



UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS  
VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILISTOGA. 1948

Facultad de Ingeniería Industrial y Turismo  
Departamento de Ingeniería Industrial

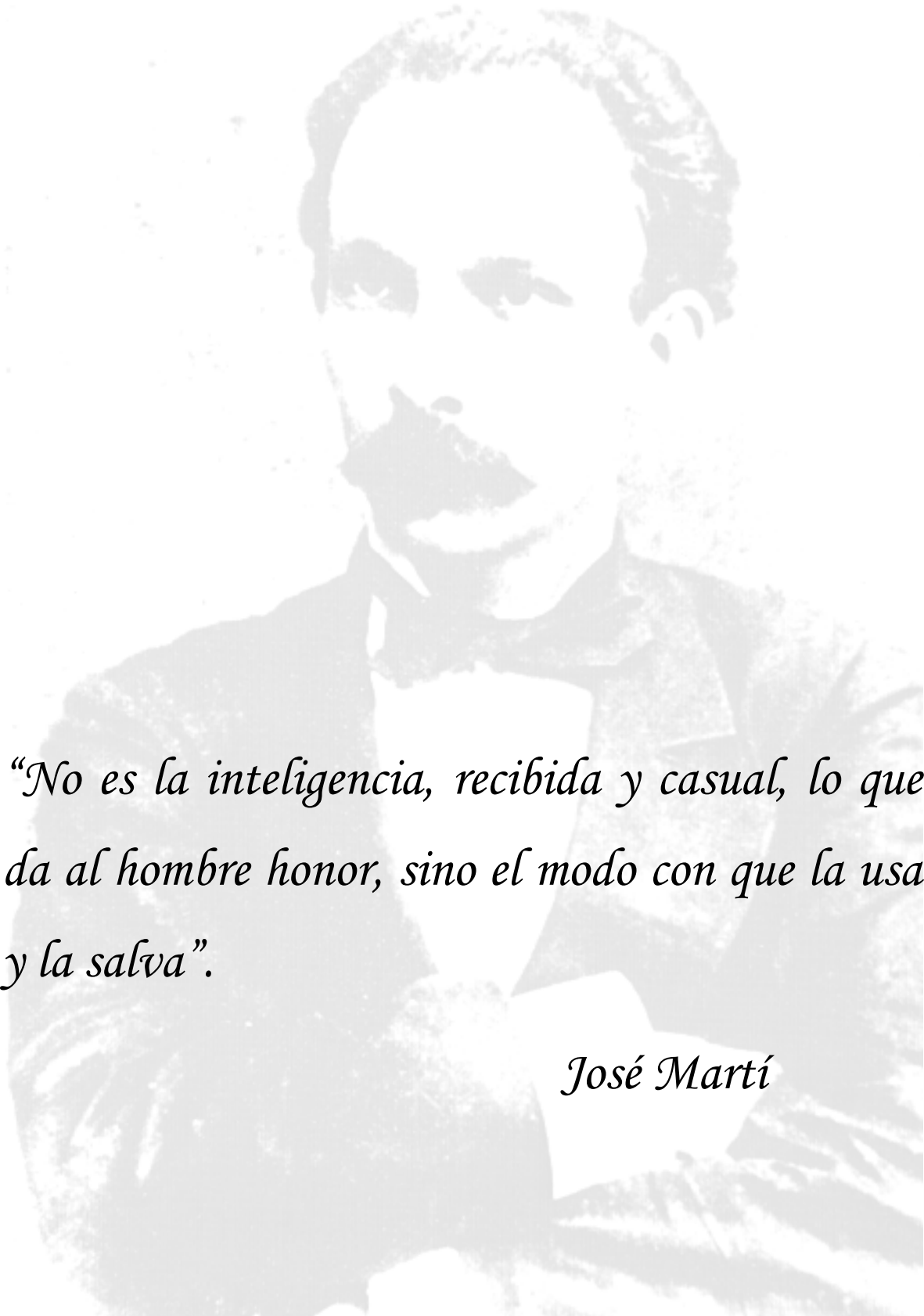
## TRABAJO DE DIPLOMA

*Título: Procedimiento para la evaluación del impacto de la gestión de activos sobre la Gestión de Operaciones, en UEB Embotellado de la Cervecería "Antonio Díaz Santana".*

*Diplomante: Daína Orihuela García*

*Tutor: M.Sc. Ing. Ronald Díaz Cazañas*

*Año 52 de la Revolución  
Curso 2009-2010*



*“No es la inteligencia, recibida y casual, lo que da al hombre honor, sino el modo con que la usa y la salva”.*

*José Martí*

## *Dedicatoria*

*A mis padres, que han sido la luz de mi camino.*

## *Agradecimientos*

- ♥ *A mis padres, por su amor, su incondicionalidad, su entrega, por cada consejo brindado... Sin su apoyo hubiese sido imposible recorrer este largo camino.*
- ♥ *A mi hermana, por su comprensión y paciencia, por estar siempre a mi lado brindándome todo su cariño.*
- ♥ *A mi tutor Ronald Díaz Cazañas, por guiarme sabiamente durante la realización de este trabajo.*
- ♥ *A toda mi familia, por estar siempre unida y dispuesta a ayudarme en todo. En especial a mi tía por brindarme tanto amor.*
- ♥ *A mis verdaderas amigas, por brindarme tantos momentos felices en cada etapa de mi vida .*
- ♥ *A los trabajadores de la Cervecería “Antonio Díaz Santana” por su colaboración.*
- ♥ *A todas aquellas personas que de una forma u otra colaboraron para ver este sueño hecho realidad.*

*A todos*

*...Muchas Gracias.*

## **Resumen**

El presente trabajo fue realizado en la Unidad Empresarial de Base (UEB) Embotellado, de la Cervecería “Antonio Díaz Santana”. El mismo muestra un procedimiento que permite evaluar el impacto de la gestión de activos fijos sobre el desempeño de Operaciones en dicha área. El procedimiento propuesto parte del establecimiento de relaciones funcionales entre indicadores de la gestión de activos y variables que miden el desempeño de Operaciones, para a partir de ahí, evaluar dicho impacto.

Durante el desarrollo de esta investigación se hizo uso de métodos de investigación como el inductivo - deductivo, la observación directa, entrevistas, revisión de documentos, entre otros; se utilizaron además distintos software como el BestFit, el SPSS, el WinQSB y se realizó análisis de regresión.

Como resultado fundamental del trabajo se obtuvieron las relaciones funcionales entre: plazo de entrega – disponibilidad, costo de producción – costo directo de mantenimiento y calidad del producto - impacto de la condición del equipo sobre esta, o impacto que presenta la eficacia del plan de mantenimiento preventivo sobre la cantidad de productos defectuosos debido a fallos parciales del equipamiento; llegándose a cuantificar el impacto de la gestión de activos fijos sobre el desempeño de Operaciones, en términos de las variables plazo de entrega y costo.

## **Abstract**

The present work was carried out in the Basic Managerial Unit (UEB) Embotellado of the Cervecería "Antonio Díaz Santana". It shows a procedure to assess the impact of fixed asset management on the performance of operations in that area. The proposed procedure of the establishment of functional relationships between indicators of asset management and variables that measure the performance of Operations, for from there, to assess its impact. During the course of this research was done using methods and deductive research, direct observation, interviews were utilized different software such as BestFit, SPSS, WinQSB and performed the regression analysis. As a result of the work were derived fundamental functional relationships between: delivery - availability, production cost - direct cost of maintenance and product quality - impact of the condition of the equipment on this, or the impact making the plan's effectiveness preventive maintenance on the amount of defective products due to partial failures of equipment, reaching out to quantify the impact of fixed asset management on the performance of operations, variables in terms of delivery time and cost.

|  |    |
|--|----|
| <b>Introducción</b> .....  | 1  |
| <b>Capítulo I. Marco Teórico Referencial</b> .....   | 6  |
| 1.1. El subsistema de Operaciones.....   | 6  |
| 1.1.1. Las operaciones como sistema.....   | 6  |
| 1.1.2. Estructura de las decisiones en operaciones.....  | 9  |
| 1.2. Evaluación del desempeño de operaciones.....  | 10 |
| 1.3. Prioridades competitivas y otras variables que miden el desempeño<br>de operaciones.....                                  | 13 |
| 1.4. El subsistema de Mantenimiento.....   | 15 |
| 1.4.1. Conceptos y objetivos generales.....  | 14 |
| 1.4.2. La Gestión del Mantenimiento. Estructura de las<br>decisiones.....  | 16 |
| 1.5. Evaluación del desempeño de mantenimiento.....  | 18 |
| 1.6. Indicadores de la gestión de activos.....   | 19 |
| 1.7 Métodos de estimación de indicadores de la gestión de activos.....   | 21 |
| 1.8. Impacto de la gestión de activos sobre el desempeño de<br>operaciones.....  | 24 |
| 1.9 Conclusiones parciales.....  | 25 |
| <b>Capítulo II. Procedimiento para evaluar el impacto de la gestión de<br/>activos sobre el desempeño de operaciones</b> ..... | 26 |
| 2.1. Conformación del equipo de trabajo y selección del grupo de<br>expertos.....  | 26 |
| 2.2. Caracterización de la organización.....   | 28 |
| 2.2.1. Caracterización del objeto de estudio práctico.....   | 29 |
| 2.2.2. Caracterización del subsistema de Operaciones.....  | 30 |
| 2.2.3. Caracterización del subsistema de Mantenimiento.....  | 31 |
| 2.3. Selección de las variables que definen el desempeño de<br>operaciones.....  | 33 |
| 2.4. Identificación de los indicadores de la gestión de activos que<br>resulten convenientes utilizar.....                     | 33 |
| 2.5. Establecimiento de relaciones entre indicadores de la gestión de  |    |

|   |           |
|---|-----------|
| activos y variables de la Gestión de Operaciones.....   | 34        |
| 2.6. Evaluación de los indicadores de la gestión de activos.....  | 35        |
| 2.6.1. Recopilación de la información.....  | 36        |
| 2.6.2. Definición del tipo de modelo para la estimación de indicadores.....   | 36        |
| 2.6.3. Evaluación de los resultados obtenidos al estimar los indicadores<br>confiabilidad y mantenibilidad.....                       | 38        |
| 2.7. Cuantificación del impacto de la gestión de activos sobre el<br>desempeño de Operaciones.....                                    | 38        |
| 2.8. Evaluación de los resultados.....  | 38        |
| 2.9. Conclusiones parciales.....  | 39        |
| <b>Capítulo III. Evaluación del impacto de la gestión de activos sobre<br/>el desempeño de Operaciones en la UEB Embotellado.....</b> | <b>40</b> |
| 3.1. Relación plazo de entrega – disponibilidad.....  | 40        |
| 3.2. Relación costo de producción – costo directo de mantenimiento.....   | 44        |
| 3.3. Relación calidad del producto – condición del equipo, o eficacia<br>del plan de mantenimiento preventivo.....                    | 48        |
| 3.4. Cambios propuestos sobre el sistema<br>Operaciones – Mantenimiento.....  | 49        |
| 3.5. Conclusiones parciales.....  | 50        |
| <b>Conclusiones generales.....</b>  | <b>52</b> |
| <b>Recomendaciones.....</b>   | <b>53</b> |
| <b>Bibliografía.....</b>  | <b>54</b> |
| <b>Anexos</b>   |           |

## **Introducción**

El éxito de cualquier empresa se ha convertido en la actualidad en un desafío permanente. La globalización de los mercados trae como consecuencia una fuerte competencia y, acompañada por un gran desarrollo tecnológico, determina que este éxito dependa del logro de cada uno y de todos sus componentes. Dadas las cambiantes condiciones del mercado, las empresas requieren de una organización flexible que pueda adaptar rápidamente las nuevas herramientas de gestión, de manera creativa e innovadora, que permita mantener sus productos y servicios con las especificaciones que exijan el cliente y la competencia.

Toda empresa que desee mantenerse competitiva tiene, indispensablemente, que dirigir y prestarle una especial atención al mantenimiento de su equipamiento. El mantenimiento es una disciplina integradora que ha tenido un desarrollo vertiginoso en la industria y es la encargada de garantizar la disponibilidad del equipamiento de la empresa a un bajo costo. No se concibe una industria moderna sin una adecuada política de manutención de la tecnología con que produce, sencillamente porque del mantenimiento dependen la funcionalidad, disponibilidad y conservación de su estructura productiva. Esto significa un incremento importante de la vida útil de los equipos y sus prestaciones.

En la actualidad, el mantenimiento es, ante todo, una estrategia de la empresa, la cual se ha de integrar con las áreas existentes como: Calidad Total, Seguridad, Medio Ambiente, etc., pasando por el diseño, construcción, implantación y explotación de los sistemas productivos, teniendo como fin llegar al objetivo deseado en cualquier industria avanzada: disponer de los equipos productivos siempre que se les necesite, implantando en la empresa grupos de mejora y fiabilización.

Actualmente la toma de decisiones respecto al desempeño de los sistemas de mantenimiento, constituye indiscutiblemente un aspecto de primer orden a resolver, ya que mediante la garantía del mismo se propicia, no sólo la adecuada evaluación y control de la Gestión del Mantenimiento con vistas a lograr su mejoramiento continuo, sino, además, el logro de una mayor disponibilidad de las capacidades productivas instaladas; ya que en la práctica el proceso decisional en

esta área se dificulta por el hecho de disponerse de una amplia gama de factores propuestos al respecto, sin una definición clara de las condiciones o características de las entidades donde es posible la aplicación de cada uno de ellos ni de su nivel de importancia a la hora de valorar la influencia de la actividad de mantenimiento en la meta de la organización.

Por lo que, un problema muy evidente, tanto en la empresa internacional como en la cubana, dentro del proyecto de perfeccionamiento de la gestión para la competitividad, es el logro de la integración entre los distintos departamentos, áreas y procesos que integran a la empresa.

Resulta muy importante lo planteado por Díaz Cazañas (2008) cuando señala que con vistas a mejorar la Gestión del Mantenimiento, es vital la definición de las interrelaciones entre los procesos de producción y mantenimiento y orientar la administración de este último dentro del sistema productivo.

Sin embargo, resulta contradictorio el hecho de que siendo el tema de la integración Gestión de Operaciones (GO) – Gestión del Mantenimiento (GM) un elemento de importancia significativa, la realidad objetiva demuestre que, la integración entre ambos departamentos, a la hora de tomar decisiones relacionadas con las tareas de mantenimiento y las de operaciones en la mayoría de las organizaciones sea prácticamente nula. Esta situación no resulta ajena a la UEB Embotellado perteneciente a la Cervecería “Antonio Díaz Santana”, que constituye el objeto de estudio práctico de la presente investigación.

El comportamiento adverso de algunas variables que determinan la competitividad empresarial, tales como: plazo de entrega, calidad y costo, debido en gran medida a la falta de integración entre los subsistemas de Producción / Operaciones y de Mantenimiento, constituyen la **situación problemática** que da origen a la presente investigación. Ello en el plano operativo se debe, concretamente, a una serie de elementos que surgen como resultado de la falta de integración en la gestión de ambos subsistemas, tales como: violaciones del programa de mantenimiento sin una previa justificación técnicamente fundamentada, en aras de no afectar el plan de producción, optándose por reprogramar las actividades de mantenimiento dentro de posibles “ventanas de oportunidad” que surgen dentro

del programa de producción, lo que generalmente agudiza el resquebrajamiento de la confiabilidad y la disponibilidad del equipamiento; aumento del costo de mano de obra ociosa por parte del personal de mantenimiento, debido a esperas de estos hasta que producción libere el equipo que debe ser intervenido; incapacidad por parte del subsistema de Mantenimiento para asegurar la capacidad productiva exigida, debido a la realización de una planeación con un bajo nivel de objetividad por parte de Operaciones, al no tener en cuenta esta área las posibilidades reales del subsistema de Mantenimiento para asegurar el cumplimiento de las metas productivas, lo que conlleva, en ocasiones, al incumplimiento del plan de producción.

A partir de la situación problemática descrita anteriormente, puede acotarse como **problema científico** de la investigación, la ausencia de un procedimiento que permita evaluar el impacto de la gestión de activos fijos sobre la Gestión de Operaciones, como paso previo al inicio de un proyecto para el despliegue de la gestión integrada de los subsistemas de Producción / Operaciones<sup>1</sup> y de Mantenimiento.

Las consideraciones anteriores han conducido a formular la **hipótesis general** de esta investigación como sigue:

Si se desarrolla un procedimiento a partir del análisis de la influencia de los indicadores fundamentales que caracterizan la gestión de activos fijos sobre el desempeño de Operaciones, mediante el cual puedan establecerse relaciones funcionales entre ambos, se logrará cuantificar el impacto de la gestión de activos fijos sobre las principales variables que caracterizan el desempeño de Operaciones.

