

## **MODELO PARA EL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS AUTOMATIZADOS EN MECANIZADO CNC DEL SECTOR METALMECÁNICO COLOMBIANO**

### **MODEL FOR THE MAINTENANCE OF AUTOMATED EQUIPMENT IN CNC MACHINING OF THE COLOMBIAN METALWORKING SECTOR**

Alejandro J. Osorio Amaya<sup>1</sup>

Marieth Orcasitas Peñaloza<sup>2</sup>

Jesús Céspedes Rangel<sup>3</sup>

#### **Resumen**

El propósito de esta investigación fue establecer un modelo para el mantenimiento de equipos automatizados en mecanizado CNC del sector metalmecánico colombiano. Se enmarcó dentro de la tipología de Proyecto Factible, descriptiva, proyectiva y de campo. La población estuvo conformada por 48 sujetos los cuales son subdirectores, coordinadores, instructores y operarios, adscritos en los talleres de máquinas y herramientas convencionales y CNC. Respecto a la situación actual de los equipos automatizados, los resultados evidenciaron ciertas debilidades, por cual, la empresa debe tomar acciones con respecto al mantenimiento implementado para mejorar la confiabilidad y aumentar la productividad de los mismos, de igual manera, se encontraron debilidades en el adiestramiento al personal para la correcta operación de los equipos. Por esta razón se propone un modelo de mantenimiento para el mejoramiento de la maquinaria automatizada CNC, implementando prácticas modernas de

---

<sup>1</sup> Ingeniero Mecánico de la Universidad Pamplona. Msc Gerencia de Proyectos Industriales de la Universidad Privada Rafael Belloso Chacín. Investigador del Grupo de investigación Tecnología e Innovación - TECNOVA. Correo Institucional: ajoa@misena.edu.co

<sup>2</sup> Trabajadora Social de la Universidad Simón Bolívar, Especialista en Gerencia Social de la Universidad Simón Bolívar. Investigadora del Grupo de investigación Tecnología e Innovación – TECNOVA. Correo Institucional: morcasitas@sena.edu.co.

<sup>3</sup> Ingeniero Mecánico de la Universidad del Norte. Msc Gerencia de Proyecto de I+D de la Universidad Privada Rafael Belloso Chacín. Investigador del Grupo de investigación Tecnología e Innovación - TECNOVA. Correo Institucional: jcespedesr@sena.edu.co

Fecha de recepción: Septiembre de 2018 / Fecha de aceptación en forma revisada: Diciembre 2018

mantenimiento que contribuyan a mantener el correcto funcionamiento de los equipos y a su vez alargar la vida útil de los mismos.

**Palabras clave:** diagnostico, mantenimiento, maquinaria, automatización.

### **Abstract**

The purpose of this research was to establish a model for the maintenance of automated equipment in CNC machining of the Colombian metalworking sector. It was framed within the typology of Project Feasible, descriptive, projective and field. The population consisted of 48 subjects who are assistant directors, coordinators, instructors and operators, assigned to the conventional machine and tool and CNC workshops. Regarding the current situation of the automated equipment, the results showed certain weaknesses, for which, the company must take actions with respect to the maintenance implemented to improve the reliability and increase the productivity of the same, in the same way, weaknesses were found in the training the personnel for the correct operation of the equipment. For this reason, a maintenance model is proposed for the improvement of the CNC automated machinery, implementing modern maintenance practices that contribute to maintaining the correct functioning of the equipment and in turn extending the useful life thereof.

**Keywords:** Galloping, Sport, Horse of Passage, Influence of Actors, Equine Training.

### **Introducción**

A nivel mundial el sector manufacturero ha tenido una gran evolución en las maquinarias de producción en serie, específicamente en el área industrial de fabricación de piezas metalmecánicas, tanto que se ha remplazado la mano de obra rutinaria por procesos automatizados eficientes (Li, 2017). Como consecuencia, también ha aumentado el interés en el control de la salud de la maquinaria o mantenimiento (Wang et al., 2017). La capacidad de mantenimiento es una medida que refleja cuán fácil, precisa, efectiva, eficiente y segura pueden ser las acciones de mantenimiento relacionadas con el producto. La alta capacidad de mantenimiento refleja la probabilidad de que todas las tareas de mantenimiento puedan ser llevadas a cabo de manera segura por un número mínimo de personas, en el menor tiempo y costo con las herramientas más simples (Kumar, Markeset & Kumar, 2004).

