenimiento preventivo m .

t_{0j} : tiempo de procesamiento del trabajo j

Pr_i : prioridad del trabajo i

Pr_j : prioridad del trabajo j

Pr_k : prioridad del trabajo k

TMP: tiempo entre intervenciones de mantenimiento preventivo

Sn : componente n -ésimo del subcircuito o circuito analizado

TS: longitud de de un subcircuito o circuito.

Variables:

x_{ij} : variable binaria que indica si el trabajo j es procesado o no luego del trabajo i .

x_{km} : variable binaria que indica si la intervención de mantenimiento preventivo m será ubicada en la secuencia luego del trabajo k .

x_{0k} : variable binaria que indica si el trabajo k será el primero en la secuencia.

H : variable de holgura.

Función objetivo:

1. Para reducir el tiempo total de preparación en el equipo

$$\text{mín} \left(\sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^l (t_{ij} * x_{ij}) + \sum_{k=1}^n (100 * t_{km} * x_{km}) + H \right) \quad i \neq j; \quad l = 1, \dots, n, m$$

Se colocó la constante 100 para garantizar que el modelo secuencie la mayor cantidad de trabajos hasta que llegue el momento de la intervención preventiva

2. Para reducir los atrasos en las fechas de entrega, en base a las prioridades establecidas para los productos:

$$\text{máx} \sum_{k=1}^n 10 p_{rk} * x_{0k} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n ((p_{ri} + p_{rj}) / 2) * x_{ji} \quad k = 1, \dots, n$$

Se colocó la constante 10 para garantizar que en la secuencia obtenida, la variable x_{0i} (donde i puede tomar un valor en el intervalo $\{1, \dots, n\}$) alcance valor 1 antes que otra variable x_{ij}

Restricciones:

1. Para garantizar el cumplimiento del programa de mantenimiento:

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^l (t_{0j} * x_{ij}) + H \leq TMP \quad i \neq j$$

2. Para garantizar que a un nodo solo llegue un arco. Esto es: un trabajo solo puede ser antecedido por solo un trabajo:

$$\sum_{j=0}^n x_{ji} \leq 1 \quad \forall i, \quad i=1, \dots, n, m \quad i \neq j$$

3. Para garantizar que de un nodo solo salga un arco (o sea: un trabajo solo puede ser precedido por solo un trabajo).

$$\sum_{j=1}^M x_{ij} \leq 1 \quad \forall i, \quad i=0, \dots, n \quad i \neq j$$

4. Para evitar subcircuitos y circuito:

Para todos los subcircuitos de longitud TS, $TS = \{2, \dots, n\}$ y circuito

$$x_{ij} + x_{jk} + \dots + x_{tsi} \leq TS - 1 \quad \forall i = \{1 \dots Sn-2\}, j = \{i+1, \dots, Sn-1\}, k = \{j+1, \dots, Sn\}$$

5. Para garantizar una secuencia lógica

$$x_{ik} - \sum_{j=1}^M x_{kj} \leq 0 \quad \forall i = \{0, \dots, n\}; k = \{1, \dots, n\} \quad i \neq k; k \neq j; i \neq j$$

$$\sum_{i=1}^n x_{0i} = 1$$

Si N_{si} es menor que el número de productos N_{ei} a ser elaborados en la máquina m_i repetir el paso 1.2 con los restantes productos que aún quedan por secuenciar, si no ir al paso 2.

Paso 2. Obtener la importancia relativa de cada máquina

La importancia relativa (peso) de cada máquina puede ser cuantificada a partir de diversos criterios. Uno de ellos, y el adoptado en este trabajo, es el nivel de utilización, con lo que se busca que en la secuencia final que se obtengan se favorezcan las máquinas más cargadas. Para el cálculo del peso puede aplicarse cualquiera de los métodos, cualitativos o cuantitativos existentes.

Paso 3. Obtención de una medida de distancia corregida para cada producto en cada máquina

Con esta nueva medida se intenta corregir la medida de distancia inicial adoptada en el paso 1 de esta heurística. Para su obtención se conformó un coeficiente al que se le denominó factor de orden del producto j respecto a la máquina i (FO_{ij}) el cual, a su vez, integra tres factores:

- FPE_j : Factor de prioridad del producto j en base a su fecha de entrega. Este factor se calcula una sola vez para cada producto, siendo indiferente respecto a las máquinas.
- FPT_{ij} : Factor de prioridad tecnológica del producto j respecto a la máquina i . Constituye una medida de la proximidad que existe entre la posición que ocupa el producto j , según la secuencia inicial, respecto a la máquina i que se está secuenciando y la posición ponderada del producto considerando todas las máquinas en base también a la secuencia inicial en estas. Este factor se calcula una sola vez, para cada producto respecto a cada máquina, utilizando la información aportada por la secuencia inicial de cada máquina.
- FI_{ij} : Factor de inicio del producto j respecto a la máquina i . Es una medida de la disponibilidad que presenta un producto j , en un momento determinado, para iniciar su elaboración en una máquina i luego de haber sido procesado en la máquina $i-1$ de acuerdo con su secuencia tecnológica. El factor de inicio debe ser calculado para cada máquina a medida que esta va a ser secuenciada. Su rango es desde $1/n$ hasta $(2n-1)/n$.

Las expresiones propuestas para la obtención de estos factores y con ellos la distancia corregida son las siguientes:

$$DC_{ij} = FO_{r_{ij}} * TP_{ij} \quad \forall i = 1 \dots m \quad y \quad \forall j = 1 \dots n \quad (3.1)$$

$$FOr_{ij} = FPE_j * FPT_j * FI_j \quad \forall i = 1 \dots m \text{ y } \forall j = 1 \dots n \quad (3.2)$$

Si se asigna $Pr_j = n$ al producto de mayor prioridad

$$FPE_j = 1 + \frac{(n - Pr_j)}{n} \quad \forall i = 1 \dots m \text{ y } \forall j = 1 \dots n \quad (3.3)$$

Si se asigna $Pr_j = 1$ al producto de mayor prioridad

$$FPE_j = 1 + \frac{(Pr_j - 1)}{n} \quad \forall i = 1 \dots m \text{ y } \forall j = 1 \dots n \quad (3.4)$$

$$FPT_{ij} = 1 + \frac{OSIMSM - \left(\sum_{i=1}^m [PPSI_{ij} * PM_i] \right)}{n+1} \quad \forall i = 1 \dots m \text{ y } \forall j = 1 \dots n \quad (3.5)$$

$$FI_{ij} = 1 + \frac{OPMAS - OSIMSM}{n+1} \quad \forall i = 2 \dots m \text{ y } \forall j = 1 \dots n \quad \text{si } i=1 \quad FI_j = 1 \quad \forall j = 1 \dots n \quad (3.6)$$

Dónde:

Dc_{ij} : Distancia corregida para el producto j al realizar la secuenciación final respecto a la máquina i.

FOr_{ij} : Factor de orden del producto j respecto a la máquina i.

TP_{ij} : Tiempo de preparación en el centro de trabajo considerado al pasar del producto i al j según la secuencia inicial de fabricación.

$PPSI_{ij}$: Posición del producto j según la secuencia inicial de la máquina i.

PM_i : Peso de la máquina i.

n : Número de productos o ítems a fabricar.

m : Número de centros de trabajo

FPT_{ij} : Factor de prioridad tecnológica del producto j respecto a la máquina i

FI_{ij} : Factor de inicio del producto j respecto al centro o máquina i.

FPE_j : Factor de prioridad del producto j obtenida a partir de la fecha de entrega planeada para el mismo.

Pr_j : Orden de prioridad otorgado al producto j de acuerdo a la fecha de entrega establecida para el mismo. ($Pr_j = \{1, \dots, n\}$)

OPMAS: Orden en que sería procesado el producto en la máquina anteriormente secuenciada a la que se está secuenciando en este momento, según la secuencia inicial.