Esta hipótesis resultará validada si se logra elaborar un procedimiento que, partiendo de una selección adecuada del grupo de indicadores medidores de la gestión de activos, conduzca al establecimiento de relaciones de dependencia entre estos y las variables que caracterizan el desempeño de operaciones, estableciéndose expresiones que permitan describir tales relaciones, de manera

---

<sup>1</sup> En lo adelante se hará referencia, indistintamente, al subsistema de Operaciones como Producción u Operaciones.

que sea posible cuantificar el impacto de la gestión de activos fijos sobre la GO en la UEB Embotellado perteneciente a la Cervecería “Antonio Díaz Santana”.

El **objetivo general** que se plantea en la investigación consiste en desarrollar un procedimiento para la evaluación del impacto de la gestión de activos fijos sobre la GO en empresas manufactureras con alto nivel de mecanización, de manera que ello permita identificar los cambios que deben efectuarse sobre el sistema Operaciones – Mantenimiento con vistas al mejoramiento del mismo.

A partir de este se derivan los siguientes **objetivos específicos**:

1. Establecer relaciones funcionales entre los indicadores que definen la gestión de activos fijos y las variables clásicas que determinan el desempeño de Operaciones.
2. Evaluar los indicadores de la gestión de activos que resulten convenientes utilizar.
3. Evaluar el impacto de los indicadores de la gestión de activos seleccionados sobre el desempeño de Operaciones.
4. Determinar qué cambios deben efectuarse sobre el sistema Operaciones – Mantenimiento de ser necesarios.

Para cumplir los objetivos trazados se ha estructurado la investigación en tres capítulos. En el Capítulo I se realizará 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 propondrá un procedimiento para evaluar el impacto de la gestión de activos fijos sobre el desempeño de Operaciones y se detallará cada una de sus etapas. En el Capítulo III se cuantificará dicho impacto, a través de los resultados obtenidos al aplicar el procedimiento en la UEB Embotellado, perteneciente a la Cervecería “Antonio Díaz Santana”, y posteriormente se determinarán los cambios que deben efectuarse sobre el sistema Operaciones – Mantenimiento de ser necesarios. Por último se arribará a las conclusiones de la investigación y se realizarán las recomendaciones convenientes.

Para la obtención y procesamiento de la información se utilizarán varios métodos y técnicas como:

- Métodos teóricos
  - Histórico – lógico
  - Inductivo – deductivo
  - Analítico – sintético
- Métodos y técnicas empíricas
  - Análisis de documentos
  - Entrevistas
  - Observación directa
  - Criterio de expertos
- Métodos y técnicas estadísticas
  - Distribuciones muestrales
  - Software SPSS, BestFit

La investigación actualizará lo referente a los temas mencionados anteriormente. Posibilitará la integración de conceptos y herramientas analíticas en un procedimiento lógico y flexible para coordinar acciones en función de evaluar el impacto de la gestión de activos sobre la GO, determinar los cambios factibles de realizar tanto en el subsistema de Operaciones como en el de Mantenimiento, de ser necesario, y hacer extensivo su uso. Además posibilitará la implementación del procedimiento en empresas manufactureras con alto nivel de mecanización, representativas del sector productivo cubano. Lo expuesto anteriormente evidencia el valor teórico, metodológico y práctico que posee dicho trabajo.

## **Capítulo I: Marco Teórico Referencial**

En este capítulo se abordarán aquellas cuestiones procedentes del estado del arte y de la práctica que se consideran imprescindibles para garantizar el sustento teórico de la investigación. El mismo se ha estructurado en ocho epígrafes, siguiendo un enfoque de lo general a lo particular. **En la Figura 1.1** se presenta la estrategia seguida para su elaboración.

### **1.1 El subsistema de Operaciones**

En este epígrafe se tratarán los aspectos generales relacionados con el diseño y gestión del subsistema de Operaciones. Existen tres perspectivas básicas bajo las cuales ha sido estudiada la Administración o Gestión de Operaciones, este estudio estará centrado en las de sistema y las de área de toma de decisiones; sobre todo en esta última, delineando de manera sintética algunas de las posibles decisiones a tomar en cada una de las áreas que incluye la GO, lo cual resulta imprescindible a los efectos de identificar las relaciones existentes en cuanto al diseño y administración de uno y otro subsistema.

#### **1.1.1 Las operaciones como sistema**

El subsistema de Operaciones está formado por el sistema físico, representado por el flujo de materiales entre los diferentes centros de trabajo y que viene condicionado por el tipo de proceso productivo; el sistema de organización, que tiene que ver con la distribución de funciones y sus interdependencias, asignación de tareas, organización de la producción (creación de estructuras y rutas, definición de almacenes, diseño del layout); el sistema de información como soporte y captura de datos; el sistema de planificación y control de la producción, encargado de la planeación de la producción, de los plazos y horizontes de planeación, de la programación efectiva de las cargas asignadas, de la secuenciación de los trabajos, la determinación de índices y valores estándares de control, etc.

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. Adam & Ebert (1991) la definen como "...la dirección del proceso de transformación que convierte los insumos de tierra, capital y administración en los productos deseados de bienes y servicios". Monks (1992), la conceptualiza como "...actividad mediante la cual los recursos, fluyendo dentro de un sistema definido, son combinados y transformados en una forma controlada para agregarles valor en concordancia con los objetivos de la organización". Para Heizer & Render (1997) "...son aquellas actividades encargadas de conducir y de transformar recursos en bienes y servicios".

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 costes. 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.

Otros autores además han brindado sus consideraciones respecto al estudio de las operaciones bajo el enfoque de sistema. En este sentido puede citarse a Schroeder (1992) y (2005), Domínguez Machuca et al. (1995), Gaither & Frazier (2000) y Quijano Ponce (2004). Entre estos, parece bastante adecuado el criterio de Gaither & Frazier (2000), pues de manera sintética logran describir los elementos del sistema de Operaciones y sus interrelaciones. De este modo 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.

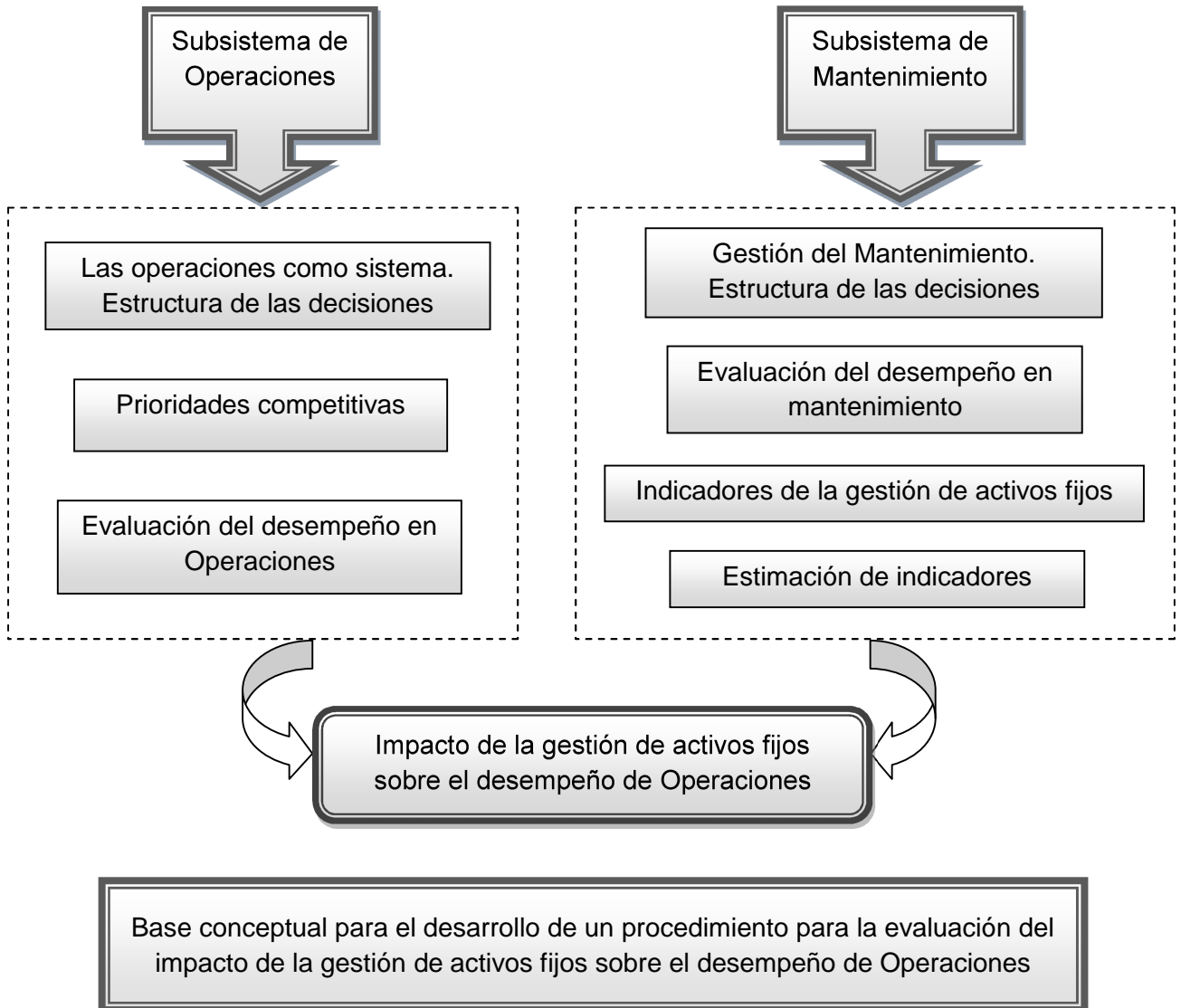


Figura 1.1. Hilo conductor del Marco Teórico Referencial de la investigación

Fuente: Elaboración propia

Los cinco objetivos fundamentales del subsistema de Operaciones son:

- 1.Reducción del costo, sin incurrir en la reducción de la calidad o servicio
- 2.Cumplimiento en las entregas
- 3.Mejora de la calidad

4. Aumento de la flexibilidad y productividad

5. Servicio a clientes con eficiencia

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.

### **1.1.2 Estructura de las decisiones en operaciones**

Para la toma de decisiones pueden utilizarse modelos matemáticos para representar un sistema. Un modelo de toma de decisiones se expresa en términos de medidas del desempeño, limitantes y variables de decisión. El propósito de dicho modelo es encontrar los valores óptimos o satisfactorios para las variables de decisión que puedan mejorar el desempeño de los sistemas dentro de las restricciones aplicables.

Para una mejor comprensión de la manera en que se administra el subsistema de Operaciones se hace necesario el enfoque de área de decisiones. Precisamente se concibe a la GO como el estudio de la toma de decisiones en la función de operaciones. Según León Jeri (2007) "...lo que distingue a los gerentes de operaciones son los tipos de decisiones que toman...". El mismo distingue cinco tipos o categorías de decisiones:

- a) Selección de estrategias
- b) Decisiones sobre procesos
- c) Calidad
- d) Capacidad, localización y distribución
- e) Decisiones de operación

Uno de los patrones de clasificación que resulta adecuado es el presentado por Schroeder (1992), ya que logra que las decisiones para el largo y el medio-corto plazo queden ubicadas dentro de cada una de las áreas por él definidas, lo que permite una mayor organización en el estudio.

La autora, coincidiendo con Díaz Cazañas (2008), considera que es preciso señalar que si bien el enfoque de dicho autor permite una conducción metodológica apropiada para estudiar el tema, carece 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 et al. (1995). Por lo demás se advierte en todos los casos, ya sea explícita o implícitamente, el hecho de que las decisiones en operaciones responden a un horizonte de tiempo determinado (de manera genérica: el largo, medio y corto plazo), y en consecuencia así será su efecto sobre la organización.

En el modelo presentado por Lefcovich (2007) se observa cierta unanimidad en la definición de las áreas claves de decisión, coincidiendo los procesos, la capacidad, los inventarios y la fuerza de trabajo, sin embargo los otros autores son un poco más específicos que éste a la hora de desglosar las mismas.

En el **Anexo 1** se observan las principales áreas de decisión de la Administración de Operaciones planteadas por los autores antes mencionados.

De forma general, se han clasificado las decisiones en estratégicas, tácticas y operativas, aspecto este que no resulta sencillo debido a las divergencias existentes 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.

## **1.2 Evaluación del desempeño de operaciones**

De manera general, la filosofía que orienta el proceso de evaluación de estrategias se centra en evaluar los resultados reales con relación a las metas establecidas, apoyada en toma de acciones correctivas que garanticen concordancia con lo planeado. Las acciones reformadas pueden incluir el replanteamiento de las maniobras y de ser necesario, la misión del área organizativa; logrando la coherencia de objetivos nuevos y alcance de satisfacción mancomunada (Camacaro et al., 2003).

Según este autor el proceso de evaluación de estrategias está compuesto por tres pasos:

- a. Análisis de los factores internos y externos que sustentan las estrategias tomadas
- b. Medición del desempeño organizativo
- c. Realización de acciones correctivas

El fin de estos tres pasos es según el momento en que son aplicados:

- a. Analizar las conclusiones obtenidas durante la formulación de estrategias
- b. Examinar las acciones efectuadas durante la ejecución de estrategias
- c. Comparar los resultados logrados con los esperados y efectuar los cambios necesarios para el control de las operaciones

Estos tres pasos de la evaluación de las estrategias tienen como finalidad reflexionar acerca de las metas y valores, generación de alternativas y la formulación de criterios de evaluación. La evaluación debe ser continua y no al final, de manera que permita corregir las desviaciones porque de lo contrario, podría ser muy tarde.

Existen herramientas que permiten obtener retroalimentación a tiempo y actuar rápidamente, entre ellas se encuentran la auditoría estratégica por la junta directiva, evaluación del medio y la auditoría interna. Estas herramientas dirán si la estrategia tomada inicialmente es la correcta o si es necesario el cambio a una nueva estrategia o plan de contingencia.

Díaz Cazañas & Pérez Gómez (2007) plantean que el área de Producción – Operaciones debe concebirse como un ente activo en la formulación e implementación de la estrategia empresarial debido a sus potencialidades para el logro de ventajas competitivas. Tradicionalmente se ha aceptado a la estrategia de producción como un conjunto de políticas que aseguran el cumplimiento de la estrategia empresarial, sin embargo en la actualidad se impone la necesidad de hacer del área de operaciones un subsistema que permita el logro de ventajas competitivas, convirtiéndose en fuente de inspiración para la estrategia del negocio.

Existen tres tipos de estrategias fundamentales de empresa: el liderazgo en costes, la diferenciación y la concentración. Por su parte, y con relación a producción, se plantean las estrategias de focalización por procesos, focalización por productos y la filosofía Just in Time (JIT). Tomando en consideración a García Cebrián & López Viñegla (2000), la correspondencia lógica y coherente entre los distintos tipos de estrategias de empresa y sus homólogas en producción sería la siguiente:

- En el liderazgo en costes se aplicaría una focalización por proceso, ya que el objetivo en producción sería lograr la mayor eficiencia.
- En el caso de una estrategia de diferenciación a partir de un producto adaptado a las necesidades de los consumidores correspondería el JIT, el cual es un sistema de producción que permite la fabricación de pequeños lotes de una gran variedad de productos, lo que posibilita atender clientes que demandan productos personalizados.
- Para una estrategia de concentración, en la que se pretendiera que el cliente perciba cierta exclusividad, se adoptaría la focalización por productos. En este caso la eficiencia quedaría relegada a un segundo plano, prestándose mayor atención a otras prioridades como la calidad, el plazo de entrega o la flexibilidad.

La posibilidad de adoptar una u otra estrategia conduce al hecho de que la evaluación del desempeño y el control, tanto de la organización de manera general como del área de Operaciones, estarán condicionados precisamente por la estrategia seleccionada puesto que resulta evidente que a estrategias diferentes corresponderán objetivos de evaluación y control diferentes.

Según De Meyer et al. (1994), el enfoque actual de medición del desempeño que subyace en la mayoría de las empresas manufactureras se basa en sistemas de contabilidad de costos, incluso para valorar el rendimiento operativo, centrándose típicamente en los costos e ignorando otras medidas que podrían reflejar mejor el rendimiento en términos de calidad, de flexibilidad o de oportunidad de la fabricación.

Schroeder (1992) propone parámetros como el costo, la calidad, el tiempo de entrega y la flexibilidad para significar los objetivos del área de Operaciones. Para

alcanzar las metas establecidas con relación a estas variables se formulan estrategias, las cuales, como se ha dicho, han de ser sometidas a un proceso de evaluación y control; siendo necesario entonces para viabilizar este proceso en los diferentes niveles la desagregación y concreción de tales variables o prioridades competitivas. Al respecto Garvin (1993) señala que este proceso constituye una descomposición y refinamiento de cada prioridad en sus elementos causales y conceptualmente es sencillo: no requiere nada más que un listado de causas y relaciones de efecto.