OSIMSM: Orden del producto en la secuencia inicial para la máquina que se está secuenciando en este momento.

Paso 4. Obtención de la solución final

Para cada máquina $m_i \in M$ hacer:

4.1 $N_{Si} = 0$

4.2 Implementar el modelo matemático planteado en el paso 1.2, pero esta vez tomando como medida las distancias corregidas (Dc_{ij}).

Si N_{Si} es menor que el número de productos N_{ei} a ser elaborados en la máquina m_i repetir el paso 4.2 con los restantes productos que aún quedan por secuenciar, si no tomar la solución obtenida para cada máquina como secuencia final integrada de órdenes de producción y mantenimiento preventivo.

3.3 Aplicación del procedimiento general en la organización objeto de estudio

El ambiente productivo que se analiza se caracteriza:

- Por un conjunto M de cinco máquinas:
 - M_1 . Torno paralelo,
 - M_2 . Taladro vertical,
 - M_3 . Mortajadora,
 - M_4 . Fresadora horizontal,
 - M_5 . Mandrinadora.
- Por un conjunto N de nueve tipos de productos a elaborar:
 - N_1 . Acoplamiento de bombas,
 - N_2 . Pasador cilíndrico,
 - N_3 . Eslabón hembra,
 - N_4 . Árbol rueda $\varnothing 31$,
 - N_5 . Coupling,
 - N_6 . Impelente $\varnothing 390$,
 - N_7 . Buje del árbol,
 - N_8 . Pasador corto,
 - N_9 . Eslabón macho.

La elaboración de cada orden de producto requiere del procesamiento en todas o algunas de las máquinas existentes, en el orden especificado por la tecnología. Los órdenes de cada tipo de producto tienen una fecha de entrega determinada y en base a esta la empresa determina su prioridad. Se conoce el tiempo de procesamiento de cada orden de producto y los tiempos de preparación de las máquinas al pasar de la fabricación de una orden a la siguiente. El tiempo entre intervenciones preventivas para cada máquina es conocido, de acuerdo al programa de mantenimiento fijado.

En correspondencia con la estrategia de producción planteada en la empresa, los objetivos de la planificación en este nivel consisten en lograr el óptimo aprovechamiento de las capacidades instaladas, así como el cumplimiento de las fechas de entregas. Estas dos decisiones pueden ser modeladas bajo los criterios de minimizar el tiempo total de preparación de las máquinas para procesar los diferentes productos y minimizar los retrasos en la entrega, respectivamente.

De esta forma el problema que se plantea consiste en establecer la secuencia de órdenes de producción (pedidos de cada tipo de producto) e intervenciones de mantenimiento preventivo, sobre cada máquina, que minimice el tiempo total de preparación de estas, garantice el cumplimiento de las fechas de entrega de los productos y permita el cumplimiento del ciclo de mantenimiento preventivo fijado en cada máquina.

No se debe comenzar la fabricación de un pedido de un producto si su tiempo de ejecución excede el tiempo que resta para iniciar la intervención de mantenimiento preventivo. No se admiten interrupciones en la producción una vez se haya iniciado el procesamiento de un pedido, a no ser debido a la ocurrencia de averías.

A continuación se presentan los resultados de su aplicación en el objeto de estudio práctico seleccionado.

Paso 1. Búsqueda de una solución inicial

En la Tabla 3.1 se muestra la secuencia tecnológica (orden de ejecución de las diferentes operaciones) de cada producto y su prioridad. La Tabla 3.2 contiene el tiempo de procesamiento de cada producto en cada máquina, mientras que en las Tablas 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 y 3.7 se muestra el tiempo de preparación de cada máquina luego de concluir la fabricación de un producto (orden de producción) y comenzar el siguiente, así como entre órdenes y la intervención preventiva.

Tabla 3.1. Secuencia tecnológica de los diferentes productos y su prioridad

Máquinas \ Productos	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	Prioridad
N ₁	1		2		3	6
N ₂	1	2				7
N ₃				1	2	9
N ₄	2				1	8
N ₅	1		2			2
N ₆	1		2			3
N ₇	1			2		4
N ₈	1	2				5
N ₉				1	2	1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.2. Tiempo de procesamiento de las órdenes de los productos (h/pedido)

Productos \ Máquinas	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	N ₆	N ₇	N ₈	N ₉
M ₁	12	0,6	-	14,2	50	45	98,2	20	-
M ₂	-	0,6	-	-	-	-	-	20	-
M ₃	4,8	-	-	-	7,5	2,5	-	-	-
M ₄	-	-	4,5	-	-	-	10,8	-	12,8
M ₅	12	-	15,2	3	-	-	-	-	6

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.3. Tiempo de preparación (en horas) entre los diferentes productos y entre estos y la intervención de mantenimiento preventivo (IP) en M₁

	N ₁	N ₂	N ₄	N ₅	N ₆	N ₇	N ₈	IP
N ₁	-	0,225	0,233	0,241	0,241	0,241	0,225	0,095
N ₂	0,208	-	0,216	0,225	0,225	0,225	0,208	0,078
N ₄	0,241	0,241	-	0,258	0,258	0,258	0,241	0,111
N ₅	0,258	0,258	0,266	-	0,275	0,275	0,258	0,128
N ₆	0,258	0,258	0,266	0,275	-	0,275	0,258	0,128
N ₇	0,258	0,258	0,266	0,275	0,275	-	0,258	0,128
N ₈	0,208	0,208	0,216	0,225	0,225	0,225	-	0,078
I	0,145	0,145	0,15	0,161	0,161	0,161	0,145	-

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.4. Tiempo de preparación (en horas) entre los diferentes productos y entre estos y la intervención de mantenimiento preventivo (IP) en M_2

	N_2	N_8	IP
N_2	-	0,216	0,075
N_8	0,216	-	0,075
IP	0,158	0,158	-

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.5. Tiempo de preparación (en horas) entre los diferentes productos y entre estos y la intervención de mantenimiento preventivo (IP) en M_3

	N_1	N_5	N_6	IP
N_1	-	0,228	0,225	0,083
N_5	0,225	-	0,226	0,091
N_6	0,225	0,228	-	0,083
I	0,161	0,166	0,161	-

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.6. Tiempo de preparación (en horas) entre los diferentes productos y entre estos y la intervención de mantenimiento preventivo (IP) en M_4

	N_3	N_7	N_9	IP
N_3	-	0,288	0,305	0,11
N_7	0,283	-	0,288	0,093
N_9	0,333	0,321	-	0,143
I	0,2	0,195	0,211	-

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.7. Tiempo de preparación (en horas) entre los diferentes productos y entre estos y la intervención de mantenimiento preventivo (IP) en M_5

	N_1	N_3	N_4	N_9	IP
N_1	-	0,583	0,566	0,571	0,175
N_3	0,6	-	0,593	0,606	0,208
N_4	0,55	0,566	-	0,556	0,158
N_9	0,583	0,6	0,583	-	0,191
I	0,406	0,423	0,4	0,416	-

Fuente: Elaboración propia.

Las intervenciones preventivas en cada una de las cinco máquinas consideradas deben realizarse cada 3 000, 1 535, 1 865, 3 000 y 985 horas de funcionamiento respectivamente. Pero en este momento a cada máquina le faltan 150, 100, 10, 15 y 20 horas respectivamente para recibir una intervención preventiva.