Como resultado surgen los indicadores, entendidos no solo como las magnitudes relacionadas con los objetivos a lograr, sino también como la expresión numérica que se desea que alcancen durante el horizonte de planificación. Entre los indicadores comúnmente utilizados en la evaluación del desempeño de un sistema aparecen aquellos que apuntan hacia la eficacia, eficiencia, efectividad, estabilidad y mejora del valor, en concordancia con el triángulo de desempeño.

En la generalidad de la bibliografía se propone un conjunto de indicadores para medir la eficacia y efectividad de cada unidad funcional de la empresa. Algunos de los indicadores mencionados en la bibliografía son los indicadores financieros, de reactividad (plazo) y calidad; otro grupo de indicadores están enfocados a medir tiempo, desperdicios, costo, calidad, flexibilidad, valor añadido, productividad, uso de activos, integración de datos e información.

### **1.3 Prioridades competitivas y otras variables que caracterizan el desempeño de operaciones**

Las prioridades competitivas que distinguen a una empresa constituyen las variables que determinan el desempeño de operaciones. Autores como Ibarra Mirón (2005) y Leong et al. (1990) plantean que las mismas no son más que lo que la función de producción debe proveer y facilitar a sus clientes, es la respuesta productiva al comportamiento estratégico deseado por el nivel corporativo. Las prioridades competitivas deben ser significativas, realizables, concretas, dinámicas y duraderas, proporcionan un sentido de orientación a los directivos y trabajadores, estableciendo las directrices para su comportamiento diario. Son un "...conjunto concreto de objetivos o metas para la manufactura".

Una visión conjunta de estos autores, permite constatar la existencia de cuatro variables fundamentales que miden el desempeño de operaciones, éstas son:

- *Costos*: a la hora de lograr reducciones de costos sin incurrir en reducciones de la calidad del bien o servicio, existen dos soluciones básicas: realizar inversiones que mejoren la tecnología empleada, y la mejora del aprovechamiento de los recursos existentes sin realizar inversiones. Algunos factores a tener en cuenta en la reducción del costo son los materiales, la mano de obra y el equipo capital, y los terrenos y edificios.

- *Calidad*: la calidad como objetivo y prioridad competitiva, implica competir en sus ocho dimensiones: (Prestaciones, Peculiaridades, Fiabilidad, Conformidad con las especificaciones, Durabilidad, Disposición de servicio, Estética, Calidad percibida).

- *Entregas*: este objetivo suele comprender básicamente dos aspectos, que configuran la denominada competencia basada en el tiempo: «entregas rápidas» y «entregas en fecha». De acuerdo con ello se trataría de lograr el menor tiempo de entrega o tiempo de suministro posible y entregar en la fecha comprometida con el cliente el mayor número de pedidos posible.

- *Flexibilidad*: puede ser definida como la habilidad de una entidad para desplegar y replegar sus recursos de forma eficaz y eficiente en respuesta a las condiciones cambiantes.

En el **Anexo 2** se muestran otras variables que miden el desempeño de operaciones así como algunos criterios de medida.

#### **1.4 El subsistema de Mantenimiento**

En el siguiente epígrafe se realizará un análisis de los conceptos generales del subsistema de Mantenimiento, abordando fundamentalmente lo relativo a la estructura de las decisiones que son de vital importancia tanto en el diseño como en la gestión del mismo, como base para identificar las formas en que las decisiones tomadas en la GM impactan sobre la GO.

##### **1.4.1 Conceptos y objetivos generales**

En la actualidad el mantenimiento está destinado a ser el pilar fundamental de toda empresa que se respete y que considere ser competitiva. Es por ello, que se

desarrollan técnicas y métodos para la detección, control y ejecución de actividades que garanticen el buen desempeño de la maquinaria. Lo anterior resulta imposible sin una eficiente estrategia y organización de esta disciplina en cada empresa, sobre todo por la estrecha relación que existe entre la producción y el mantenimiento.

Sin lugar a dudas, el servicio de mantenimiento en un sistema de producción no puede seguir siendo visto como un “mal necesario”, existiendo solamente como un vórtice de recursos y que no agrega valor a los procesos fabriles, justamente lo contrario. Las operaciones de mantenimiento tienen una correlación muy fuerte con la productividad de estos sistemas, interfiriendo no solamente sobre la disponibilidad del equipamiento, sino también sobre la calidad, la seguridad, la ergonomía, en fin, sobre las condiciones que llevan a los incrementos de desempeño de los procesos de fabricación. Por las diversas razones ya enumeradas la gestión del servicio de mantenimiento debe ser realizada considerando los aspectos de las especificaciones de las operaciones de servicios y la perspectiva de contribución al valor de dicho servicio, con la intención de elevar las ventajas competitivas para la organización.

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. De los múltiples conceptos planteados sobre el término mantenimiento la autora coincide con lo planteado por De la Paz Martínez (2002), pues considera que expone un criterio más general de la actividad de mantenimiento, en relación con la importancia de esta función en el mundo actual y su impacto en el entorno.

De esta manera se plantea 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 fijos, 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 (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 (su cliente principal), 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.

#### **1.4.2 La Gestión del Mantenimiento. Estructura de las decisiones**

Lo que muchas veces ha pasado desapercibido para los ejecutivos de las empresas, hoy en día es bien obvio: un mal mantenimiento y una baja confiabilidad del equipamiento significan: bajos ingresos, elevados costos de mano de obra y altos niveles de inventario, clientes insatisfechos y productos de mala calidad (Tavares, 2001). Por todo ello resulta imposible realizar este trabajo sin tener en cuenta la GM.

Según la ISO 9000:2001 la gestión no es más que el conjunto de actividades coordinadas para dirigir y controlar una organización, por lo que para desarrollar una buena gestión es preciso conocer y haber definido el objetivo u objetivos a alcanzar.

La Gestión de Mantenimiento es responsable de armonizar los activos fijos, minimizando los tiempos de parada y los costos asociados a los mismos. Es por esto, que una adecuada Gestión de Mantenimiento, en el marco de una filosofía del personal orientada hacia la calidad, ayuda a incrementar la productividad, por lo que es de vital importancia el estudio de los aspectos que pueden afectarla. La misma 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.

De acuerdo con De la Paz Martínez (2002), 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.

Es importante destacar que si bien la problemática de la estructura de las decisiones en Operaciones ha sido tratada de manera explícita, no ocurre lo mismo en el caso del Mantenimiento, al menos así lo reflejan las fuentes bibliográficas consultadas, en las cuales no se delinea explícitamente un marco conceptual referido a la estructura de las decisiones. No obstante sí existen elementos de gran utilidad para conformar un patrón similar al que se muestra en el Anexo 1 para el caso de la GO.

En este sentido, luego de revisar los distintos aspectos que deben ser abordados en el momento de proyectar la GO, y analizando aquellos elementos tratados por otros autores tales como: Tavares (2001), Zhu & Pintelon (2001), Sotuyo (2002), Borroto Pentón (2005) y Cáceres (2005), en sus estudios sobre Gestión del Mantenimiento, 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 GO, y considera, además, los diferentes niveles del horizonte de planificación, tal y como se estableció en el caso de Operaciones (Díaz Cazañas, 2008). Dicha propuesta se muestra en el **Anexo 3**.

### **1.5 Evaluación del desempeño de mantenimiento**

Una de las formas de evaluar la Gestión de Mantenimiento es a través de la realización de auditorías de mantenimiento.

La auditoría es un proceso sistemático, independiente y documentado para obtener registros, declaraciones de hechos o cualquier otra información y evaluarlas de manera objetiva con el fin de determinar la extensión en que se cumplen el conjunto de políticas, procedimientos o requisitos (ISO 19011:2002).

Según Fabrés Díaz (1991), referenciado por Borroto Pentón (2005), auditar en mantenimiento es mejorar la competitividad de las empresas, es decir saber exactamente dónde se está. Con una auditoría se descubre una situación y se detectan las áreas que presentan problemas, se puede intentar mejorar estas áreas por medios propios o mediante la contratación del mantenimiento. Este autor plantea que una auditoría no da soluciones, dice cómo se está, dónde se está y dónde se debería estar, pero no dice cómo se puede llegar. Esa es otra fase, y muy compleja, por lo que depende de cada entidad lograr el mejoramiento continuo de la Gestión del Mantenimiento; una auditoría es clave para el área de mantenimiento de cualquier entidad.

La autora de esta investigación plantea que otra de las definiciones de auditoría de mantenimiento que resulta adecuada es la emitida por Corretger Rauet (1996), pues la considera bastante general. El mismo plantea que consiste en la evaluación, análisis y la valoración objetiva, periódica y sistemática de las funciones, características esenciales del servicio, para comprobar la corrección del sistema de Gestión de Mantenimiento empleado y su evolución en el tiempo, ya que cuánto mejor aplicadas sean, se corregirán en mayor grado los problemas que se detecten, facilitando la consecución de sus objetivos.

Otro método para evaluar el desempeño de mantenimiento es a través del análisis y diagnóstico de dicha área. Según Tavares (2001), el mismo debe ser desarrollado con la participación de especialistas de las áreas de: Planificación, Organización y Métodos, Análisis de Sistemas y principalmente, usuarios, debiendo todos los participantes poseer la delegación del poder de decisión en sus actividades, para que el sistema desarrollado alcance el objetivo deseado.

A decir por este autor para el desarrollo de este método se forma un grupo de trabajo de la propia empresa que, asesorado o no por consultores externos, se encarga de evaluar la situación de los distintos aspectos de la gestión del mantenimiento. Este grupo de trabajo, coordinado por el gerente de mantenimiento, deberá estar compuesto por representantes de las áreas de ejecución del mantenimiento y otras a esta directamente e indirectamente relacionadas (operación, material, organización y métodos, recursos humanos,

capacitación y desarrollo, compras, procesamiento de datos, nuevos proyectos, archivo/biblioteca, control patrimonial, contabilidad y seguridad industrial), algunos de los cuales tendrán su participación limitada, solamente a los temas de sus niveles de acción.

### **1.6 Indicadores de la gestión de activos**

En correspondencia con los objetivos de la investigación, resulta necesario revisar algunos aspectos fundamentales relacionados con la temática de los indicadores, como forma de sintetizar aquellos elementos imprescindibles para lograr una correcta selección de estos.

Según Zabiski Duardo (2003), los indicadores proporcionan datos sobre los negocios, los que pueden convertirse, a partir de su comunicación, en información y al final, permiten tomar decisiones.

Según Hernández Cruz & Navarrete Pérez (2001), un indicador es un parámetro numérico que facilita la información sobre un factor crítico identificado en la organización, en los procesos o en las personas respecto a las expectativas o percepción de los clientes en cuanto a costo, calidad y plazos.

La autora de esta investigación presentará la definición expuesta por Castro (2002), pues la considera lo suficientemente exhaustiva y general. El mismo plantea que un indicador no es más que un signo que ofrece información más allá del dato mismo, permitiendo un conocimiento más comprensivo de la realidad a analizar. Se convierte en una variable que indica determinada información sobre una realidad que no se conoce de forma completa o directa.

A decir por este autor, las tres funciones básicas de los indicadores son: simplificación, cuantificación y comunicación. Esto implica que los mismos deben permitir una representación empírica de la realidad en la que se reduzca el número de componentes. Deben medir de manera cuantitativa el fenómeno a representar, o al menos establecer una escala por medio de la cual se consiga una especificación de aquellos conceptos que no pueden ser medidos cuantitativamente y, por último, debe tener la capacidad de transmitir la información del objeto de estudio al cual están vinculados.

Las características fundamentales que deben cumplir los indicadores de mantenimiento son las siguientes:

- Pocos, pero suficientes para analizar la gestión
- Claros de entender y calcular
- Útiles para conocer rápidamente como van las cosas y por qué

Es importante para el trabajo con los indicadores, tener presente los errores o defectos más usuales en los que se ha incurrido en los lugares donde se ha trabajado en este sentido, entre ellos se pueden citar como más importantes los siguientes:

- Inadecuada selección de los índices, excesivos en número y no jerarquizados
- Insuficiente y confusa definición que provoque diferentes interpretaciones y/o cálculos
- Inadecuados sistemas de captación de datos para el cálculo de los índices, cálculos erróneos y/u obtenidos con retraso
- Falta de establecimiento de valores objetivos y dificultades en obtener la información adecuada
- Carencia de controles sistemáticos
- Demora en la toma de decisiones

Uno de los principales documentos sobre el tema de indicadores de mantenimiento es el realizado por Tavares (2001) y Tavares et al. (2005), donde plantean una serie de indicadores los cuales son divididos en cuatro grupos fundamentales (**Ver Anexo 4**).

Otros autores (Améndola, 2003; Galvao Zen, 1998; Gusmao, 2001; Navarrete Pérez & González Martín, 1986; Hernández Cruz & Navarrete Pérez, 2001) además de las coincidencias con Tavares (2001) y Tavares et al. (2005) también proponen otros índices como es el caso de la confiabilidad, utilización, mantenibilidad, tiempo medio de vida, una serie de elementos primarios con los cuales se pueden calcular un grupo importante de indicadores para un mejor control del mantenimiento, entre otros.

### **1.7 Métodos de estimación de indicadores de la gestión de activos**

Según Mora Gutiérrez (2007), la confiabilidad, la mantenibilidad y la disponibilidad son prácticamente los únicos indicadores técnica y científicamente, fundamentados en cálculos matemáticos, estadísticos y probabilísticos que tiene el mantenimiento para su análisis y evaluación científica. La forma en que se realiza la estimación de cada uno de estos indicadores relacionales del sistema de Mantenimiento y Producción es amplia y diversa; la literatura universal sobre el tema provee diversas formas y métodos.

Un método adecuado para medir y evaluar eficazmente estos indicadores es el modelo universal para el manejo de la Confiabilidad – Mantenibilidad – Disponibilidad (CMD) propuesto por dicho autor, el cual constituye una herramienta fácil de usar para controlar la gestión y operación integral del mantenimiento.

Mora Gutiérrez (2007) plantea que la confiabilidad se puede entender como una característica propia del diseño de máquinas, que permite estudiar mediante principios científicos y matemáticos las fallas de los elementos de los equipos, para el análisis de los procesos de un diseño, la determinación de los costos del ciclo de vida y la seguridad de un producto. Además se utiliza en el análisis de datos operativos para el mantenimiento, permitiendo conocer el comportamiento de equipos en operación con el fin de aislar componentes con problemas, diseñar las políticas de mantenimiento, calcular instantes óptimos de sustitución económica de equipos y establecer frecuencias de ejecución del mantenimiento preventivo.

La medida de la confiabilidad de un equipo es la frecuencia con la cual ocurren las fallas en el tiempo. Si no hay fallas, el equipo es 100% confiable; si la frecuencia de fallas es muy baja, la confiabilidad del equipo es aún aceptable; pero si la frecuencia de fallas es muy alta, el equipo es poco confiable. Un equipo bien diseñado, perfectamente montado, correctamente probado y apropiadamente mantenido no debe fallar nunca (en teoría); sin embargo, la experiencia ha demostrado que incluso los equipos mejor diseñados, montados y mantenidos fallan alguna vez (Bazovsky, 2004).

La confiabilidad está estrechamente relacionada con la calidad de un producto y es con frecuencia considerada un componente de esta. La confiabilidad se interesa por cuánto tiempo el producto continúa en funcionamiento después de entrar en operación. Una baja calidad del producto implica una disminución de su confiabilidad, de la misma manera que una calidad alta implica una confiabilidad elevada.

La mantenibilidad es una medida vital para la predicción, evaluación, control y ejecución de las tareas correctivas, preventivas o predictivas de mantenimiento; permite mejorar los tiempos y las frecuencias de ejecución de acciones de reparación o mantenimiento en las máquinas.

Según Mora Gutiérrez (2007), se le denomina mantenibilidad a la probabilidad de que un elemento, máquina o dispositivo, pueda regresar nuevamente a su estado de funcionamiento normal después de una avería, falla o interrupción productiva (funcional o de servicio), mediante una reparación que implica la realización de unas tareas de mantenimiento, para eliminar las causas inmediatas que generan la interrupción.

Dicho autor plantea que la forma más clara de medir la mantenibilidad es en términos de los tiempos empleados en las diferentes restauraciones, reparaciones o realización de las tareas de mantenimiento requeridas para llevar nuevamente el elemento o equipo a su estado de funcionalidad y normalidad. La mantenibilidad expresa la capacidad con que un equipo se deja mantener para ser regresado a su estado de referencia. El mantenimiento son las acciones concretas que se realizan para mejorar la mantenibilidad, siendo esta última la calificación de cómo se realiza el mantenimiento.

La disponibilidad no es más que la probabilidad de que el equipo funcione satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables donde el tiempo total considerado incluye el tiempo de operación, tiempo activo de reparación, tiempo inactivo, tiempo en mantenimiento preventivo (en algunos casos), tiempo administrativo, tiempo de funcionamiento sin producir y tiempo logístico (Mora Gutiérrez, 2007).

La disponibilidad es una herramienta útil en situaciones en las que se tienen que tomar decisiones con respecto a la adquisición de un elemento entre varias posibles alternativas. Diferentes autores hacen referencia a distintos tipos de disponibilidad, en el caso particular del modelo propuesto por Mora Gutiérrez (2007), se usan las siguientes:

- Genérica
- Inherente
- Alcanzada
- Operacional
- Operacional generalizada

Por lo antes expuesto, la autora coincide con Mora Gutiérrez (2007) cuando expresa que de forma general se puede afirmar que la confiabilidad permite establecer y medir cómo actúa el área de producción en la administración y explotación de los equipos para generar bienes y servicios y, por otro lado la mantenibilidad evalúa la gestión y operación del mantenimiento que se realiza a esos elementos o máquinas. La disponibilidad es el adjetivo calificativo integral de las dos áreas (producción y mantenimiento, actuando conjuntamente), como de otras divisiones de la empresa; mide la obtención de productos y bienes intangibles de la empresa en general. La confiabilidad es responsabilidad de producción, la mantenibilidad es compromiso de mantenimiento y la disponibilidad es encargo de la gerencia o dirección que está por encima de ambas y que abarca probablemente otras áreas de la compañía.

### **1.8 Impacto de la gestión de activos sobre el desempeño de operaciones**

Según Schroeder et al. (1999) las prácticas del Mantenimiento Productivo Total (TPM) impactan significativamente sobre la GO. Dicho autor reconoce el impacto de la gestión de activos sobre las cuatro prioridades competitivas fundamentales: calidad, costos, plazos de entrega y flexibilidad. El mismo plantea que las empresas que implementan TPM no solo serán capaces de mejorar sus prácticas de mantenimiento, sino también de mejorar su desempeño de operaciones. Existen relaciones directas e indirectas entre TPM y MP. Una de las relaciones

indirectas utilizadas por este autor para explicar esta relación es a través de la filosofía Just in Time (JIT).

En este sentido puede consultarse a Gaither & Frazier (2000) quienes realizan un análisis donde señalan los principales problemas que una deficiente gestión del mantenimiento ocasionaría sobre la capacidad de producción, el costo de producción, la calidad del producto y del servicio, la seguridad de los empleados o de los clientes y sobre la satisfacción de estos últimos.

Achermann (2008) plantea que mantenimiento tiene un alto impacto en la disponibilidad del sistema de producción, independientemente de los elementos de diseño y la calidad que presente el mismo. 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.

Para intentar dar respuesta a esta problemática, Achermann (2008) propone un modelo el cual se divide en tres partes: módulo de mantenimiento y fallos, módulo logístico y módulo de producción. Dentro de estos módulos se modelan todos los procesos de costo-efectividad. La parte principal del modelo corresponde al módulo de mantenimiento y fallos, que ofrece una representación de diferentes estrategias de mantenimiento e incorpora el efecto de mantenimiento proactivo y mantenimiento correctivo.

### **1.9 Conclusiones parciales**

1. Después de haber realizado el análisis de las fuentes bibliográficas consultadas pudo constatar que a pesar de que existen ciertos enfoques que abordan la temática referida al impacto de la gestión de activos sobre el

desempeño de Operaciones, no se encontró un procedimiento específico dirigido a la evaluación de dicho impacto.

2. Autores como Schroeder et al. (1999) reconocen el impacto de las prácticas de mantenimiento sobre el desempeño a Operaciones en lo que a prioridades competitivas se refiere, sin embargo, no establece modelos funcionales que logren cuantificar tal impacto.
3. Una aproximación analítica para representar el impacto de la gestión de activos fijos sobre el desempeño de Operaciones lo constituye un estudio realizado por Achermann (2008) acerca del impacto de mantenimiento en la disponibilidad del sistema de producción.

## **Capítulo II: Procedimiento para evaluar el impacto de la gestión de activos sobre la Gestión de Operaciones**

Para dar solución al problema científico planteado se decidió elaborar un procedimiento dirigido a la evaluación del impacto de la gestión de activos fijos sobre la GO, el cual constituye uno de los aportes fundamentales de la presente investigación.

Para la elaboración de la propuesta que se presenta se ha tenido en cuenta, de una parte, la relación desde el punto de vista funcional que existe entre los subsistemas de Operaciones y de Mantenimiento, siendo la primera una función básica y la segunda una función auxiliar, dirigida a apoyar el cumplimiento de los objetivos y decisiones tomadas en la GO. En la **Figura 2.1** se representa gráficamente el procedimiento propuesto. A continuación se detalla el contenido de cada una de sus etapas.

### **2.1 Conformación del equipo de trabajo y selección del grupo de expertos**

Esta etapa está dirigida a determinar la estructura del equipo encargado de desarrollar el proyecto y seleccionar los expertos que realizarán la evaluación de los resultados, ya que involucrar al personal de todas las áreas implicadas permite ganar eficiencia y eficacia en el trabajo a partir de la sistematicidad de los análisis. Los integrantes del equipo de trabajo deben tener un nivel de conocimientos adecuado sobre los elementos abordados, siendo imprescindible la presencia de operadores, mantenedores y alguna representación de la gerencia, con el nivel de autoridad requerida para apoyar la realización del estudio y coordinar los elementos necesarios para garantizar el desarrollo del trabajo. Teniendo en cuenta estas consideraciones el grupo de trabajo queda conformado de la siguiente forma:

- Director de la Empresa Cervecería “Antonio Díaz Santana”
- Jefe del Departamento de Producción.
- Jefe del Departamento de Mantenimiento.
- Tutor de la presente investigación
- Autora de la presente investigación.

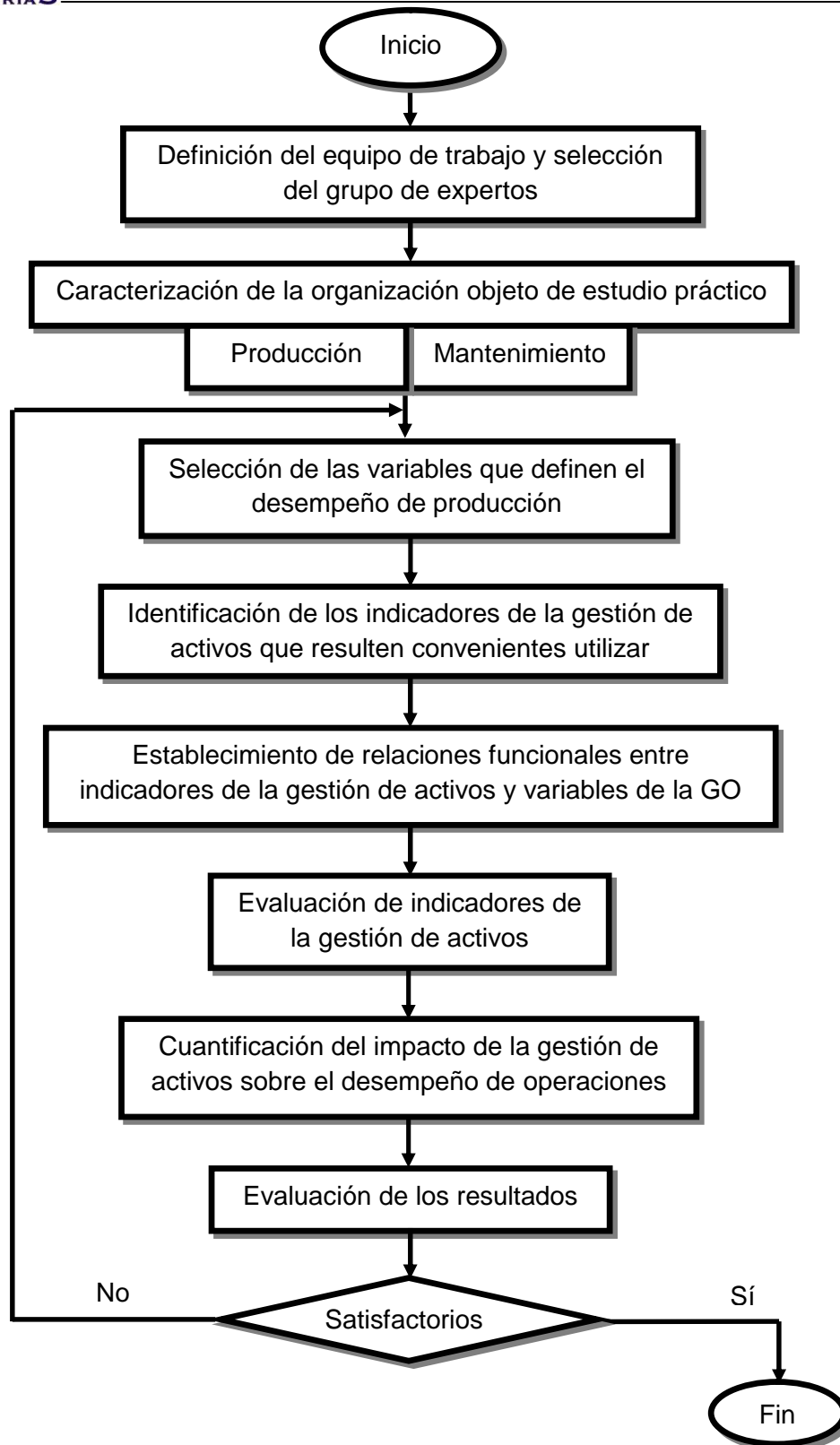


Figura 2.1. Procedimiento para evaluar el impacto de la gestión de activos sobre la GO

Fuente: Elaboración propia

El grupo de expertos deberá constituirse por el personal de mayor experiencia, que muestren un nivel de compromiso alto con relación al proyecto para la evaluación del impacto de la gestión de activos sobre operaciones y asuman una actitud imparcial, eliminando las preferencias y siendo objetivos en los análisis. Su número quedará determinado a partir de la expresión utilizada por Díaz Cazañas (2008):

$$n = \frac{p * (1 - p) * k}{i^2} \quad (2.1)$$

donde:

i - Nivel de precisión deseado

p - Proporción estimada de errores de los expertos

k - Constante asociada al nivel de confianza elegido

En la expresión se sustituyen los valores de K = 3,842 (de acuerdo con un nivel de confianza del 95%), p = 0,02 e i = 0,10. Luego de efectuarse los cálculos se obtiene que el grupo de expertos deberá estar integrado por 8 miembros, los cuales se mencionan a continuación:

- Director de la Empresa Cervecería “Antonio Díaz Santana”
- Jefe del Departamento de Producción
- Jefe del Departamento de Mantenimiento.
- Especialista de Producción (planificador de la producción).
- Especialista de Mantenimiento.
- Técnico A en mantenimiento y explotación de equipos e instalaciones industriales.
- Jefe de la línea de producción.
- Jefe del Taller Mantenimiento Embotellado.

## **2.2 Caracterización de la organización**

En esta etapa se identificarán las características generales de la organización tales como: ubicación, sector a que pertenece, misión, visión, productos y/o servicios que ofrece, entre otras. Se realizará además una caracterización de los

subsistemas de Operaciones y de Mantenimiento, por ser estas las áreas involucradas directamente en la investigación.

En cuanto a Operaciones, se tratarán los principales problemas que afronta esta área, se tendrá en cuenta la estrategia de este subsistema fundamentalmente en lo que a prioridades competitivas se refiere. Para la caracterización del subsistema de Mantenimiento se propone tomar como base la metodología utilizada por Borroto Pentón (2005), en la cual se divide la GM en seis áreas para su análisis: Organización, Administración, Personal, Infraestructura y equipos de mantenimiento, Equipos e instalaciones, y Tercerización, pues se considera proporciona un análisis estructurado e integral del área. La elaboración previa de las preguntas, su calidad y nitidez contribuirá a desarrollar un eficiente proceso de recopilación de información.

### **2.2.1 Caracterización del objeto de estudio práctico**

La Cervecería “Antonio Díaz Santana”, perteneciente al Ministerio de la Industria Alimenticia, es un centro de amplias dimensiones, fundado en 1953 por la firma Bacardí. La misma se encuentra ubicada en Carretera Central, Km. 247 municipio Santo Domingo, provincia Villa Clara.

Los productos que comercializa la empresa son:

- Cerveza a granel y embotellada
- Malta dispensada y embotellada
- Cerveza dispensada 70/30
- Cerveza 70/30
- Cerveza 50/50
- Cerveza a granel
- Caldo

Entre las áreas más importantes se encuentra la Unidad Empresarial de Base (UEB) de Embotellado. Entre los productos fundamentales que oferta la UEB, específicamente, se encuentran la malta y la cerveza embotellada que es uno de los principales aportes económicos que tiene esta entidad. Algunos de los elementos de la planeación estratégica son los siguientes:

*Misión:*

La UEB Embotellado, tiene como principal tarea garantizar la producción de cervezas y maltas a través de una gestión eficaz y eficiente en el uso de los recursos, cumpliendo con la disciplina tecnológica establecida para cada una de las etapas del proceso de producción, efectuando todas las actividades de inspección y ensayo que nos permitan la obtención de un producto final competitivo manifestándose en su calidad.

*Visión:*

La UEB de Embotellado se distingue por su tecnología tradicional definiendo métodos efectivos para las diferentes producciones y servicios de mantenimiento, existiendo toda una cultura cervecera por parte del colectivo de trabajadores, siendo capaces de asimilar la adquisición e incorporación de nuevos conocimientos científicos y tecnológicos a la actividad de la Organización de Base con el objetivo de mantener e incrementar sus niveles de eficiencia.

### **2.2.2. Caracterización del subsistema de Operaciones**

Las prioridades competitivas en la empresa se dirigen hacia la optimización de la calidad como principal estrategia; además de desarrollar el producto con rapidez para garantizar entregas oportunas; teniendo en cuenta que los costos de cada año no se distinguen por tener gran variabilidad.

En cuanto a la decisión sobre el producto, puede afirmarse que el 15 % de la producción se realiza por pedido, el resto se realiza en entregas directas con cobertura en el ciclo de entrega. Pudiera decirse que la producción es de tipo seriada.

Se cuenta con equipamiento dentro de la línea de embotellado con más de 20 años de explotación por lo que es mucho más necesario realizar el mantenimiento según su planificación. No se han realizado inversiones en cuanto al equipamiento en los últimos años a pesar de que la maquinaria más moderna que es la etiquetadora Cosme está instalada desde el 2002. De manera general, se explotan en su totalidad las posibilidades de trabajo en régimen automático.

Las decisiones en torno a la planificación y control de la producción a nivel táctico incluyen la subcontratación, reubicaciones y programación de vacaciones. El

régimen de trabajo en Embotellado se compone por 12 horas con 36 de descanso, teniendo dos turnos de trabajo de 5.00AM a 5.00PM y de 7.00AM a 7.00PM.

### **2.2.3. Caracterización del subsistema de Mantenimiento**

#### *Organización del Mantenimiento:*

Todas las actividades del mantenimiento en la Empresa Cervecería Manacas están reguladas y se llevan a cabo según las Normas y Procedimientos establecidos en el Sistema de Mantenimiento Fabril del MINAL, vigente desde agosto/94.

El mantenimiento a nivel de fábrica presenta una organización conformada por: un Jefe del área de Mantenimiento, un grupo técnico, una brigada de construcción civil y cuatro talleres que realizan las actividades de tipo mecánica, eléctrica, de instrumentación y de construcción civil. El Plan de Reparaciones se elabora como mínimo con seis meses de antelación al año de ejecución. Antes de culminar el año en curso debe analizarse y realizar ajustes si fuera necesario.

Existe la documentación técnica de todos los equipos, se cuenta con la información relacionada con el historial del equipo, registrándose los tiempos de funcionamiento, vida útil, fallos, entre otras informaciones.

#### *Administración del Mantenimiento:*

No existe en la empresa un método técnicamente fundamentado para calcular el presupuesto de mantenimiento. En general el tipo de mantenimiento aplicado en esta industria es el Mantenimiento Preventivo Planificado (MPP), para ello se debe elaborar un plan el cual tiene como principales bases el tiempo de explotación de cada equipo, sus características técnicas y la criticidad dentro del proceso productivo entre otras.

#### *Personal:*

El área está conformada por un grupo técnico compuesto por tres técnicos y dos especialistas, una brigada conformada por un Jefe de Brigada y once obreros y cuatro talleres: el de Reparación y Montaje integrado por un Jefe de Taller y 26 obreros, el de Mantenimiento Embotellado compuesto por un Jefe y 22 obreros, el de Maquinado conformado por un Jefe y once obreros y el Taller Eléctrico integrado por un Jefe y 14 obreros. En esta área se laboran 8 horas diarias de

lunes a viernes con sábados alternos de 7.00AM a 3.30PM. Existe un buen nivel de motivación dentro del personal de la planta a pesar de que las condiciones de trabajo no son satisfactorias en su generalidad.