Con la utilización de la herramienta de programación lineal WinQSB, en la cual se corrieron los datos, se obtuvo la secuencia inicial de órdenes de producción e intervención preventiva (IP) para cada una de las 5 máquinas objetos de estudio, la secuencia se muestra en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8. Secuencia inicial de productos e intervención preventiva en cada una de las 5 máquinas

Productos e IP Máquinas	Productos e IP									
	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	N ₆	N ₇	N ₈	N ₉	IP
M ₁	7	3	-	6	1	5	2	8	-	4
M ₂	-	2	-	-	-	-	-	1	-	3
M ₃	4	-	-	-	1	2	-	-	-	3
M ₄	-	-	3	-	-	-	1	-	4	2
M ₅	4	-	1	2	-	-	-	-	5	3

Fuente: Elaboración propia.

Una vez que han sido secuenciados todos los productos en cada máquina se implementará el paso 2 de la heurística.

Paso 2. Obtener la importancia relativa de cada máquina

La importancia relativa (peso) de cada máquina se determinó en función de su carga de trabajo (Q) expresada en horas, de manera que obtienen mayor peso las máquinas más cargadas. Los resultados se muestran en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9. Importancia relativa de cada máquina

Máquinas	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅
Q [h]	427,1	20,6	15,3	28,1	36,6
Peso	0,33	0,13	0,07	0,2	0,27

Fuente: Elaboración propia.

Paso 3. Obtención de la distancia corregida para cada producto en cada máquina.

En la Tabla 3.10 se presenta el factor de prioridad según la fecha de entrega (FPE_j) para cada producto calculado con la expresión 3.4.

Tabla 3.10. Factor de prioridad según la fecha de entrega

Productos	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	N ₆	N ₇	N ₈	N ₉
FPE	1,55	1,66	1,88	1,77	1,11	1,22	1,33	1,44	1

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3.11 se muestra el factor de prioridad tecnológica (FPT_{ij}) de cada producto j respecto a la máquina i, calculado con la utilización de la expresión 3.5.

Tabla 3.11. Factor de prioridad tecnológica de cada producto en cada máquina

Productos \ Máquinas	Máquinas				
	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅
N ₁	1,15		0,85		0,85
N ₂	1,03	0,93			
N ₃				1,13	0,93
N ₄	1,13				0,74
N ₅	0,96		0,96		
N ₆	1,13		0,83		
N ₇	1,03			0,93	
N ₈	1,27	0,57			
N ₉				0,93	1,03

Fuente: Elaboración propia .

En la Tabla 3.12 se muestra el factor de inicio (FI_{ij}) de cada producto j respecto a la máquina i, el resultado se obtuvo con la expresión 3.6.

Tabla 3.12. Factor de inicio de cada producto en cada máquina

Máquinas \ Productos	Productos								
	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	N ₆	N ₇	N ₈	N ₉
M ₁	1	1		0,6	1	1	1	1	
M ₂		1,1						1,7	
M ₃	1,3				1	1,3			
M ₄			1				1,1		1
M ₅	1		1,2	1					0,9

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3.13 se muestra el factor de orden (FO_{ij}) de cada producto j respecto a cada máquina i calculado a partir de la expresión 3.2.

Tabla 3.13. Factor de orden de cada producto en cada máquina

Máquinas Productos	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅
N ₁	1,78		1,71		1,31
N ₂	1,70	1,69			
N ₃				2,12	2,09
N ₄	1,2				1,8
N ₅	1,06		1,06		
N ₆	1,37		1,31		
N ₇	1,36			1,36	
N ₈	0,93	1,39			
N ₉				0,93	0,92

Fuente: Elaboración propia.

En las Tablas 3.14, 3.15, 3.16, 3.17 y 3.18 se muestran las medidas de distancias corregidas representativas de los tiempos de preparación, en horas, en cada máquina, calculadas con la expresión 3.1.

Tabla 3.14. Tiempos de preparación e inicio corregidos en M₁

	N ₁	N ₂	N ₄	N ₅	N ₆	N ₇	N ₈	IP
N ₁		0,3825	0,2796	0,2554	0,3301	0,3277	0,4095	0,095
N ₂	0,3702	-	0,2592	0,2385	0,3082	0,306	0,3785	0,078
N ₄	0,4289	0,4097	-	0,2734	0,3534	0,3508	0,4386	0,111
N ₅	0,4592	0,4386	0,3192	-	0,3767	0,374	0,4695	0,128
N ₆	0,4592	0,4386	0,3192	0,2915	-	0,374	0,4695	0,128
N ₇	0,4592	0,4386	0,3192	0,2915	0,3767	-	0,4695	0,128
N ₈	0,3702	0,3536	0,2592	0,2385	0,3082	0,306	-	0,078
IP	0,2581	0,2465	0,18	0,1706	0,2205	0,2189	0,2639	-

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.15. Tiempos de preparación e inicio corregidos en M₂

	N ₂	N ₈	IP
N ₂	-	0,3002	0,075
N ₈	0,3650	-	0,075
IP	0,2670	0,2196	-

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.16. Tiempos de preparación e inicio corregidos en M_3

	N_1	N_5	N_6	IP
N_1	-	0,2416	0,2947	0,083
N_5	0,3847	-	0,2960	0,091
N_6	0,3847	0,2416	-	0,083
IP	0,2753	0,1759	0,2109	-

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.17. Tiempos de preparación e inicio corregidos en M_4

	N_3	N_7	N_9	IP
N_3	-	0,3916	0,2836	0,11
N_7	0,5999	-	0,2678	0,093
N_9	0,7059	0,4365	-	0,143
IP	0,424	0,2652	0,1962	-

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.18. Tiempos de preparación e inicio corregidos en M_5

	N_1	N_3	N_4	N_9	IP
N_1	-	1,2184	1,0188	0,5253	0,175
N_3	0,786	-	1,0674	0,5575	0,208
N_4	0,7205	1,1829	-	0,5115	0,158
N_9	0,7637	1,254	1,0494	-	0,191
IP	0,5318	0,8840	0,72	0,3827	-

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3.19 se muestra la secuencia final de productos e intervención preventiva para cada máquina, se obtuvo con la ayuda de la herramienta de programación lineal WinQSB, pero esta vez con las distancias corregidas.

En las Tablas 3.20 y 3.21 se muestra el instante en que cada producto comienza a ser procesado en cada una de las máquinas y el tiempo improductivo correspondiente en cada una de estas, obtenido a partir de la secuencia que sigue la empresa y la secuencia obtenida por el método heurístico propuesto.

Tabla 3.19. Secuencia final de productos e intervención preventiva en cada una de las 5 máquinas

Productos e IP Máquinas	Productos e IP									
	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	N ₆	N ₇	N ₈	N ₉	IP
M ₁	7	3	-	6	2	5	1	8	-	4
M ₂	-	1	-	-	-	-	-	2	-	3
M ₃	4	-	-	-	1	2	-	-	-	3
M ₄	-	-	3	-	-	-	1	-	4	2
M ₅	2	-	4	5	-	-	-	-	1	3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.20. Hora de comienzo y terminación del procesamiento de cada producto en cada máquina según la secuencia que sigue la empresa actualmente, y tiempo improductivo (ti) del equipamiento

Productos Máquinas	Máquinas				
	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅
N ₁	401,4/413,47		413,6/418,9		419,5/431,5
N ₂	413,7/414,3	421,6/422,2			
N ₃				205,41/209	435,4/451,2
N ₄	414,51/428,7				432,1/435,4
N ₅	0,16/50,16		50,32/57,82		
N ₆	50,43/95,43		95,65/98,15		
N ₇	95,71/194,01			194,33/205	
N ₈	194,26/401,2	401,4/421,1			
N ₉				0,21/13,01	13,42/19,42
IP	428,82/432,8	422,3/426,3	419,07/423	210/214	451,4/455,2
ti	1,729	401,70	403,77	181,92	414,9

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.21. Hora de comienzo y terminación del procesamiento de cada producto en cada máquina según la secuencia final, y tiempo improductivo (ti) del equipamiento

Máquinas Productos	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅
N ₁	213,54/215,54		215,89/227		227,5/239,5
N ₂	138,99/149,59	149,7/170,3			
N ₃				113,7/118,2	244,1/259,4
N ₄	189,09/213,29				260,3/263
N ₅	98,73/138,73		139,7/155,8		
N ₆	150,83/188,83		189/191,55		
N ₇	0,161/98,46			98,65/109,4	
N ₈	225,76/432,76	432,9/452,9			
N ₉				118,5/131,3	131,7/137,7
IP	149,67/150,67	453/457,05	191,6/195,6	109,5/113,5	239,7/243,7
ti	1,6	401,44	193,88	99,24	216,83

Fuente: Elaboración propia.