*Infraestructura y Equipos de Mantenimiento:*

El área de trabajo asignada a Mantenimiento se divide en las secciones de mecánica, eléctrica, de instrumentación y construcción civil. Aunque ha aumentado la disponibilidad de herramientas, aún no se cuenta con el utilaje necesario para efectuar el trabajo con la calidad deseada. Es muy frecuente la falta de materiales para ejecutar las reparaciones.

*Equipos e instalaciones:*

La planta Embotelladora cuenta con ocho equipos, estos son: una desempacadora, una empacadora, una lavadora de botellas, una llenadora tapadora, una pasteurizadora, una etiquetadora COSME y dos telescopios.

De manera general el estado técnico de los equipos instalados es malo, pues la mayoría de estos cuentan con más de 20 años de explotación, todo esto conspira contra el buen desarrollo de los trabajos de mantenimiento.

Todos los equipos están contemplados en el plan de reparaciones, tienen sus carpetas con toda la documentación actualizada y se cumplen los controles que están relacionados en el Manual de buenas prácticas del mantenimiento de la empresa.

*Tercerización:*

En la empresa no se hace uso de esta estrategia pues todas las actividades relacionadas con el mantenimiento son asignadas al departamento de Mantenimiento de la empresa y su personal es el encargado de efectuarlas.

Dentro de los problemas fundamentales de este subsistema se destacan los siguientes:

- Déficit en la estrategia logística
- No existe un método técnicamente fundamentado par calcular el presupuesto de Mantenimiento
- Se viola en ocasiones el plan de mantenimiento preventivo
- Déficit de equipos para el mantenimiento

- Falta de información oportuna
- Déficit de piezas de repuesto y herramental necesario para efectuar las reparaciones

### **2.3 Selección de las variables que definen el desempeño de Operaciones**

En esta investigación, el desempeño de operaciones será analizado a partir de los propios objetivos que persigue esta área dentro de la empresa (Domínguez Machuca et al., 1995). Se evitará la dimensión económica para centrar el análisis en elementos técnico – organizativos, determinados en este caso por las prioridades competitivas, tomando dentro de estas, las que se encuentran condicionadas en mayor medida por el desempeño del subsistema de Mantenimiento, en este caso: costo, calidad y plazo de entrega.

### **2.4 Identificación de los indicadores de la gestión de activos que resulten convenientes utilizar**

Dentro del conjunto de indicadores que caracterizan la gestión de activos fijos (Tavares, 2001; Mora Gutiérrez, 2007) el equipo de trabajo deberá seleccionar aquellos que presenten un mayor impacto sobre las variables seleccionadas para caracterizar el desempeño de Operaciones. Además de lo planteado en la bibliografía, el análisis debe apoyarse en las opiniones de personas con experiencia en el tema. Debe considerarse, a efectos prácticos, la posibilidad de contar con los recursos necesarios para realizar una valoración de estos indicadores en la empresa.

En esta investigación se propone emplear como indicadores de la gestión de activos fijos los siguientes: confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad, costo directo de mantenimiento y calidad, esta última medida a partir del impacto de la GM sobre la calidad del producto, para lo cual puede seleccionarse varias alternativas, tal como se explica en el paso siguiente.

## **2.5 Establecimiento de relaciones entre indicadores de la gestión de activos fijos y variables de la GO**

De acuerdo con lo planteado por autores como Gaither & Frazier (2000) se propone analizar las relaciones siguientes entre las variables que caracterizan el desempeño de Operaciones e indicadores de la gestión de activos fijos:

- plazo de entrega – disponibilidad
- costo de producción – costo directo de mantenimiento
- calidad del producto – impacto de la condición del equipo sobre esta, o impacto que presenta la eficacia del plan de mantenimiento preventivo sobre la cantidad de productos defectuosos debido a fallos parciales del equipamiento.

El plazo de entrega se evaluará a partir de la capacidad de producción, siendo la disponibilidad uno de los factores empleados para el cálculo de esta última, según se aprecia en expresiones para el cálculo de la capacidad planteadas por autores como: Domínguez Machuca et al. (1995), Achermann (2008), entre otros. De esta forma se plantea que:

$$C = U * D * \frac{T_i}{N_t} \quad (2.2)$$

donde:

C: capacidad de producción

U: % de utilización del equipo

D: disponibilidad

T<sub>i</sub>: período de tiempo que se analiza

N<sub>t</sub>: Norma de tiempo

Para modelar la relación entre el costo de producción y el costo directo de mantenimiento se tuvo en cuenta la estructura del primero, el cual está integrado por varias partidas, siendo una de ellas los gastos de taller, donde se ubica el costo de mantenimiento (Portuondo Pichardo, 1983). Debido a que el análisis detallado de cada uno de los elementos que integran el costo de producción queda fuera del alcance de la investigación, el estudio se limita a la evaluación del impacto del costo de mantenimiento sobre el de producción; a tal fin puede emplearse un análisis de regresión, siempre que exista la información requerida.

En caso de que se demuestre la existencia de una relación lineal entre el costo de producción y el costo directo de mantenimiento podrá emplearse la clásica ecuación de regresión lineal:

$$y = ax + b \quad (2.3)$$

donde:

y: costo de producción

x: costo directo de mantenimiento

a: pendiente

b: intercepto, determinado por la influencia de los restantes elementos del costo de producción sobre el de mantenimiento.

En cuanto a la calidad del producto, la autora del presente trabajo considera que el impacto que sobre esta tiene la GM (o la gestión de activos fijos) puede analizarse desde las perspectivas siguientes:

1. Analizar la calidad del producto en función del desempeño (condición) del equipo, a partir de la relación entre productos defectuosos debido al desempeño inadecuado del equipo y el volumen de productos obtenidos. Esta es la forma en que se presenta el indicador calidad en la estructura del índice Efectividad Global de Equipos (EGE), de acuerdo con Tavares (2001).
2. Analizar el comportamiento de una determinada característica de calidad del producto en base a la condición del equipo. Para esta alternativa se necesitaría definir la característica de calidad del producto y la variable que determina la condición del equipo. Esto conduciría a encontrar una relación entre la característica de calidad y la o las variables que determinan la condición del equipo.
3. Determinar el comportamiento de la cantidad de productos defectuosos en función del tiempo entre intervenciones planificadas. En este caso nuevamente es susceptible de aplicar un análisis de regresión, a fin de describir la relación entre las variables consideradas.

## **2.6 Evaluación de indicadores de la gestión de activos fijos**

Esta etapa estará dirigida a evaluar los indicadores confiabilidad y mantenibilidad para, a partir de los mismos, obtener la disponibilidad. Para ello se desarrollará un

procedimiento específico, el mismo se muestra en la **Figura 2.2**. A continuación se detalla cada uno de los pasos de este procedimiento.

### **2.6.1 Recopilación de la información**

Todos los métodos estadísticos parten de la obtención de la información del proceso que se estudia y esa información que se toma experimentalmente trata de ajustarse a algún modelo matemático. Al modelar es indispensable que el modelo conlleve a una decisión adecuada y al menor costo posible.

La información puede ser recopilada a partir de la revisión de documentos, de la realización de entrevistas, de la observación directa, entre otras.

### **2.6.2 Definición del tipo de modelo para la estimación de indicadores**

Luego de haberse registrado la información para la realización de la tarea, se hace necesario definir el tipo de modelo a utilizar para la estimación de indicadores, ya que la misma puede realizarse mediante modelos puntuales o por funciones de probabilidad utilizando distribuciones. En este caso, el investigador debe seleccionar el modelo que utilizará.

De realizarse la estimación puntual, se requerirá, seleccionar la medida de tendencia central a adoptar (entiéndase la media, la mediana, la moda, etc.) y a partir de la misma se realiza la estimación de los indicadores.

Para la estimación utilizando funciones de probabilidad, primeramente se identificará el modelo de distribución a que se ajustan los datos. Existen infinitas distribuciones de las cuales muchas son útiles para simular adecuadamente tanto la confiabilidad como la mantenibilidad, en el **Anexo 5** se muestran las más relevantes. A partir de dicho modelo se estimarán los parámetros que identifican al mismo.

Finalmente se realizará la evaluación de los indicadores a partir de funciones de probabilidad, teniendo en cuenta que la confiabilidad es la probabilidad de que el equipo funcione correctamente dentro de un tiempo mayor o igual a  $T$ , y la mantenibilidad es la probabilidad de que el equipo sea reparado en un tiempo menor o igual a  $T$ , donde  $T$ , para ambos casos, es el período de tiempo que se analizará.

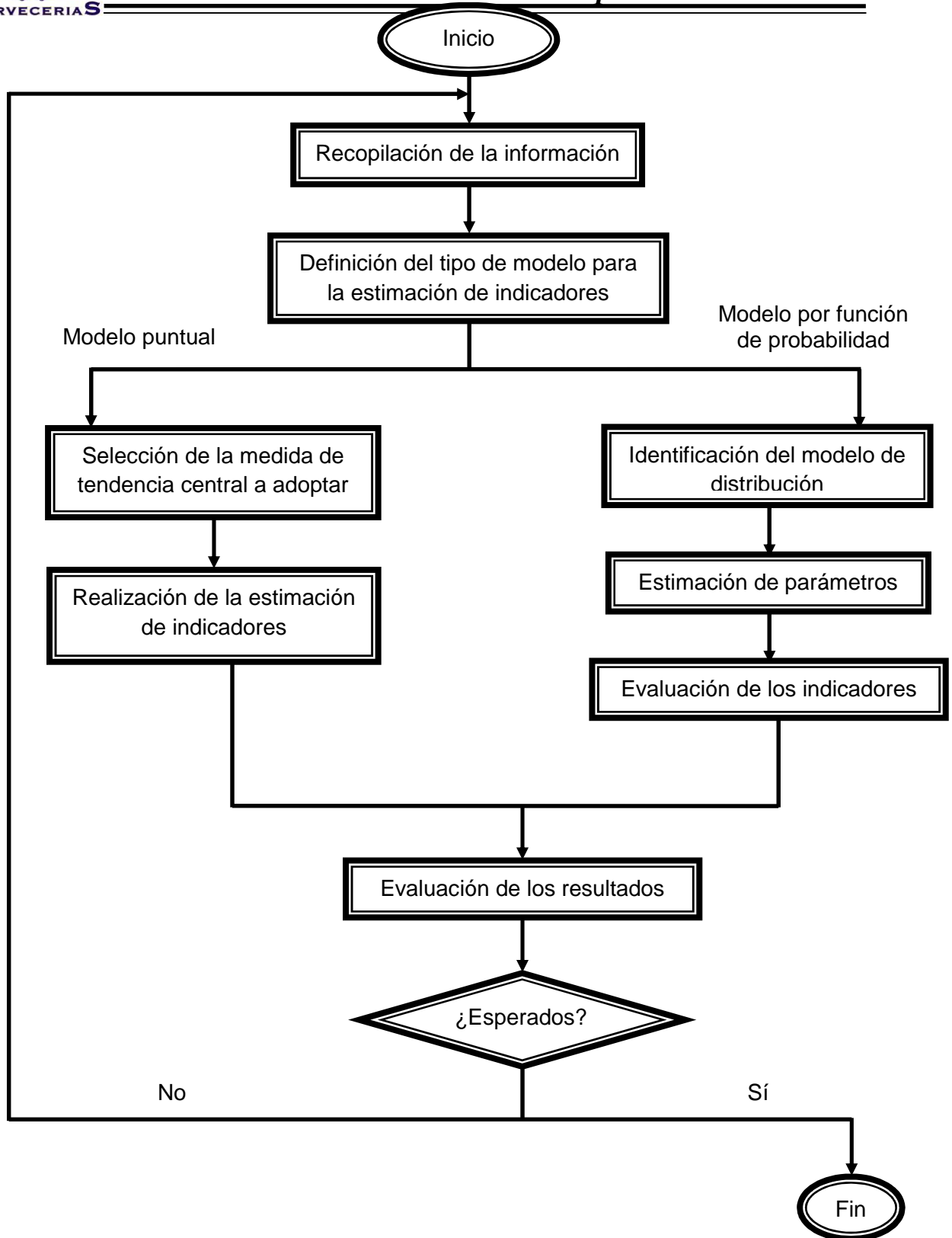


Figura 2.2. Procedimiento para la estimación de parámetros de confiabilidad y mantenibilidad

Fuente: Elaboración propia

### **2.6.3 Evaluación de los resultados obtenidos al estimar los indicadores confiabilidad y mantenibilidad**

Después de haber evaluado los indicadores, los resultados obtenidos deben ser mostrados a los expertos y estos, apoyándose en su experiencia y considerando el comportamiento histórico de estos indicadores, decidirán si estos resultados son los esperados, de ser así se finaliza el procedimiento, de lo contrario se revisaría el mismo desde el inicio.

### **2.7 Cuantificación del impacto de la gestión de activos sobre el desempeño de Operaciones**

Una vez definida las relaciones funcionales entre las variables de mantenimiento y las que caracterizan el desempeño de Operaciones se está en condiciones de obtener los resultados en las variables de respuesta a partir de los valores calculados para los indicadores de la gestión de activos, que en este caso actúan como variables independientes.

### **2.8 Evaluación de los resultados**

Luego de cuantificar el impacto de la gestión de activos fijos sobre el desempeño de Operaciones, dado por los valores que muestran las variables de respuesta (variables que miden el desempeño de Operaciones), se les presentará a los expertos estos resultados para valorar si estos toman valores lógicos, o sea, reflejan verdaderamente las condiciones bajo las cuales opera el sistema Operaciones - Mantenimiento. En caso de que los resultados obtenidos no sean coherentes con la realidad, según las valoraciones de expertos, se revisaría la efectividad en el diseño y aplicación de las etapas anteriores.

### **2.9 Conclusiones parciales**

1. Se elaboró un procedimiento para evaluar el impacto de la gestión de activos fijos sobre la Gestión de Operaciones, el cual incluye, como principales pasos la selección de variables medidoras del desempeño de Operaciones, la identificación de los indicadores adecuados para evaluar la gestión de activos fijos, el establecimiento de relaciones funcionales entre indicadores de mantenimiento y variables de operaciones y la evaluación de los indicadores

## ***Procedimiento para evaluar el impacto de la gestión de activos sobre la Gestión de Operaciones***

---

- de la gestión de activos, elaborándose un procedimiento específico para este último paso.
2. Las variables establecidas para medir el desempeño de Operaciones fueron calidad, costo de producción y plazo de entrega. Los indicadores de la gestión de activos identificados que condicionan las primeras fueron: confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad y costo directo de mantenimiento.
  3. El establecimiento de las relaciones funcionales entre las variables que caracterizan el desempeño de Operaciones y los indicadores de la gestión de activos constituye uno de los elementos medulares del procedimiento propuesto; estas quedaron establecidas de la siguiente forma: plazo de entrega – disponibilidad, costo de producción – costo directo de mantenimiento y calidad del producto en función del impacto de la condición del equipo sobre esta, o el impacto que presenta la eficacia del plan de mantenimiento preventivo sobre la cantidad de productos defectuosos debido a fallos parciales del equipamiento.

### **Capítulo III: Evaluación del impacto de la gestión de activos sobre el desempeño de Operaciones en la UEB Embotellado**

Para dar cumplimiento a los objetivos trazados en la presente investigación, este capítulo estará destinado a cuantificar y evaluar el impacto de la gestión de activos fijos sobre el desempeño de Operaciones, a partir de las relaciones funcionales establecidas en el capítulo anterior. Luego se identificarán algunos cambios que deben realizarse en el sistema Operaciones – Mantenimiento.

#### **3.1 Relación plazo de entrega – disponibilidad**

La relación entre el plazo de entrega y la disponibilidad se establecerá a partir de la capacidad de producción, ya que la disponibilidad constituye uno de los factores empleados para el cálculo de esta última y teniendo en cuenta además, el volumen de producción; la misma quedará planteada como sigue:

$$\text{plazo de entrega} = \frac{V_p}{C} \quad (3.1)$$

Sustituyendo la ecuación 3.1 en la 2.2 se obtiene:

$$\text{plazo de entrega} = \frac{V_p}{U * D * \frac{T_i}{N_t}} \quad (3.2)$$

donde:

$V_p$ : Volumen de producción

C: capacidad de producción

U: % de utilización del equipo

D: disponibilidad

$T_i$ : período de tiempo que se analiza

$N_t$ : Norma de tiempo

Para cuantificar esta relación, será necesario calcular la disponibilidad, lo cual se realizará a partir de la estimación de la confiabilidad y de la mantenibilidad, tal como lo propone el procedimiento para la estimación de parámetros de confiabilidad y mantenibilidad detallado en el capítulo anterior. Para ello se seleccionó, primeramente, el equipo que se tomará como referencia para la

realización de la tarea. El grupo de trabajo determinó que se utilizará el equipo llenadora, teniendo en cuenta que constituye el cuello de botella del proceso, además de que el mismo realiza la operación principal dentro del flujo productivo. La información fue obtenida a partir de la revisión de documentos. Los datos necesarios para la estimación de confiabilidad y mantenibilidad específicamente son el tiempo entre fallos y el tiempo de reparación, esta información se encuentra registrada en las órdenes de trabajo del obrero de mantenimiento. La evaluación de los indicadores fue realizada tomando en consideración lo expuesto por Mora Gutiérrez (2007), el mismo plantea que aunque el cálculo de confiabilidad y de mantenibilidad puede realizarse tanto por modelos puntuales como por función de probabilidad utilizando distribuciones, cuando se requieren desarrollar estrategias y acciones concretas de mantenimiento y de producción, definitivamente es mejor utilizar las distribuciones .