La solución que da la empresa reporta un tiempo improductivo total de 1 404,01 horas, considerando que el sistema productivo comienza en el instante cero el procesamiento de los productos que se analizan y no existen otros productos en el sistema. La heurística propuesta logra una reducción de 491,85 horas respecto a la solución que da la empresa, correspondiente a la generación de óptimos locales en cada una de las máquinas.

La expresión 3.7 permite cuantificar el tiempo total de interrupción ponderado, sobre la base de que uno de los objetivos definidos es lograr el máximo aprovechamiento del equipamiento, otorgándosele mayor prioridad a las máquinas más cargadas.

$$T_{ip} = \sum_{i=1}^m t_i P_i \tag{3.7}$$

Donde:

T_{ip}: Tiempo improductivo total ponderado.

t_i: Tiempo improductivo de la máquina i.

p_i: Peso o nivel de importancia relativa de la máquina i de acuerdo con su nivel de utilización (Tabla 3.9).

Sustituyendo en la expresión 3.7, se presentan en la Tabla 3.22 los valores que aportan tanto la solución que da la empresa como la obtenida a partir del método heurístico propuesto.

Tabla 3.22. Tiempo improductivo total ponderado de la solución de la empresa y la obtenida a partir del método heurístico propuesto

Solución	Empresa	Heurística
T _{ip} [h]	229,45	144,67

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados que se muestran en las Tablas 3.20, 3.21 y 3.22 fundamentan la eficiencia del método propuesto respecto al utilizado actualmente en la empresa para la programación de las actividades.

3.4 Conclusiones parciales

1. Se logró diseñar un procedimiento que contribuye a la integración entre la Gestión de Producción y la Gestión de Mantenimiento, a nivel operativo, dirigido específicamente a la programación conjunta de actividades de producción y tareas de mantenimiento preventivo en un ambiente caracterizado por múltiples máquinas y un taller de tipo job shop.
2. El diseño del procedimiento incluye un modelo matemático basado en el esquema general del modelo existente para el problema del Agente de Comercio, adicionándosele determinadas restricciones para considerar el tiempo entre intervenciones preventivas sobre el equipo, además de evitar circuitos, lo cual constituiría una solución incoherente con el problema que se trata.
3. La aplicación del método heurístico propuesto permitió obtener una secuencia de productos e intervenciones de mantenimiento preventivo que contribuye al cumplimiento de las fechas de entregas de los diferentes productos, reduce en 491,85 horas el tiempo improductivo del equipamiento objeto de estudio y, todo esto, sin violar el plan de mantenimiento previamente fijado.

Conclusiones





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

1. El estudio bibliográfico realizado para la construcción del marco teórico - referencial de la investigación confirma que existen enfoques metodológicos para contribuir al logro de una planeación integrada entre los subsistemas de Producción y Mantenimiento, tanto a nivel táctico como operativo, sin embargo se necesita de una adecuada selección y aplicación creativa de estos para dar soluciones al problema científico formulado para la presente investigación.
2. Entre las alternativas para contribuir al logro de la planeación integrada entre la GP y GM a nivel táctico se decidió seleccionar la propuesta por Díaz Cazañas y Ruiz Hernández (2010), pues logra un análisis bidireccional del tema correspondiente a la integración Producción – Mantenimiento, enfocando, por una parte, a la gestión del Mantenimiento hacia el logro de los objetivos de Producción y, por otra, cuidando que las decisiones en Producción sean coherentes con las exigencias y capacidad de Mantenimiento.
3. A partir del análisis de enfoques existentes para la programación conjunta de órdenes de producción y tareas de mantenimiento preventivo se propuso un método heurístico para realizar esta tarea en un ambiente multimáquina y talleres con configuración productiva de tipo job shop. Este permite minimizar el tiempo total de preparación del equipamiento y, con él, el tiempo improductivo, además de contribuir al cumplimiento de las fechas de entrega de los diferentes productos, todo esto sin violar el plan de mantenimiento previamente fijado.
4. La aplicación del procedimiento propuesto por Díaz Cazañas y Ruiz Hernández (2010) permitió establecer el sistema de mantenimiento más adecuado a cada modo de fallo, logrando una mayor eficiencia en la operación del sistema Producción – Mantenimiento, pues el método permite asignar más de un tipo de mantenimiento en diferentes momentos dentro del horizonte de planificación.

5. Luego de aplicar el procedimiento para la programación conjunta de órdenes de producción e intervenciones de mantenimiento preventivo se obtuvo una reducción de 491,85 horas de tiempo improductivo en los equipos objetos de estudio.

Recomendaciones





1. Capacitar al personal de la empresa para el logro de una efectiva aplicación de los procedimientos planteados.
2. Aplicar íntegramente los procedimientos propuestos en otras áreas de la empresa como forma de comprobar su factibilidad metodológica y práctica, además de perfeccionarlo.
3. Desarrollar una herramienta informática con vistas a elevar la eficiencia en la aplicación del procedimiento.

Bibliografia



BIBLIOGRAFÍA

1. Achermann, D., (2008) "Modelling, simulation and optimization of maintenance strategies under consideration of logistic processes."
2. Adam, E.E. & Ebert, R.J., (1991) *Administración de la producción y las operaciones: conceptos, modelos y funcionamiento*. (4^{ta} edición). México: Prentice-Hall Hispanoamericana S.A.
3. Alfonso LLanes, A., (2007) *Procedimiento para la asistencia decisional al proceso de tercerización de la ejecución del mantenimiento*. Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en ciencias técnicas. Universidad Central de Las Villas, Santa Clara.
4. Amendola, L., (2003). "Modelos Mixtos de Confiabilidad." DataStream Systems, Inc[en línea]. Disponible en [http:// www.datastream.net.htm](http://www.datastream.net.htm)
5. Borroto, Pentón, Y., (2005) *Contribución al Mejoramiento de la Gestión del Mantenimiento en hospitales en Cuba*. Aplicación en hospitales de la provincia Villa Clara. Tesis presentada para optar por el grado científico de Doctora en Ciencias Técnicas.
6. Buffa, E. & Sarin, R., (1996) "Administración de la producción y las operaciones." Limusa Noriega editores. España.
7. Cáceres, M., (2005) "Cómo incrementar la competitividad del negocio mediante estrategias para gerenciar el Mantenimiento."
8. Cairo Huaranga, J., (2003). "II Planificación Empresarial" disponible en <http://www.monografias.com> consultado en febrero del 2013.
9. Chase, R.B, et al., (2000) *Administración de Producción y Operaciones*. Manufactura y Servicio. Ed Mc Graw Hill, Santa Fe de Bogota. Colombia.
10. Chase, R. & Aquilano. (1995) "Dirección y Administración de la producción y de las operaciones." Irwin. España.
11. Cheung, W. y Zhou, H., (2001) "Using genetic algorithms and heuristics for job shop scheduling with sequence-dependent setup times". An Operational Research. 107. 65–81
12. Choi, I. y Korkmaz, O., (1997) "Job shop scheduling with separable sequence-dependent setups." An Operational Research. 70. 155–170.

13. Companys Pascual, R., Fonollosa G., & Joan.B. (1989) “Nuevas técnicas de gestión de stocks: MRP y JIT.” Barcelona: Marcombo.
14. De la Paz Martínez, E. M. (2002) *Herramientas para la toma de decisiones en la gestión integral del mantenimiento de activos fijos*. Material complementario de curso. UCLV.
15. Díaz Cazañas, R. (2008) *Modelo conceptual y procedimiento general para el diagnóstico y mejoramiento del nivel de integración Operaciones – Mantenimiento*. Tesis en opción al título de Master en Ingeniería Industrial.
16. Díaz, A (1993) “Producción: Gestión y control” Ed. Ariel Economía S.A. Barcelona.
17. Domínguez Machuca, J.A. et al. (1995) *Dirección de Operaciones: aspectos estratégicos en la producción y los servicios*. Mc Graw Hill Interamericana de España, S.A.
18. Espinosa Fuentes, 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.
19. Fabro, E. (2003) *Modelo para planejamento de manutenção baseado em indicadores de criticidade de processo*. Tesis en opción al grado académico de Master en Ingeniería de Producción. Universidad Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Brasil.
20. Fogarty, W.D. et al. (1994) *Administración de la producción e inventarios*. Compañía editorial continental, S.A, México.
21. Fogarty, W.D. et al. (2000) *Administración de la producción e inventarios*. Compañía editorial continental, S.A., México.
22. Fundora Miranda, A. (1992) *Organización y planificación de la producción*. Tomo II. Ed. ISPJAE, Ciudad de la Habana.
23. Fundora Miranda, A. y otros. (1987) *Organización y planificación de la producción*. Tomo II. Ed. ISPJAE, Ciudad de La Habana.
24. Gaither, N. Frazier, G. (2000) *Administración de producción y operaciones*. Cuarta edición. Thomson. México.
25. García Palencia, O. (2003) “Modelo mixto de confiabilidad basado en estadística para la optimización del Mantenimiento Industrial” [mail to: oligrar52@yahoo.com](mailto:oligrar52@yahoo.com)

26. García González, S. (1996) *Dirección de Operaciones y Competitividad, en Orígenes y causas de la crisis de competitividad*. Huelva: Universidad de Huelva.
27. Garvin, D.A. (1994). "Operations Strategy. Texts y cases". Mexico: Prentice-Hall.
28. Goldratt, E. M. (1998) "Mi trayectoria en la mejora de la producción." Monografía. Madrid :A Goldratt Institute, Iberica.
29. Goldratt, E.M. & Fox, R. (1994) *La Carrera*, 2ª. Ed. México D.F: Ediciones Castillo.
30. Haan J., M. Yamamoto y G. Lovink, (2001) "Production Planning in Japan: Rediscovering Lost Experiences or New Insights?" International Journal of Production Economics, 71, 101-109
31. Hanke, J. E. & Deitsch, A. G. (1996) "Pronósticos en los negocios." Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. México
32. Heizer, J. & Render, B. (1996) "Principios de administración de operaciones." Prentice Hall Hispanoamericana S.A. México.
33. Heizer, J. & Render, B. (2000) *Dirección de la Producción. Direcciones Estratégicas*. Ed. Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. México.
34. Heizer, J. & Render. B. (1997). *Dirección de la Producción. Decisiones estratégicas*. (4ª edición). Mexico: Prentice-Hall Hispanoamericana S.A.
<http://www.mantenimientomundial.com/articulos>.
35. Jacobs, F. (1989) "OPT uncovered many production planning and scheduling concepts can be applied with or without the software. " *Industrial Engineering*, Vol. 16, No. 10. USA
36. Lefcovich, M. (2007). "Administración de Operaciones." Disponible en: <http://www.gestiopolis.com/canales4/ger/adoperaciones.htm>.
37. Martínez Pérez, Y. (2009). "Fundamentación teórica de la planificación empresarial" en *Contribuciones a la Economía*, mayo 2009 disponible en <http://www.eumed.net/ce/2009a>. consultado en febrero del 2013.
38. Maynard, H. B. (1984) *Manual de Ingeniería y Organización Industrial*. Ed. ENPES, Ciudad de La Habana.
39. Meredith, J. & Gibbs, T. (1986) *Administración de operaciones*, Ed. Limusa, México D.F.
40. Monks, J.G (1991) *Administración de operaciones*, Ed. Mc Graw- Hill S.A, México.

41. Moore, C. (2001). "Mantenibilidad. Otra oportunidad de mejorar el Mantenimiento." <http://www.tpmonline.com>.
42. Mora Gutiérrez (2012) *Mantenimiento Industrial Efectivo* 2^{da} edición Medellín, Colombia.
43. Naderi, B.; Zandieh, M.; Fatemi Ghomi, T. (2009) "Scheduling sequence-dependent setup time job shop with preventive maintenance." *Int J Adv Manuf Technol.* 43. 1. 170-181.
44. Nahmias, S. (1997) *Production and Operations Analysis. Third edition*, Ed. IRWIN, Chicago.
45. Nakajima, S., (1988) "Introduction to TPM." Cambridge, Massachusetts.
46. Narasimhan, S. et al. (1999) *Planeación de la Producción y Control de Inventario*. Ed. Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. México.
47. Neto, E. O., (2008) *Mantenimiento Industrial*. Macas, Ecuador
48. Noori, H. & Radfort, R. (1998) *Administración de operaciones y producción: Calidad total respuesta sensible rápida*. Ed. McGraw-Hill Interamericana S.A.
49. Ochoa Laburu, C (1990) *Comparación entre las diferentes sistemáticas de planificación control de producción*, Ed. Revista Manutención y almacenaje, pp54-59. Barcelona.
50. Quijano Ponce, A. (2004). "Sistemas de Producción." Disponible en: <http://geocities.com/aquijanop17>.
51. Ramos Gómez, R. A. (2002) *Procedimientos para la mejora continua y el perfeccionamiento del sistema de planificación y control del servicio de reparación de motores. Aplicación al caso de la reparación de motores diesel*. Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en ciencias técnicas. Universidad Central de Las Villas. Cuba.
52. Royo, J & Berges, L (2000). "Integración Producción-Mantenimiento y su influencia en la planificación de la empresa." <http://www.puntex.es/mantenimiento/140royo.htm>.
53. Ruiz Hernández, Y. y R. Díaz Cazañas, (2010) *Procedimientos para la contribución al logro de la planeación integrada Producción – Mantenimiento en la empresa de Cepillos y Artículos Plásticos "Juan Antonio Márquez"*. Tesis de diploma. Cuba, Departamento de Ingeniería Industrial, UCLV.

-
54. Ruiz, R., García, C., Maroto, C., (2007) "Considering scheduling and preventive maintenance in the flowshop sequencing problem. Computers & Operations Research." 34. 11. 3314-3330. ISSN 0305-0548.
55. Russell, R. & Taylor, B. (1998) "Operations Management. Focusing on quality and competitiveness."
56. Schroeder, R (1991) *Administración de Operaciones*. 3a. Edición. Mc Graw Hill.
57. Schroeder, R. (1992) *Administración de operaciones. Toma de decisiones en la función de Operaciones. Tercera edición. México.*
58. Schroeder, R. (2005) *Administración de operaciones. Casos y conceptos contemporáneos*. Segunda edición. McGraw – Hill. México.
59. Schutten, J., (1998) "Practical job shop scheduling. Ann Operational Research." 83. 161–178.
60. Sexto, L. F. (2007) "La creatividad en acción, TRIZ, SIX SIGMA y RCM entre el reto innovador y la necesidad industrial." *Revista Mantenimiento*, revista de la Asociación Española de Mantenimiento (AEM). noviembre de 2007, número. 209 (ISSN-0214-4344).
61. Sotuyo Blanco, S. (2002). "Optimización Integral del Mantenimiento (OIM)." *Revista Mantenimiento Mundial*, # 11 Diciembre 2002.
<http://www.mantenimientomundial.com/articulos/>.
62. Stoner, J.A.F y Wankel, C (2000) *Administración*, Ed. Prentice-Hall Hispanoamericana S.A., México.
63. Tavares Lourival, A. (2001) *Administración moderna de Mantenimiento*. Editorial Novopolo Publicaciones Brasil.
64. Tomlinsom, P. D. (2007) "Achieving World-Class Maintenance Status". *Coal Age*. Vol. 112, No. 8, pp. 40-42.
65. Torres, L (2005) *Mantenimiento, su implementación y gestión*. Segunda edición.
66. Vollmann, B & Whybark, (2000) *Sistemas de planificación y control de la fabricación*. Ed. Tecnología de Gerencia S.A. Madrid. España.
67. Yañez Medina, M. (2005) "Aspectos Generales de Confiabilidad como soporte del SAM. Módulo I". *Reliability and Risk Management*. México, pp. 316
68. Zhou, C; Egbelu, P, G., (1989) "Scheduling in a manufacturing shop with sequence-dependent setups. Robot Computer Integrated Manufactory." 51. 73–81.