Para ello, se identificó el modelo de distribución a que se ajustan los datos, a través de la utilización del software BestFit, en la **Figura 3.1 y 3.2** se muestran los resultados obtenidos para confiabilidad y mantenibilidad respectivamente; en el **Anexo 6** se muestra el gráfico obtenido para cada indicador.

Tal como se observa en las Figura 3.1 y 3.2, el mejor modelo al cual se ajustan los datos es la distribución Weibull, para ambos casos; obteniéndose como parámetros, para el caso de la confiabilidad  $\alpha = 2.56$  y  $\beta = 46.03$ , y para la mantenibilidad  $\alpha = 1.49$  y  $\beta = 0.95$ .

Una vez identificado el modelo de distribución y conociéndose los parámetros del mismo, se puede realizar la estimación de los indicadores, tomando en consideración las expresiones propuestas por Mora Gutiérrez (2007), donde plantea, para el caso específico de la distribución Weibull, lo siguiente:

Para confiabilidad:

$$R_{(t)} = P(x \geq T) = 1 - P(x \leq T) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (3.3)$$

Para mantenibilidad:

$$M_{(t)} = P(x \leq T) = 1 - P(x \geq T) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = 1 - R_{(t)} \quad (3.4)$$

donde:

| Rank/Distribution | Chi-Square | Kolmogorov-Smirnov | Anderson-Darling |
|-------------------|------------|--------------------|------------------|
| 1. Weibull        | 32.399796  | 0.128401           | 1.249525         |
| 2. Rayleigh       | 29.51856   | 0.14216            | 1.332579         |
| 3. Gamma          | 34.337193  | 0.144008           | 1.432468         |
| 4. Erlang         | 37.431263  | 0.145608           | 1.749845         |

|                    | Input Distribution | Weibull             | Rayleigh        | Gamma |
|--------------------|--------------------|---------------------|-----------------|-------|
| Parameter 1        |                    | 2.561608            | 31.388533       | 4.3   |
| Parameter 2        |                    | 46.030461           |                 | 9.3   |
| Parameter 3        |                    |                     |                 |       |
| Formula            |                    | Weibull(2.56,46.03) | Rayleigh(31.39) | Gamma |
| Minimum            | 12.0               |                     |                 |       |
| Maximum            | 69.0               |                     |                 |       |
| Mean               | 40.76              | 40.867233           | 39.339692       | 40    |
| Mode               | 26.25              | 37.943453           | 31.388533       | 31    |
| Median             | 39.0               | 39.893929           | 36.957173       | 37    |
| Standard Deviation | 17.759803          | 17.110404           | 20.56377        | 19    |
| Variance           | 315.410612         | 292.765918          | 422.868627      | 38    |
| Skewness           | -0.187556          | 0.305315            | 0.631111        | 0.9   |
| Kurtosis           | 1.613728           | 2.706092            | 3.245089        | 4.3   |

Figura 3.1. Resultados obtenidos a través de la utilización del software BestFit, para la confiabilidad.

| Rank/Distribution | Chi-Square | Kolmogorov-Smirnov | Anderson-Darling |
|-------------------|------------|--------------------|------------------|
| 1. Weibull        | 16.172438  | 0.110032           | 0.948598         |
| 2. Gamma          | 18.425183  | 0.12721            | 1.107366         |
| 3. Erlang         | 19.305568  | 0.12287            | 1.395014         |
| 4. ExtremeValue   | 25.088786  | 0.112534           | 1.332876         |

|                    | Input Distribution | Weibull            | Gamma            | Erlang            |
|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|-------------------|
| Parameter 1        |                    | 1.493265           | 1.667673         | 2.0               |
| Parameter 2        |                    | 0.94855            | 0.517068         | 0.43115           |
| Parameter 3        |                    |                    |                  |                   |
| Formula            |                    | Weibull(1.49,0.95) | Gamma(1.67,0.52) | Erlang(2.00,0.43) |
| Minimum            | 0.06               |                    |                  |                   |
| Maximum            | 1.9                |                    |                  |                   |
| Mean               | 0.8623             | 0.85677            | 0.8623           | 0.8623            |
| Mode               | 0.152              | 0.451762           | 0.345232         | 0.43115           |
| Median             | 0.87               | 0.742105           | 0.697397         | 0.723619          |
| Standard Deviation | 0.550904           | 0.584138           | 0.667733         | 0.609738          |
| Variance           | 0.303495           | 0.341218           | 0.445868         | 0.371781          |
| Skewness           | 0.233652           | 0.996399           | 1.548726         | 1.414214          |
| Kurtosis           | 1.803615           | 3.87017            | 6.597828         | 6.0               |

Figura 3.2. Resultados obtenidos a través de la utilización del software BestFit, para la mantenibilidad.

t: período de tiempo que se analiza

: parámetro de escala

: parámetro de forma

$\gamma$ : parámetro de posición

Sustituyendo en las expresiones 3.3 y 3.4 los valores de  $\lambda$ ,  $\beta$ ,  $\gamma = 0$  ya que según Mora Gutiérrez (2007) se asume con demasiada frecuencia que vale cero pues es un parámetro muy difícil de estimar, y considerando un período de tiempo de 24 horas (un día de trabajo), se obtuvo que:

Para confiabilidad:

$R_{(t)} = 0.8279$ , lo que significa que la probabilidad de que el equipo funcione sin fallar durante un tiempo mayor o igual a 24 horas es del 82.79%. Por lo que a partir de ahí puede estimarse que el tiempo medio de funcionamiento del equipo sin fallar para 24 horas de trabajo es de aproximadamente 19.92 horas.

Para mantenibilidad:

$M_{(t)} = 0.998$ , lo que significa que la probabilidad de que el fallo sea reparado en un tiempo menor o igual a 24 horas (es decir, que se realice la reparación en menos de 24 horas) es de aproximadamente del 99.8%. Para este caso puede estimarse que el tiempo medio de reparación para un día de trabajo es de aproximadamente 0.048 horas.

Una vez estimado ambos indicadores se puede calcular la disponibilidad del equipo, a partir de la expresión propuesta por Mora Gutiérrez (2007), la misma plantea que:

$$D = \frac{TMEF}{TMEF+TMPR} \quad (3.5)$$

donde:

D: disponibilidad

TMEF: tiempo medio entre fallos (es decir, el tiempo medio de funcionamiento del equipo sin fallar)

TMPR: tiempo medio para reparar

Al sustituir los valores en la ecuación 3.5 se obtiene que la disponibilidad para un día de trabajo (24 horas) de la llenadora es del 99.75% aproximadamente. Se

hace necesario aclarar que el valor tan elevado de este indicador puede estar asociado al tipo de disponibilidad que se considera, en este caso disponibilidad inherente, pues fue la que pudo determinarse a partir de la información que se registra por parte del personal de mantenimiento. En este caso no fue posible cuantificar el tiempo de espera para reparar, teniéndose en cuenta, solamente, el tiempo de duración de la reparación.

Una vez calculada la disponibilidad del equipo se puede hallar la capacidad de producción del mismo utilizando la expresión 2.2. Para ello es necesario conocer, además, otros parámetros que conforman la expresión, tales como: el porcentaje de utilización del equipo (U) y la norma de tiempo del mismo ( $N_t$ ).

A partir de datos históricos de la empresa pudo conocerse que para el equipo llenadora el porcentaje de utilización es del 87.6% y la norma de tiempo es de 0.00454 *min/botella*. Sustituyendo estos valores en la expresión 2.2 se obtiene que la capacidad de producción de la llenadora es de 276712 *botellas/día*.

Luego de calcular la capacidad del equipo y conociendo que el volumen de producción de la empresa es de 102377064 *botellas/año*, lo que equivale aproximadamente a 8531422 *botellas/mes*, ya que por lo general la producción de cerveza embotellada no varía mucho de un mes a otro; puede evaluarse el plazo de entrega utilizando la expresión 3.1. Al sustituir los valores se obtiene que el plazo de entrega es de 30.83 días, aproximadamente 31 días.

Realizando un análisis de este resultado puede decirse que no existen muchos problemas en cuanto a los plazos de entrega, analizado desde el punto de vista de la disponibilidad del equipo; lo que significa que la empresa, prácticamente, logra cumplir su plazo de entrega. Aunque es necesario tener en cuenta que los resultados fueron obtenidos a partir del concepto de disponibilidad inherente.

### **3.2 Relación costo de producción – costo directo de mantenimiento**

Para modelar la relación entre el costo de producción y el costo de mantenimiento se realizó un análisis de regresión, tal como se propuso en el capítulo anterior. Para ello se tomaron los costos tanto de producción como de mantenimiento

registrados en la empresa, tomándose como referencia el año 2009, los mismos se encuentran en la Tabla 3.1. Es necesario aclarar que los costos correspondientes a los meses de noviembre y diciembre no fueron registrados por la empresa, pues durante ese período la producción se vio afectada por problemas de construcción, lo que trajo consigo un aumento inusual del costo directo de mantenimiento. Dado que a efecto de la investigación solo se evaluará el impacto de la gestión de activos fijos sobre el desempeño de Operaciones en la UEB Embotellado, los costos de mantenimiento corresponden solamente a esa área. El análisis de regresión fue realizado utilizando el software SPSS, para ello primeramente fue necesario probar los supuestos de aleatoriedad y normalidad de los datos, lo cual fue realizado a través del mismo software.

*Prueba de aleatoriedad:*

$H_0$ : Los datos no fueron tomados aleatoriamente

$H_1$ : Los datos fueron tomados aleatoriamente

Como el valor significativo de la prueba (Asymp. Sig. ) es mayor que el valor prefijado por el investigador ( $\alpha = 0.05$ ), tanto para el costo de producción como para el de mantenimiento, entonces se rechaza  $H_0$  y por tanto los datos fueron tomados aleatoriamente.

Tabla 3.1 Costos de producción y mantenimiento en Moneda Nacional (MN) correspondientes al año 2009

| Mes        | Costo de producción (MN) | Costo de mantenimiento (MN) |
|------------|--------------------------|-----------------------------|
| Enero      | 1023743                  | 4513                        |
| Febrero    | 719364                   | 5887                        |
| Marzo      | 1451388                  | 4662                        |
| Abril      | 1545019                  | 4327                        |
| Mayo       | 1805878                  | 3950                        |
| Junio      | 1572639                  | 4720                        |
| Julio      | 2046290                  | 5892                        |
| Agosto     | 1957714                  | 5423                        |
| Septiembre | 1002652                  | 4363                        |
| Octubre    | 1226340                  | 4915                        |

Fuente: Elaboración propia

*Prueba de normalidad:*

H<sub>0</sub>: Los datos no siguen una distribución normal

H<sub>1</sub>: Los datos siguen una distribución normal

Como el valor significativo de la prueba (Asymp. Sig. ) para este caso también es mayor que el valor prefijado por el investigador ( = 0.05) para ambos costos, entonces se rechaza H<sub>0</sub> y por tanto los datos siguen una distribución normal.

En el **Anexo 7** se muestran los resultados obtenidos al realizar los supuestos de aleatoriedad y normalidad respectivamente.

Luego de haber probado ambos supuestos, se realizó el análisis de regresión. La **Figura 3.3** muestra el gráfico de dispersión obtenido por el SPSS, para probar que existe una relación lineal, ya que tiende, aproximadamente, a una línea recta.

Después de demostrada la existencia de la relación lineal entre el costo de producción y el costo directo de mantenimiento, puede emplearse la clásica ecuación de regresión lineal. En la **Tabla 3.2** se muestran los resultados obtenidos a través del software SPSS. Como puede observarse la ecuación obtenida fue:

$$= 29.57x + 1291235 \quad (3.6)$$

donde:

: estimación del costo de producción

x: costo directo de mantenimiento

Para cuantificar dicha relación se estimó el costo de producción correspondiente al mes de junio, utilizando la ecuación de regresión obtenida, con el objetivo de conocer el comportamiento del mismo y analizar cómo influye el costo de mantenimiento sobre este. Para ello se pronosticó el costo directo de mantenimiento del mes de junio del año en curso, para a partir del mismo, obtener el costo de producción.

El pronóstico del costo de mantenimiento de junio fue realizado a partir de los costos de los meses de enero, febrero, marzo, abril y mayo del año en curso, utilizando el software WinQSB, en la **Tabla 3.3** se muestran dichos costos.

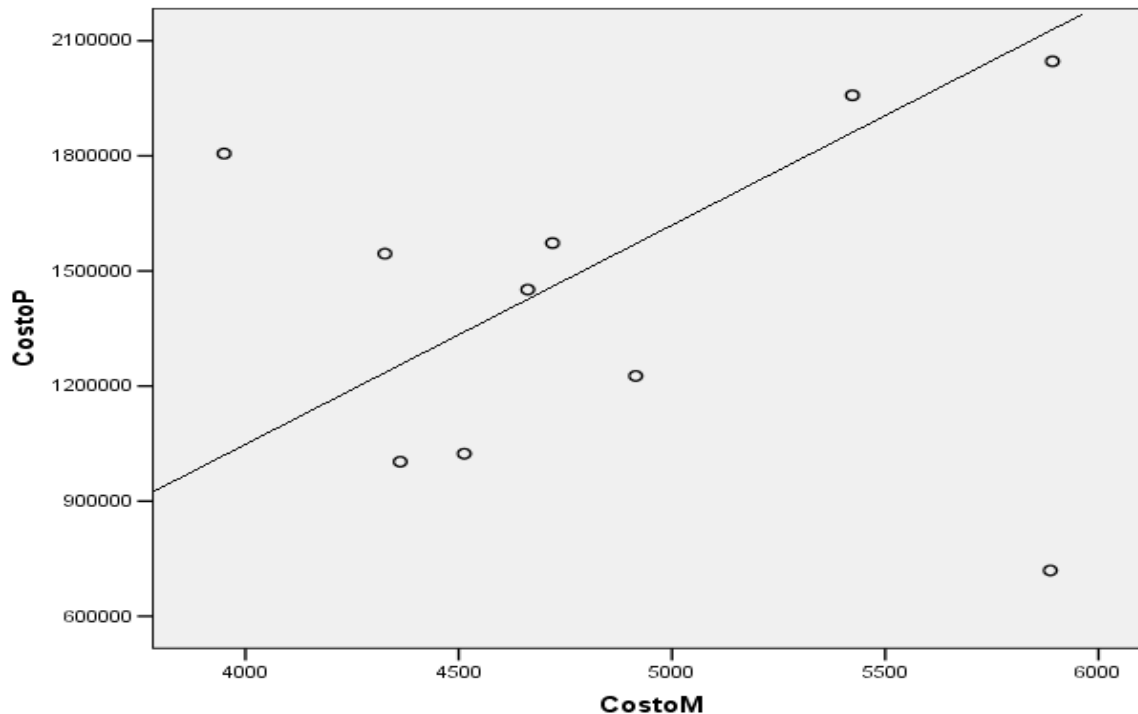


Figura 3.3: Gráfico de dispersión

Tabla 3.2: Resultados obtenidos a través del software SPSS para el análisis de regresión.

**Coefficients<sup>a</sup>**

| Model        | Unstandardized Coefficients |            | Standardized Coefficients | t     | Sig. |
|--------------|-----------------------------|------------|---------------------------|-------|------|
|              | B                           | Std. Error | Beta                      |       |      |
| 1 (Constant) | 1291235                     | 1141879    |                           | 1.131 | .291 |
| CostoM       | 29.571                      | 232.756    | .045                      | .127  | .902 |

a. Dependent Variable: CostoP

El pronóstico fue realizado a partir de tres métodos fundamentales, estos son: media móvil (MA), media móvil ponderada (WMA) y alisado exponencial (SES). La selección del pronóstico óptimo se realizó teniendo en cuenta el método que muestre menor MAD. En la **Figura 3.4** se muestran los resultados obtenidos al realizar el pronóstico mediante el software WinQSB.

Como se muestra en la figura 3.4 el mejor método de pronóstico es el de media móvil ponderada, el cual predijo un costo de \$ 5 340.9. Al sustituir dicho valor en la ecuación de regresión se obtiene que el costo de producción para el mes de junio es de aproximadamente \$1 449 165.41. A partir de este resultado debe analizarse

si el costo de producción se encuentra cercano al costo planificado, de no ser así, entonces se buscarían vías con vista a optimizarlo.