69. Zhu, G. Pintelon, L. (2001) "Integrated production maintenance management as an enterprise approach to maintenance management."

Anexos



Anexo 1. Estructura de las decisiones en Producción de acuerdo al criterio de algunos autores consultados

Autor	Esquema de clasificación propuesto					
	Área de toma de decisiones		Decisiones de diseño (estratégicas)		Decisiones de uso (tácticas)	
Schroeder (1992)	Procesos		<ul style="list-style-type: none"> - Selección del tipo de proceso. - Selección del equipo. 		<ul style="list-style-type: none"> - Análisis del flujo de proceso - Provisión del mantenimiento del equipo 	
	Capacidad		<ul style="list-style-type: none"> - Determinación del tamaño de las instalaciones. - Determinación de la ubicación de las instalaciones. - Fijación de los niveles de la fuerza de trabajo. 		<ul style="list-style-type: none"> - Decisión sobre el tiempo extra - Subcontratistas - Programación 	
	Inventarios		<ul style="list-style-type: none"> - Fijación del nivel general de inventarios - Diseño del control de inventarios - Decisión de donde conservar el inventario 		<ul style="list-style-type: none"> - Decidir cuánto y cuándo ordenar 	
	Fuerza de trabajo		<ul style="list-style-type: none"> - Diseño de puestos - Selección del sistema de compensación - Diseño del reglamento de trabajo 		<ul style="list-style-type: none"> - Supervisión - Establecimiento de estándares de trabajo 	
	Calidad		<ul style="list-style-type: none"> - Establecimiento de estándares de calidad - Definición de la organización para la calidad 		<ul style="list-style-type: none"> - Decisión sobre la cantidad de inspecciones - Control de la calidad para cumplir con las especificaciones 	
Chase & Aquilano (1994)	Esquema de clasificación propuesto					
	Nivel jerárquico	Nivel directivo	Horizonte temporal	Alcance	Nivel de detalle	Relacionado con:
	Estratégico	Senior	Medio - largo	Amplio	Bajo	<ul style="list-style-type: none"> - Diseño del producto. - Localización. - Tecnología. - Nuevas instalaciones
Táctico	Medio	Medio	Moderado	Moderado	<ul style="list-style-type: none"> - Nivel de empleo. - Volumen de producción. - Selección de inversiones. 	

Anexo 1. Continuación

	Nivel jerárquico	Nivel directivo	Horizonte temporal	Alcance	Nivel de detalle	Relacionado con:
Chase & Aquilano (1994)	Acciones	Bajo	Corto	Estrecho	Alto	<ul style="list-style-type: none"> - Horarios del personal. - Ajustes en el ritmo de producción. - Gestión de inventarios. - Aprovechamiento.
Domínguez Machuca (1995)	Esquema de clasificación propuesto					
	Decisiones estratégicas			Decisiones tácticas y operativas		
	De posicionamiento	De diseño		Relacionadas con la planeación de la producción y el manejo de los recursos		
	<ul style="list-style-type: none"> - Fijación de objetivos a largo plazo. - Establecimiento de las prioridades competitivas. - Fijación de la gestión de la calidad. - Selección de productos. - Selección de procesos 	<ul style="list-style-type: none"> - Diseño del producto - Diseño del proceso - Mano de obra - Nuevas tecnologías - Capacidad - Localización - Distribución en planta 	<ul style="list-style-type: none"> - Planeación y programación de la producción. - Elección de alternativas para eliminar la brecha entre la capacidad y la demanda. - Inventarios. - Selección de las técnicas de gestión apropiadas. 			
Gaither & Frazier (2000)	Esquema de clasificación propuesto					
	Decisiones estratégicas	Decisiones de operación		Decisiones de control		
	<ul style="list-style-type: none"> - Lanzamiento de proyectos de desarrollo de nuevos productos. - Diseño del proceso de producción para un nuevo producto. - Asignación de recursos escasos entre oportunidades comerciales nuevas y existentes. - Decidir qué fabricas nuevas se necesitan y dónde ubicarlas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Nivel de inventario de bienes terminados a mantener para cada producto. - Tipos de productos y cantidad de cada tipo a incluir en el programa de producción del próximo mes. - Elección de la estrategia apropiada para aumentar la capacidad productiva en cada centro de trabajo. - Decidir sobre los detalles de un plan para la adquisición de las materias primas necesarias para el próximo mes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Acciones correctivas a tomar ante el incumplimiento de alguna meta que afecte la rentabilidad del sistema. - Desarrollar estándares de costo de mano de obra para un diseño revisado del producto. - Decidir el nuevo criterio de aceptación de control de calidad ante una modificación en el diseño del producto. - Frecuencia de mantenimiento en una pieza clave de la maquinaria. 			