Tabla 3.3. Costos de mantenimiento en Moneda Nacional (MN), correspondientes a los cinco primeros meses del año 2010

| Mes     | Costo de mantenimiento (MN) |
|---------|-----------------------------|
| Enero   | 4327                        |
| Febrero | 4605                        |
| Marzo   | 5130                        |
| Abril   | 4987                        |
| Mayo    | 5643                        |

Fuente: Elaboración propia

| 06-16-2010<br>Month | Actual<br>Data | Forecast by<br>3-MA | Forecast by<br>3-WMA | Forecast by<br>SES | Forecast<br>Error | CFE      | MAD      | MSE      | MAPE (%) | Tracking<br>Signal | R-square |
|---------------------|----------------|---------------------|----------------------|--------------------|-------------------|----------|----------|----------|----------|--------------------|----------|
| 1                   | 4327           |                     |                      |                    |                   |          |          |          |          |                    |          |
| 2                   | 4605           |                     |                      | 4327               | 278               | 278      | 278      | 77284    | 6.036916 | 1                  |          |
| 3                   | 5130           |                     |                      | 4410.4             | 719.6001          | 997.6001 | 498.8    | 297554.2 | 10.0321  | 2                  |          |
| 4                   | 4978           | 4687.333            | 4811.9               | 4626.28            | 351.7202          | 1349.32  | 449.7734 | 239605.1 | 9.043234 | 3                  |          |
| 5                   | 5643           | 4904.333            | 4949                 | 4731.796           | 911.2041          | 2260.524 | 565.1311 | 387277.1 | 10.8193  | 4                  |          |
| 6                   |                | 5250.333            | 5340.9               | 5005.157           |                   |          |          |          |          |                    |          |
| CFE                 |                | 1029.333            | 860.0996             | 2260.524           |                   |          |          |          |          |                    |          |
| MAD                 |                | 514.6665            | 430.0498             | 565.1311           |                   |          |          |          |          |                    |          |
| MSE                 |                | 315057.6            | 254612.5             | 387277.1           |                   |          |          |          |          |                    |          |
| MAPE                |                | 9.464492            | 7.817548             | 10.8193            |                   |          |          |          |          |                    |          |
| Trk.Signal          |                | 2                   | 2                    | 4                  |                   |          |          |          |          |                    |          |
| R-square            |                |                     |                      |                    |                   |          |          |          |          |                    |          |
|                     |                | m=3                 | m=3                  | Alpha=0.3          |                   |          |          |          |          |                    |          |
|                     |                |                     | W(1)=0.2             | F(0)=4327          |                   |          |          |          |          |                    |          |
|                     |                |                     | W(2)=0.3             |                    |                   |          |          |          |          |                    |          |
|                     |                |                     | W(3)=0.5             |                    |                   |          |          |          |          |                    |          |

Figura 3.4. Resultados obtenidos a través del WinQSB para el pronóstico del costo de mantenimiento para el mes de junio.

### 3.3 Relación calidad del producto – condición del equipo, o eficacia del plan de mantenimiento preventivo

Para evaluar esta relación se realizó un análisis de cada una de las distintas perspectivas desde las cuales la autora del presente trabajo consideró el impacto que sobre la calidad del producto tiene la GM (o la gestión de activos fijos), presentadas en el capítulo anterior.

De este análisis se concluyó que la alternativa que propone analizar la calidad del producto en función del desempeño (condición) del equipo, a partir de la relación entre productos defectuosos, debido al desempeño inadecuado del equipo y el volumen de productos obtenidos, no es posible realizarlo, pues en el área objeto de estudio práctico no se cuenta con la información requerida para ello, ya que se registra la cantidad de productos defectuosos, pero no se especifica la causa que lo provoca, es decir, no puede determinarse si es debido al desempeño inadecuado del equipo.

Algo similar ocurre al analizar el comportamiento de una determinada característica de calidad del producto en base a la condición del equipo, que constituye otra alternativa propuesta. La misma tampoco es viable, pues para esta alternativa se necesitaría definir la característica de calidad del producto (por ejemplo: temperatura) y la o las variables que determina la condición del equipo, pero se hace imposible medir dicha variable, pues no se cuenta con los medios necesarios para realizarlo.

La autora considera que la vía más factible para analizar dicha relación es la que propone determinar el comportamiento de la cantidad de productos defectuosos en función del tiempo entre intervenciones planificadas, para aplicar nuevamente un análisis de regresión, a fin de describir la relación entre las variables consideradas. Aunque esta vía es realizable, no pudo llegarse a cuantificar pues existe muy poca información en la fábrica, ya que en cuanto al tiempo entre intervenciones planificadas solo se tienen registradas las del año 2009 durante el cual se realizaron dos mantenimientos preventivos; por lo que sería poco lógico realizar un análisis de regresión con tan pocos datos.

### **3.4 Cambios propuestos sobre el sistema Operaciones – Mantenimiento**

En cuanto a la relación plazo de entrega – disponibilidad pudo constatarse que, desde el punto de vista de la confiabilidad inherente, no existen muchos problemas, ya que los plazos de entrega no se ven afectados en gran medida por la disponibilidad del equipo, pues al tenerse en cuenta solamente el tiempo que demora la reparación y, conociéndose además que este es muy pequeño, es

obvio que el equipo presente una alta disponibilidad. Es por eso que sería factible realizar un análisis más exhaustivo, con el objetivo de determinar si la disponibilidad operacional, que considera los tiempos causados por retrasos logísticos y administrativos, es decir, todos los tiempos concernientes al estado de reparación, incluyendo el mantenimiento programado y no planeado, afecta los plazos de entrega.

En el caso que se compruebe que los plazos de entrega se encuentren afectados por la disponibilidad operacional, los cambios estarían enfocados a minimizar los tiempos de espera para reparar y los tiempos de reparación, aunque estos últimos no son muy altos. De no ser técnicamente factible, entonces se modificaría la fecha de entrega de 30 a 31 días.

La autora de la presente investigación propone que se determine, a través de entrevistas a expertos, otras causas fundamentales que influyan sobre la disponibilidad operacional. A través del trabajo con expertos se pudiera obtener, cuál de todas las causas identificadas es la más importante (o fundamental) y a partir de ahí se podría confeccionar un diagrama causa – efecto con el objetivo de realizar un análisis más detallado de dicha causa, en aras de efectuar cambios sobre el sistema Operaciones – Mantenimiento que condicionen un mejor desempeño del mismo.

En cuanto a la relación costo de producción – costo directo de mantenimiento, se podría realizar también un trabajo con expertos para, en este caso, identificar causas que provoquen aumento de los costos, y de forma semejante a la propuesta para la relación plazo de entrega – disponibilidad, elaborar un diagrama causa – efecto que detalle la causa fundamental encontrada, para a partir de ahí, trabajar en aras de optimizar dichos costos.

### **3.5 Conclusiones parciales**

1. Tras la aplicación del procedimiento para evaluar el impacto de la gestión de activos fijos sobre el desempeño de Operaciones, se determinó que la relación

entre plazo de entrega – disponibilidad está dada por:  $plazo\ de\ entrega = \frac{V_p}{C}$  ,

- de la cual se obtuvo que para una disponibilidad del equipo del 99.75%, el plazo de entrega es de 31 días, sin embargo debe considerarse que estos resultados se obtuvieron a la luz de la disponibilidad inherente.
2. La relación entre costo de producción – costo directo de mantenimiento quedó determinada por:  $= 29.57x + 1291235$ ; a partir de un pronóstico para el mes de junio del año en curso del costo directo de mantenimiento (\$ 5 340.9) se obtuvo un costo de producción de \$1 449 165.41.
  3. Se consideró que la forma más adecuada para evaluar el impacto de la gestión de activos fijos sobre la calidad del producto, según las condiciones actuales del sistema Operaciones – Mantenimiento en lo que se refiere a indisponibilidad de recursos, información y características del proceso productivo, fue la alternativa que propone determinar el comportamiento de la cantidad de productos defectuosos en función del tiempo entre intervenciones planificadas, aunque debido a carencia de información necesaria tampoco fue posible ponerla en práctica.
  4. En las condiciones actuales, el sistema Operaciones – Mantenimiento sobrepasa en un día la fecha de entrega convenida, por lo que se hace necesario analizar el ciclo de producción o realizar variaciones en el plan de producción.

**Conclusiones generales**

1. A pesar de que existen ciertos enfoques que abordan la temática referida al impacto de la gestión de activos fijos sobre el desempeño de Operaciones, en la bibliografía consultada no se encontró un procedimiento específicamente dirigido a la evaluación de dicho impacto.
2. Se desarrolló un procedimiento general para la evaluación del impacto de la gestión de activos fijos sobre el desempeño de Operaciones, el cual incluye entre sus elementos fundamentales el establecimiento de relaciones funcionales entre variables de producción e indicadores de mantenimiento.
3. Las relaciones funcionales entre las variables que miden el desempeño de Operaciones y los indicadores que caracterizan la gestión de activos fijos, quedaron establecidas de la siguiente forma: plazo de entrega – disponibilidad, costo de producción – costo directo de mantenimiento, calidad del producto en función del impacto de la condición del equipo sobre esta, o el impacto que presenta la eficacia del plan de mantenimiento preventivo sobre la cantidad de productos defectuosos debido a fallos parciales del equipamiento.
4. La evaluación de los indicadores de la gestión de activos fue desarrollada a partir de un procedimiento específico, del cual se obtuvo que para un día de trabajo (24 horas) la confiabilidad del equipo es del 82.79%, la mantenibilidad es del 99.8% y la disponibilidad es del 99.75%.
5. A través de la cuatificación de cada relación funcional establecida se evaluó el impacto de la gestión de activos fijos sobre el desempeño de Operaciones. Esta evaluación permitió identificar los cambios que deben realizarse sobre el sistema Operaciones - Mantenimiento con vista al mejoramiento del mismo .
6. A partir de los resultados obtenidos se determinó que los principales cambios a efectuarse sobre el sistema Operaciones – Mantenimiento deben estar enfocados a minimizar los tiempos de espera para reparar y los tiempos de reparación, así como a la optimización de los costos.



**CERVECERÍAS**

## Recomendaciones

---

## *Recomendaciones*

1. Extender la aplicación del procedimiento general a otras áreas de la Cervecería “Antonio Díaz Santana”, así como a otras empresas.
2. Continuar profundizando la investigación acerca de la temática abordada con el objetivo de perfeccionar la propuesta del presente trabajo.
3. Desarrollar las propuestas de mejora con vista a efectuar cambios sobre el sistema Operaciones – Mantenimiento que condicionen un mejor desempeño del mismo.

**Bibliografía**

1. Achermann, D. (2008). Modelling, Simulation and optimization of Maintenance Strategies under Consideration of Logistic Processes. Swiss Federal Institute of Technology Zurich.
2. Adam, E.E. & Ebert, R.J. (1991). Administración de la producción y las operaciones: conceptos, modelos y funcionamiento. (4<sup>ta</sup> edición). México: Prentice-Hall Hispanoamericana S.A.
3. Améndola, L. (2003). Indicadores de confiabilidad propulsores en la gestión del mantenimiento. Disponible en:  
<http://www.mantenimientomundial.com/notas/propulsores.asp>
4. Bazovsky, I. (2004). Reliability Theory and Practice. Edit. Dover Publication Incorporated. USA.
5. Borroto Pentón, Yodaira. (2005). Contribución al Mejoramiento de la Gestión del Mantenimiento en hospitales en Cuba. Aplicación en hospitales de la provincia Villa Clara. Tesis presentada para optar por el grado científico de Doctora en Ciencias Técnica.
6. Camacaro, D. et al. (2003). Evaluación, Control y Revisión de estrategias. Disponible en [http://www. Monografías.com/maestría/ Evaluación, Control y Revisión de Estrategias/ilustrados.htm](http://www.Monografias.com/maestría/Evaluación,ControlyRevisióndeEstrategias/ilustrados.htm)
7. Castro, J.M. (2002). Indicadores de desarrollo sostenible urbano. Una aplicación para Andalucía. Trabajo de tesis para sustentar el grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Departamento de Estadística Aplicada, Economía y Econometría. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Universidad de Málaga. España.
8. Corretger Rauet, M. (1996). Auditoría y autoevaluación del mantenimiento. Revista Mantenimiento, España. 100: 21-28.
9. De la Paz Martínez, Estrella. (2002). Herramientas para la toma de decisiones en la gestión integral del mantenimiento de activos fijos. Material complementario de curso. UCLV.
10. De Meyer, A. et al. (1994). Nuevo enfoque de la Función de Producción. Barcelona: Folio.

11. 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.
12. Díaz Cazañas, R. & Pérez Gómez, Y. (2007). Evaluación del desempeño en Operaciones. Trabajo de monografía correspondiente a la asignatura Estrategia de Operaciones. Universidad Central “Martha Abreu” de Las Villas.
13. 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.
14. Fabrés Díaz, J. L. (1991). Auditorías en mantenimiento: un paso inicial para mejorar la competitividad. Disponible en: <http://www.apics.org/sigs/articles/fall99PI.htm>.
15. Gaither, N. & Frazier, G. (2000). Administración de producción y operaciones. Cuarta edición. Thomson. México.
16. Galvao Zen, M.A. (1998). El Ingeniero de Mantenimiento. Revista Mantenimiento. Chile. No 29. Disponible en: <http://www.mantencion.com/articulos/rev29art1.php3>
17. García Cebrián, L.I. & López Viñegla, A. (2000). The Use of the Scorecard in the Management of Production Operations. En First World Conference on Production and Operations Management, Sevilla.
18. Garvin, D.A. (1993). Manufacturing Strategic Planning. California Management Review, Vol. 35.
19. González, A & Echevarría, L (2002). Metodología para seleccionar sistemas de mantenimiento. Revista # 8 Marzo 2002. Disponible en: <http://www.mantenimientomundial.com>
20. Gusmao, C.A. (2001). Indices de desempenho da manutencao. Disponible en: <http://www.mantenimientomundial.com/articulos/4indices.asp>
21. Heizer, J. & Render. B. (1997). Dirección de la Producción. Decisiones estratégicas. (4ª edición). Mexico: Prentice-Hall Hispanoamericana S.A.
22. Hernández Cruz, E. & Navarrete Pérez, E. (2001). Sistema de Cálculo de indicadores para el mantenimiento. Disponible en: <http://www.ispjae.cu>

23. Ibarra Mirón, S. (2005). Sistemas de planificación y control de la producción. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos20/control-produccion.htm>
24. Lefcovich, M. (2007). Administración de Operaciones. Disponible en: <http://www.gestiopolis.com/canales4/ger/adoperaciones.htm>
25. León Jeri, E. (2007). Introducción a la Administración de Operaciones. pp. 3 – 9 UNALM –PERU.
26. Leong, G.K. et al. (1990). Research in the Process and Content of Manufacturing Strategy. Omega. International Journal of Management Science. Vol.18, No.2, pp.109 – 122.
27. Monks, Joseph.G. (1992). *Administración de Operaciones*. México: Mc Graw-Hill.
28. Mora Gutiérrez, A. (2007). Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicio. Segunda edición, marzo 2007). Colombia.
29. Navarrete Pérez, E. & González Martín, J.R. (1986). Mantenimiento Industrial. Ciudad de La Habana.
30. NC – ISO 9000. (2001). Sistema de Gestión de la Calidad. Fundamentos y vocabulario.
31. NC - ISO 19011. (2002). Directrices para la Auditoría de los Sistemas de Gestión de la Calidad y/o ambiental.
32. Quijano Ponce, A. (2004). Sistemas de Producción. Disponible en: <http://geocities.com/aquijanop17/>
33. Schroeder, R. (1992). Administración de operaciones. Toma de decisiones en la función de Operaciones. Tercera edición. México.
34. Schroeder, R. et al. (1999). The impact of total productive maintenance practices on manufacturing performance. University of Minnesota. USA.
35. Schroeder, R. (2005). Administración de operaciones. Casos y conceptos contemporáneos. Segunda edición. McGraw – Hill. México.
36. Tavares, L.A. (2001). Administración moderna de Mantenimiento. Editorial Novopolo. Publicaciones Brasil.
37. Tavares, L.A. et al. (2005). Mantenimiento centrado en negocio. Editorial Novopolo. Publicaciones Brasil.

38. Zabiski Duardo, E.I. (2003). Indicadores de Evaluación de la Gestión de los Servicios Técnicos en Instalaciones Turísticas, utilizando la Metodología BSC. Suplemento ConGestión. CEIM-CUJAE. Cuba.
39. Zabiski Duardo, E.I. (2005). Propuesta de un Sistema de Gestión de Mantenimiento Asistida por Computadora, personalizado al sector Turístico cubano. Trabajo en opción al título académico de Máster en Ciencias Técnicas.