Anexo 1. Continuación

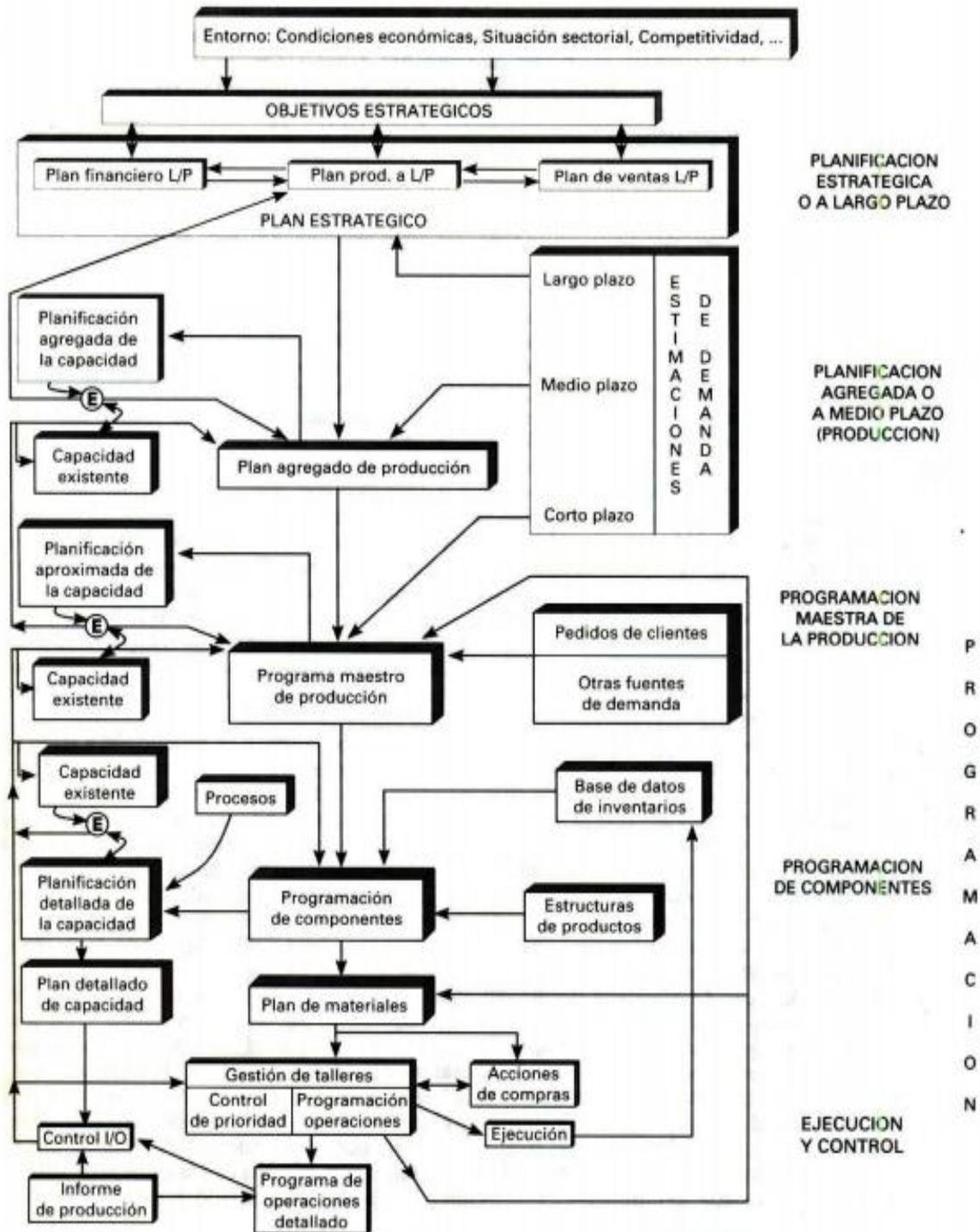
Esquema de clasificación propuesto		
Áreas de decisión (estratégicas)	Algunas preguntas a responder	
Diseño del producto y del servicio	¿Qué productos o servicios debemos ofrecer? ¿Cómo debemos diseñarlos?	
Gestión de la calidad	¿Quién es responsable de la calidad? ¿Cómo definimos la calidad que queremos en nuestros productos o servicio?	
Diseño del proceso y planificación de la capacidad	¿Qué procesos necesitarán estos productos y en qué orden? ¿Qué equipo y tecnología son necesarios para estos procesos?	
Localización	¿Dónde situaremos las instalaciones? ¿En qué criterio nos basaremos para elegir la localización?	
Diseño de la organización	¿Cómo organizaremos la instalación? ¿Qué tamaño debe tener para cumplir el plan?	
Recursos humanos y diseño del trabajo	¿Cómo proporcionar un entorno de trabajo razonablemente bueno? ¿Cuánto se puede esperar que produzcan nuestros empleados?	
Gestión del abastecimiento	¿Deberíamos fabricar determinado componente o comprarlo? ¿Quiénes son nuestros proveedores y quién puede quedar integrado en nuestro programa electrónico?	
Inventarios, planificación de necesidades de materiales y JIT.	¿Cuántos inventarios de artículos debemos llevar? ¿Cuándo volvemos a pedir?	
Programación intermedia, planificación a corto plazo y planificación del proyecto	¿Es una buena idea subcontratar la producción? ¿Es mejor despedir a la gente o mantenerlos en nómina en los periodos de baja demanda?	
Mantenimiento	¿Quién se hace responsable del mantenimiento?	
Cátedra de estructuras y procesos de la Facultad de Ciencias Económicas de Jujuy (2003)	Esquema de clasificación propuesto	
	Naturaleza de las decisiones	Grupos decisorios
	Decisiones estratégicas	<ul style="list-style-type: none"> - Producto. - Procesos y métodos de producción. - Equipo. - Tecnología. - Disposición de planta. - Capacidad y dimensión. - Localización. - Estructura de la dirección de la producción.

Anexo 1. Continuación

	Naturaleza de las decisiones	Grupos decisorios
	Decisiones tácticas	<ul style="list-style-type: none"> - Planeamiento de la producción, inventarios y mano de obra. - Programación de la producción. - Lanzamiento y monitorización de la producción. - Conducción de la fuerza de trabajo.
	Decisiones logísticas	<ul style="list-style-type: none"> - Mantenimiento. - Abastecimiento. - Expedición de productos. - Manejo de materiales. - Servicios auxiliares, medio ambiente y relaciones con el ecosistema. - Sistemas y procedimientos administrativos de producción. - Administración de personal (reclutamiento, capacitación, seguridad industrial, etc.)
Schroeder (2005)	Esquema de clasificación propuesto	
	Categoría o área de decisión	Decisiones
	Proceso	<ul style="list-style-type: none"> - Selección de equipo - Selección de la tecnología. - Establecimiento de los flujos de proceso. - Disposición física. - Diseño de puestos. - Políticas relativas a la fuerza laboral
	Calidad	<ul style="list-style-type: none"> - Establecimiento de estándares - Inspecciones al producto o servicio. - Establecimiento de especificaciones para productos nuevos - Definición del nivel de servicio al cliente (de conjunto con otros departamentos)
	Capacidad	<ul style="list-style-type: none"> - Tamaño de las instalaciones - Localización. - Subcontratación de proveedores confiables. - Número de turnos de trabajo - Subcontratación de producción - Cantidad de personal - Programación de empleados, equipos e instalaciones.
	Inventario	<ul style="list-style-type: none"> - Qué, cuanto y cuando ordenar. - Ubicación del inventario. - Selección del sistema de control de inventario.

Fuente: Díaz Cazañas (2008).

Anexo 2. Estructura de un Sistema Jerárquico de Planificación y Control de la Producción



Fuente: Domínguez Machuca et al. (1995).

Anexo 3. Algunas de las posibles decisiones a tomar en la Gestión del Mantenimiento

Área de decisión	Decisiones Estratégicas	Decisiones Tácticas	Decisiones Operativas
Estrategia de mantenimiento.	<ul style="list-style-type: none"> - Misión. - Objetivos - Establecimiento de políticas para las restantes áreas. - Establecimientos de sistemas de mantenimiento. 		
Organización del mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> - Tercerizar o no tercerizar. - Forma de centralización. 	<ul style="list-style-type: none"> - Relativas al diseño de procedimientos y contenido de las tareas de ejecución. - Relativas a la estructura de sistema informativo. Especificación de medios. - Relativas al diseño de los lugares de trabajo. 	
Planificación del mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> - Magnitud del presupuesto para el largo plazo - Nivel de actividad (intervenciones de mantenimiento) establecido para el largo plazo 	<ul style="list-style-type: none"> - Desglose del presupuesto entre las distintas actividades - Determinación del nivel de actividad en cada uno de los periodos del medio plazo - Establecimiento de las frecuencias de intervenciones 	<ul style="list-style-type: none"> -Establecimiento de prioridades. -Asignación de los trabajos -Orden de ejecución -Relativas a la sincronización de las distintas actividades

Anexo 3. Continuación

Área de decisión	Decisiones Estratégicas	Decisiones Tácticas	Decisiones Operativas
Formación en mantenimiento (Personal)	<ul style="list-style-type: none"> - Relativas al diseño de los planes de carrera. - Nivel de formación en aquellas técnicas que incluye la confiabilidad del talento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Necesidades de personal. - Selección. - Contratación. - Aplicación. - Evaluación del desempeño. 	<ul style="list-style-type: none"> - Asignación de actividades.
Gestión de stock	<ul style="list-style-type: none"> - Política de proveedores 	<ul style="list-style-type: none"> - Tipo de materiales e insumos para la ejecución del mantenimiento. - Selección de proveedores. - Selección del sistema de control de inventarios. - Niveles de inventario de los diferentes 	<ul style="list-style-type: none"> - Tipo de material o repuesto a solicitar. - Cantidad a solicitar de cada material. - Frecuencia del pedido.
Informatización del mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> - Desarrollar o adquirir el sistema GMAC. - Establecimiento de criterios para la adopción del sistema GMAC. 	<ul style="list-style-type: none"> - Relativas a la implantación del sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> - Actualización del sistema GMAC.
Control de los trabajos	<ul style="list-style-type: none"> - Selección de los indicadores y “herramientas” para el control. - Establecimiento de los valores objetivos para dichos indicadores. 	<ul style="list-style-type: none"> - Frecuencia de control de cada uno de los elementos de la GM 	<ul style="list-style-type: none"> - Acciones correctivas ante las desviaciones.