Anexo 1: Estructura de las decisiones en operaciones 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"> <li>- Selección del tipo de proceso</li> <li>- Selección del equipo.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis del flujo de proceso</li> <li>- Provisión del mantenimiento del equipo</li> </ul>  |
|                          | Capacidad  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinación del tamaño de las instalaciones</li> <li>- Determinación de la ubicación de las instalaciones</li> <li>- Fijación de los niveles de la fuerza de trabajo</li> </ul>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Decisión sobre el tiempo extra</li> <li>- Subcontratistas</li> <li>- Programación</li> </ul>  |
|                          | Inventarios  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fijación del nivel general de inventarios</li> <li>- Diseño del control de inventarios</li> <li>- Decisión de donde conservar el inventario</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Decidir cuanto y cuando ordenar</li> </ul>  |
|                          | Fuerza de trabajo  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Diseño de puestos</li> <li>- Selección del sistema de compensación</li> <li>- Diseño del reglamento de trabajo</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Supervisión</li> <li>- Establecimiento de estándares de trabajo</li> </ul>  |
|                          | Calidad  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Establecimiento de estándares de calidad</li> <li>- Definición de la organización para la calidad</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Decisión sobre la cantidad de inspecciones</li> <li>- Control de la calidad para cumplir con las especificaciones</li> </ul>  |
| 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"> <li>- Fijación de objetivos a largo plazo.</li> <li>- Establecimiento de las prioridades competitivas.</li> <li>- Fijación de la gestión de la calidad.</li> <li>- Selección de productos.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Diseño del producto</li> <li>- Diseño del proceso</li> <li>- Mano de obra</li> <li>- Nuevas tecnologías</li> <li>- Capacidad</li> <li>- Localización</li> <li>- Distribución en planta</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Planeación y programación de la producción.</li> <li>- Elección de alternativas para eliminar la brecha entre la capacidad y la demanda.</li> <li>- Inventarios.</li> <li>- Selección de las técnicas de gestión apropiadas.</li> </ul> |

Anexo 1: Continuación

| <b>Esquema de clasificación propuesto</b>   |   |
|---|---|
| <b>Áreas de decisión (estratégicas)</b>   | <b>Algunas preguntas a responder</b>  |
| Diseño del producto y del servicio  | ¿Qué productos o servicios debemos ofrecer?<br>¿Cómo debemos diseñarlos?  |
| Gestión de la calidad   | ¿Quién es responsable de la calidad?<br>¿Cómo definimos la calidad que queremos en nuestro producto o servicio?   |
| Diseño del proceso y planificación de la capacidad                                | ¿Qué procesos necesitarán estos productos y en qué orden?<br>¿Qué equipo y tecnología son necesarios para estos procesos?                                     |
| Localización  | ¿Dónde situaremos las instalaciones?<br>¿En qué criterio nos basaremos para elegir la localización?   |
| Diseño de la organización   | ¿Cómo organizaremos la instalación?<br>¿Qué tamaño debe tener para cumplir el plan?   |
| Recursos humanos y diseño del trabajo   | ¿Cómo proporcionar un entorno de trabajo razonablemente bueno?<br>¿Cuánto se puede esperar que produzcan nuestros empleados?                                  |
| Gestión del abastecimiento  | ¿Deberíamos fabricar determinado componente o comprarlo?<br>¿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?<br>¿Cuándo volvemos a pedir?  |
| Programación intermedia, planificación a corto plazo y planificación del proyecto | ¿Es una buena idea subcontratar la producción?<br>¿Es mejor despedir a la gente o mantenerlos en nómina en los periodos de baja demanda?                      |
| Mantenimiento   | ¿Quién se hace responsable del mantenimiento?   |

Fuente: Díaz Cazañas (2008).

Anexo 2: Otras variables que caracterizan el desempeño de Operaciones y algunos criterios de medida.

| Variables    | Ejemplos de criterios de medida / atributos de operacionalización   |
|--------------|---|
| Costo        | Costo unitario de producto<br>Costo unitario de material<br>Gastos de operación e inventario<br>Utilización de máquinas / capacidad<br>Rotación de stocks<br>Rendimiento de materiales / procesos<br>Productividad del personal directo / indirecto   |
| Calidad      | Porcentaje de defectos<br>Costos de desechos y de trabajos reprocesados<br>Costos de garantías<br>Calidad de materiales recibidos de proveedores<br>Índice de reclamaciones<br>Tiempo medio entre fallos  |
| Entregas     | Plazo de entrega ofertado<br>Porcentaje de entregas en fecha – fiabilidad<br>Tiempo de ciclo de tramitación de pedidos<br>Retraso medio<br>Rapidez – menor plazo de fabricación<br>Precisión del inventario   |
| Flexibilidad | Número de productos en catálogo – tamaño de la oferta<br>Número de opciones disponibles<br>Tamaño mínimo de la orden de producción<br>Tamaño medio del lote de fabricación<br>Duración del periodo «congelado» del programa<br>Número de componentes intercambiables del producto principal |
| Servicio     | Número de productos adaptados / personalizados al cliente Índice (%) de clientes satisfechos<br>Tiempo medio de reacción ante reclamaciones, reposiciones y/o reparaciones postventa  |
| Innovación   | Números de cambios de ingeniería realizados por año<br>Número de nuevos productos / procesos introducidos cada año<br>Nivel de inversión en I+D<br>Plazo de tiempo para diseñar nuevos productos  |

Fuente: Ibarra Mirón (2005)

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

| Área de decisión                             | Decisiones Estratégicas  | Decisiones Tácticas  | Decisiones Operativas   |
|--|--|--|---|
| <b>Estrategia de mantenimiento.</b>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Misión.</li> <li>- Objetivos</li> <li>- Establecimiento de políticas para las restantes áreas.</li> <li>- Establecimientos de sistemas de mantenimiento.</li> </ul> |  |   |
| <b>Organización del mantenimiento</b>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tercerizar o no tercerizar.</li> <li>- Forma de centralización.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Relativas al diseño de procedimientos y contenido de las tareas de ejecución.</li> <li>- Relativas a la estructura de sistema informativo. Especificación de medios.</li> <li>- Relativas al diseño de los lugares de trabajo.</li> </ul> |   |
| <b>Planificación del mantenimiento</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Magnitud del presupuesto para el largo plazo</li> <li>- Nivel de actividad (intervenciones de mantenimiento) establecido para el largo plazo</li> </ul>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Desglose del presupuesto entre las distintas actividades</li> <li>- Determinación del nivel de actividad en cada uno de los periodos del medio plazo</li> <li>- Establecimiento de las frecuencias de intervenciones</li> </ul>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Establecimiento de prioridades.</li> <li>-Asignación de los trabajos</li> <li>-Orden de ejecución</li> <li>-Relativas a la sincronización de las distintas actividades</li> </ul> |
| <b>Formación en mantenimiento (Personal)</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Relativas al diseño de los planes de carrera.</li> <li>- Nivel de formación en aquellas técnicas que incluye la confiabilidad del talento.</li> </ul>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Necesidades de personal.</li> <li>- Selección.</li> <li>- Contratación.</li> <li>- Aplicación.</li> <li>- Evaluación del desempeño.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Asignación de actividades.</li> </ul>  |

Anexo 3: Continuación

|   |   |  |  |
|---|---|--|--|
| <p><b>Gestión de stock</b></p>                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Política de proveedores</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipo de materiales e insumos para la ejecución del mantenimiento.</li> <li>- Selección de proveedores.</li> <li>- Selección del sistema de control de inventarios.</li> <li>- Niveles de inventario de los diferentes repuestos.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipo de material o repuesto a solicitar.</li> <li>- Cantidad a solicitar de cada material.</li> <li>- Frecuencia del pedido.</li> </ul> |
| <p><b>Informatización del mantenimiento</b></p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Desarrollar o adquirir el sistema GMAC.</li> <li>- Establecimiento de criterios para la adopción del sistema GMAC.</li> </ul>                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Relativas a la implantación del sistema.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Actualización del sistema GMAC.</li> </ul>  |
| <p><b>Control de los trabajos</b></p>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Selección de los indicadores y "herramientas" para el control.</li> <li>- Establecimiento de los valores objetivos para dichos indicadores.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Frecuencia de control de cada uno de los elementos de la GM</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Acciones correctivas ante las desviaciones.</li> </ul>  |

Fuente: Díaz Cazañas (2008) a partir de varios elementos aportados por diferentes autores.

Anexo 4: Indicadores de la Gestión del Mantenimiento.

| Grupo                                 | Indicadores   |
|---------------------------------------|---|
| 1. Índices de clase mundial           | Disponibilidad  |
|                                       | Tiempo medio para reparaciones  |
|                                       | Tiempo medio entre fallos   |
|                                       | Tiempo medio para fallar  |
| 2. Costos de mantenimiento            | Componente del costo de mantenimiento   |
|                                       | Progreso en los esfuerzos de reducción de costos  |
|                                       | Costo relativo con personal propio  |
|                                       | Costo relativo con material   |
|                                       | Costo de mano de obra externa   |
|                                       | Costo de mantenimiento con relación a la producción   |
|                                       | Costo de capacitación   |
|                                       | Inmovilizado en repuestos   |
|                                       | Costo de mantenimiento por valor de venta   |
|                                       | Costo global  |
| 3. Índices Gestión de equipos         | Tiempo medio entre mantenimientos preventivos   |
|                                       | Tiempo medio para intervenciones preventivas  |
|                                       | Tasa de falla observada   |
|                                       | Tasa de reparaciones  |
|                                       | No conformidad de mantenimientos  |
|                                       | Sobrecarga de servicios de mantenimiento  |
|                                       | Alivio de servicios de mantenimiento  |
|                                       | Costo de mantenimiento por facturación  |
| 4. Índices de Gestión de mano de obra | Trabajo en mantenimiento programado <ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabajo en mantenimiento preventivo por tiempo</li> <li>• Trabajo en mantenimiento preventivo por estado de acuerdo con la subdivisión en la que se encuentre</li> </ul> |
|                                       | Trabajo en mantenimiento correctivo   |
|                                       | Otras actividades del personal de mantenimiento   |
|                                       | Capacitación del personal de mantenimiento  |
|                                       | Horas no calculadas del personal de mantenimiento   |
|                                       | Estructura-personal de control  |
|                                       | Estructura-personal de supervisión  |
|                                       | Estructura-envejecimiento del personal-edad   |
|                                       | Clima Social-movimiento del personal  |
|                                       | Efectivo real o efectivo promedio diario  |
|                                       | Tasa de frecuencias de accidentes   |
|                                       | Tasa de gravedad de accidentes  |

Fuente: Elaboración propia, a partir del criterio de varios autores.

Anexo 5: Algunas de las distribuciones más utilizadas para estimar CMD.

| Distribución     | Criterio   |
|------------------|--|
| Normal           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Describe fenómenos de envejecimiento de equipos</li> <li>- Describe fenómenos de modelos de fatiga</li> <li>- Describe fenómenos naturales</li> <li>- Los componentes son afectados desde un comienzo por el desgaste</li> </ul>  |
| Exponencial      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Las reparaciones constituyen un intercambio de piezas estándar</li> <li>- Fallas aleatorias y que no dependen del tiempo que lleve en funcionamiento</li> <li>- Describe situaciones de función de tasa de falla constante</li> <li>- El componente usado que aún no ha fallado, es estadísticamente tan bueno como un componente nuevo</li> <li>- Modelar componentes electrónicos. Es un caso particular de la Gamma cuando <math>\beta=1</math></li> </ul> |
| Weibull          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Es la única forma de probabilidad que puede utilizarse para representar cualquier tipo de distribución</li> <li>- Representar la vida de los componentes</li> <li>- Vida de servicio de tubos y equipos electrónicos</li> </ul>   |
| Gamma            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Conveniente para caracterizar los tiempos de fallas de equipos durante períodos de rodaje</li> <li>- Adecuada para representar sistemas con componentes stand-by</li> </ul>   |
| Log normal       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Describe bien cuando la mayor parte de las intervenciones son de corta duración</li> <li>- Aplicada para equipos electrónicos y electromecánicos</li> <li>- Se aproxima a la distribución exponencial y siendo mucho más sencilla de manejar, es esta última la que más se utiliza</li> </ul>   |
| Binomial         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se aplica en eventos mutuamente excluyentes, falla o no falla</li> </ul>  |
| Poisson          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Frecuentemente usada en gestión de inventarios</li> <li>- Se usa también en lugar de la distribución binomial cuando se manejan probabilidades de fallas bajas</li> </ul>   |
| Beta             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Usada principalmente en procesos acotados en dos extremos</li> </ul>  |
| Erlang           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Es un caso especial de la distribución Gamma, K entero</li> </ul>   |
| Rayleigh         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Es un caso especial de la distribución Weibull, <math>\beta=2</math></li> </ul>   |
| Chi cuadrado     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Es un caso especial de la distribución Gamma, <math>\lambda=0.5</math> y <math>\nu=2a</math></li> </ul>   |
| Valores extremos | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Es usada en modelos que limitan los valores máximos y mínimos</li> </ul>  |

Fuente: Mora Gutiérrez (2007)

Anexo 6: Gráficos de la distribución Weibull obtenidos a través de la utilización del software BestFit, para la confiabilidad y la mantenibilidad.

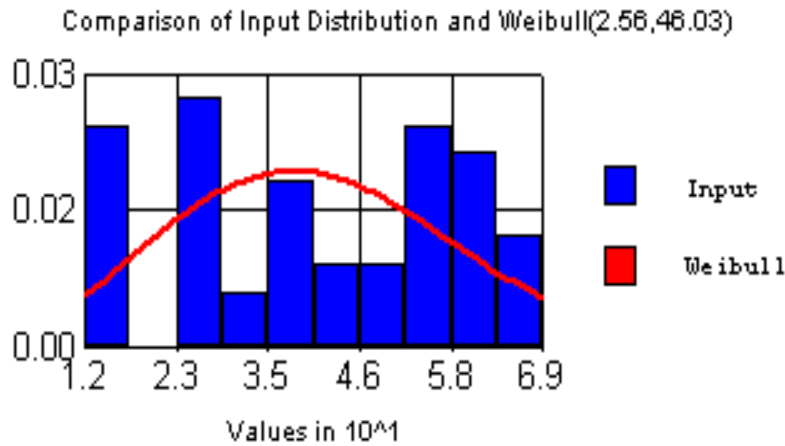


Figure 1: Gráfico de la distribución Weibull para la confiabilidad.

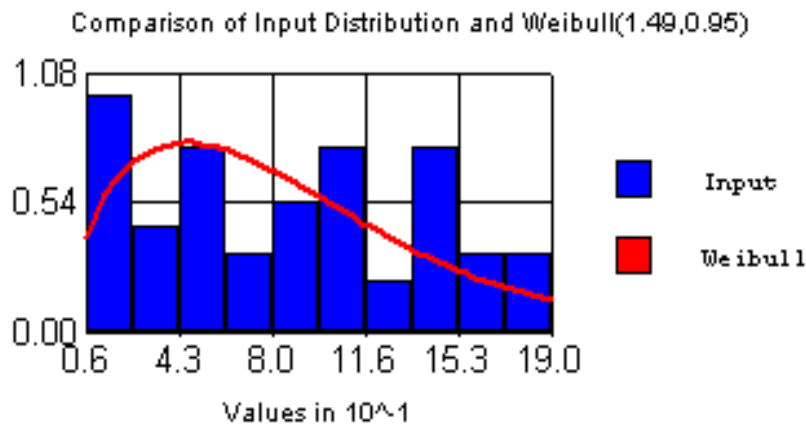


Figure 2: Gráfico de la distribución Weibull para la mantenibilidad.

Anexo 7: Resultados obtenidos a través del software SPSS para probar los supuestos de aleatoriedad (Runs Test) y normalidad (One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test) de los datos.

**Runs Test**

|                         | CostoP  | CostoM |
|-------------------------|---------|--------|
| Test Value <sup>a</sup> | 1498204 | 4691   |
| Cases < Test Value      | 5       | 5      |
| Cases >= Test Value     | 5       | 5      |
| Total Cases             | 10      | 10     |
| Number of Runs          | 3       | 6      |
| Z                       | -1.677  | .000   |
| Asymp. Sig. (2-tailed)  | .094    | 1.000  |

a. Median

**One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test**

|                                  |                | CostoP   | CostoM  |
|----------------------------------|----------------|----------|---------|
| N                                |                | 10       | 10      |
| Normal Parameters <sup>a,b</sup> | Mean           | 1435103  | 4865.20 |
|                                  | Std. Deviation | 438115.2 | 664.821 |
| Most Extreme Differences         | Absolute       | .126     | .186    |
|                                  | Positive       | .126     | .186    |
|                                  | Negative       | -.115    | -.138   |
| Kolmogorov-Smirnov Z             |                | .399     | .590    |
| Asymp. Sig. (2-tailed)           |                | .997     | .878    |

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.