Fuente: Díaz Cazañas (2008).

Anexo 4. Procedimiento para seleccionar a quiénes considerar expertos. **Fuente:** Ruiz Hernández (2010)

Pasos a seguir:

1. Confeccionar una lista inicial de personas posibles de cumplir los requisitos para ser expertos en la materia a trabajar.

Expertos	Ocupación
1	Especialista de mantenimiento
2	Especialista de producción
3	Mecánico B de mantenimiento
4	J' de Departamento Economía
5	J' de Departamento Mantenimiento
6	J' de Departamento Producción
7	J' de Brigada Producción
8	J' de Brigada Mantenimiento
9	Tecnólogos
10	J' de Brigada taller
11	J' de Departamento Calidad
12	Operario

2. Realizar una valoración sobre el nivel de experiencia, evaluando de esta forma los niveles de conocimiento que poseen sobre la materia. Para ello se realiza una primera pregunta para una autoevaluación de los niveles de información y argumentación que tienen sobre el tema en cuestión.

¿En qué medida Ud. conoce acerca del proceso de Planificación de la Producción y de la planificación del mantenimiento dentro de la organización?

En esta pregunta se les piden que marquen con una X, en una escala creciente del 1 al 10, el valor que se corresponde con el grado de conocimiento o información que tienen sobre el tema a estudiar.

Expertos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1									X	
2								X		
3						X				
4						X				
5									X	
6									X	
7								X		
8								X		
9							X			
10						X				
11							X			
12					X					

Anexo 4. Continuación

3. A partir de aquí se calcula el Coeficiente de Conocimiento o Información (K_{cj}), (ver tabla1), a través de la ecuación siguiente:

$$K_{cj} = n \times (0.1) \quad (1)$$

Donde:

K_{cj} : Coeficiente de Conocimiento o información del experto “j”.

n : Rango seleccionado por el experto “j”.

4. Se realiza una segunda pregunta que permite valorar un grupo de aspectos que influyen sobre el nivel de argumentación o fundamentación del tema a estudiar (marca con una X)
5. Aquí se determinan los aspectos de mayor influencia. Las casillas marcadas por cada experto en la tabla se llevan a los valores de una tabla patrón. (ver tabla 2)

Fuentes de argumentación o fundamentación	Alto	Medio	Bajo
Análisis teóricos realizados por Ud.	0,3	0,2	0,1
Su experiencia obtenida	0,5	0,4	0,2
Trabajos de autores nacionales	0,05	0,05	0,05
Trabajos de autores extranjeros	0,05	0,05	0,05
Su conocimiento del estado del problema en el extranjero	0,05	0,05	0,05
Su intuición	0,05	0,05	0,05

6. Los aspectos que influyen sobre el nivel de argumentación o fundamentación del tema a estudiar permiten calcular el Coeficiente de Argumentación (K_{aj}) de cada posible experto, (ver tabla1), a partir de la ecuación siguiente:

$$K_{aj} = \sum_{i=1}^6 n_i \quad (2)$$

Donde:

K_{aj} : Coeficiente de Argumentación del experto “j”.

n_i : Valor correspondiente a la fuente de argumentación “i” (i: 1-6).

7. Una vez obtenido los valores del Coeficiente de Conocimiento (K_c) y el Coeficiente de Argumentación (K_a) se procede a obtener el valor del Coeficiente de Competencia (K) que finalmente es el coeficiente que determina en realidad qué experto se toma en consideración para trabajar en esta investigación. (ver tabla1)

Este coeficiente (K) se calcula según la ecuación siguiente:

$$K = 0.5 \times (K_c + K_a) \quad (3)$$

Anexo 4. Continuación

Dónde:

K: Coeficiente de Competencia.

K_c: Cociente de Conocimiento.

K_a: Coeficiente de Argumentación.

8. Posteriormente obtenido los resultados se valoran en la siguiente escala:

Rango	Niveles de Comportamiento
$0,8 \leq K < 1,0$	Coeficiente de Competencia Alto
$0,5 \leq K < 0,8$	Coeficiente de Competencia Medio
$K < 0,5$	Coeficiente de Competencia Bajo

(Ver tabla 3)

9. El investigador debe utilizar para su consulta a expertos de competencia alta, nunca se utilizará expertos de competencia baja.

Tabla 1. Determinación de los principales coeficientes dentro del procedimiento

Expertos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Rango Seleccionado por el Experto (n)	9	8	6	6	9	9	8	8	7	6	7	5
Coeficiente de Conocimiento o Información (K _{cj})	0,9	0,8	0,6	0,6	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,7	0,5
Coeficiente de Argumentación del Experto (K _{aj})	0,8	0,8	0,8	0,8	1	1	0,6	0,6	0,8	0,7	0,5	0,5
Coeficiente de Competencia (K)	0,85	0,8	0,7	0,7	0,95	0,95	0,7	0,7	0,75	0,65	0,6	0,6

Tabla 2. Valoración de la interrogante sobre el nivel de argumentación o fundamentación.

Fuentes de Argumentación o Fundamentación	Posibles Expertos		
	Alto	Medio	Bajo
Análisis Teóricos Realizados por Ud.	5-6	1-2-3-4-7-8-9	10-11-12
Su Experiencia Obtenida	5-6	1-2-3-4-9-10	7-8-11-12
Trabajos de Autores Nacionales	5-6	8-1-2-4	3-7-8-9-10-11-12
Trabajos de Autores Extranjeros	5	4-1-3-6-2	3-6-7-8-9-10-11-12
Su Conocimiento del Estado del Problema en el Extranjero	-	4-5-6-1	2-3-7-8-9-10-11-12
Su Intuición	5-6	1-3-4-1-2	12-11-8-9-10

Anexo 4. Continuación

Tabla 3. Escala de valoración del Coeficiente de Competencia (K).

Intervalos	Niveles de Competencia	Posibles Expertos
$0,8 \leq K < 1,0$	Coeficiente de Competencia Alto	1-2-5-6
$0,5 \leq K < 0,8$	Coeficiente de Competencia Medio	3-4-7-8-9-10-11-12
$K < 0,5$	Coeficiente de Competencia Bajo	-

Para el número de los expertos se utilizó la expresión manejada por Abreu Ledón (2005):

$$n = \frac{p * (1 - p) * k}{i^2}$$

Donde:

i: Nivel de precisión deseado.

p: Proporción estimada de errores de los expertos.

k: Constante asociada al nivel de confianza elegido.

$$n_e = \frac{0,01(1-0,01)6,6564}{(0,1)^2} = 6,589836 \approx 7 \text{ expertos}$$

Selección final (1, 2, 5, 6, 7, 8, 9)

Expertos	Ocupación
1	Especialista de mantenimiento
2	Especialista de producción
3	J' de Departamento Mantenimiento
4	J' de Departamento Producción
5	J' de Brigada Producción
6	J' de Brigada Mantenimiento
7	Tecnólogos