El proceso de mantenimiento incluye tres etapas: detección de fallas, diagnóstico de fallas y predicción de vida útil (Saidi et al., 2017). La idea de prevenir las fallas antes de su aparición, se conoce como mantenimiento programado o preventivo. Son procesos para determinar la presencia de fallas en la maquinaria lo más temprano posible e identificar tipos, ubicaciones y grados de fallas (Khan et al., 2017). La predicción de la vida útil, es un proceso que usa métodos de predicción para pronosticar el rendimiento futuro de la maquinaria y obtener el tiempo restante antes de que la maquinaria pierda su capacidad de operación (Saidi et al., 2017). La mayoría del trabajo reportado en la literatura se enfoca en las primeras dos etapas. Sin embargo, la última etapa, no ha sido bien desarrollada hasta la fecha (Lei et al., 2016).

De igual manera, la literatura evidencia la existencia de diversas técnicas para el mantenimiento, por ejemplo, en los 70, se creó un método que tomaba como base el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM - *Reliability Centered Maintenance*) con el fin de servir como herramienta estratégica en el control de la gestión de los recursos físicos y reducir costos, aumentar la capacidad de la empresa y mejorar la producción (Barrios y Ortiz, 2012). Esta técnica debe desarrollarse con la colaboración de un grupo multidisciplinario, estableciendo acciones de mantenimiento pertinentes, considerando costos por pérdidas de producción, costos de reparación y prevención, la calidad de servicio al cliente y las consecuencias en la seguridad y el medio ambiente.

Por otro lado, desde el año 1995 se integraron los conceptos de mantenimiento, los cuales se aplicaban de forma aisladas, para realizar una administración que permita el mantenimiento integral, siendo aplicada en países como El Reino Unido, Australia y Nueva Zelanda, asimismo en Latinoamérica se resaltan Chile, Colombia, entre otros, cabe resaltar que estos países han obtenido resultados satisfactorios (González, 2005). En la literatura se han las técnicas Mantenimiento Productivo Total (TPM) y Mantenimiento Centrado en confiabilidad (RCM) como aquellas que producen mejores resultados, debido a que son sistemas integrales con característica relacionados con el mantenimiento, sin dejar de lado que su implementación no debe ser exclusiva, sino en conjunto con otras técnicas, siendo importante la inclusión de la evaluación de los riesgos operativos en el sistema de gestión de mantenimiento (Nakajima, 1991; Moubroy, 2001; Sacristan, 2001) citado por Barrios y Ortiz (2012).

En Latinoamérica existen muchos modelos de mantenimiento cuyo objetivo es minimizar los tiempos de parada de plantas contribuyendo a aumentar la producción en las empresas. En el caso específico de Colombia, existen equipos electrónicos para predecir las fallas de sistemas antes de que ocurran, al igual que herramientas cuya función específica es medir las vibraciones excesivas en las maquinarias, análisis de aceites, entre otros. El problema radica en que los equipos de aprendizaje y producción, compuestos por tornos y fresas CNC (Control numérico computarizado) presentan un alto índice de deterioro en sus componentes, los cuales han afectado la alineación, precisión, vibración y oxidación.

La razón por la cual dichas maquinarias han presentado dificultades al momento de realizar alguna actividad se atribuye a la ausencia de una metodología de mantenimiento programado. Como consecuencia de esta situación, se disminuiría el nivel de productividad y la calidad de los productos que realiza la empresa. Por lo anterior, es necesaria la implementación de un modelo para el mantenimiento de equipos automatizados en mecanizado CNC con el fin de realizar la recuperación de los equipos de producción y aprendizaje, optimizando sus niveles de fiabilidad, confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad y seguridad; lo cual permitirá restablecer las condiciones de operación en tiempos determinados según su programación.

### **Metodología**

La investigación se tipificó como proyectiva, descriptiva. En primer lugar, es proyectiva debido a que se propuso un modelo para el mantenimiento de equipos automatizados en mecanizado CNC. Según Hurtado (2011), la investigación proyectiva se refiere a la realización de un modelo o propuesta, con el fin de solventar problemas o necesidades de tipo práctico, pertenecientes a un grupo social, institución, un área en particular del conocimiento, con base en un diagnóstico de las necesidades actuales, procesos explicativos y tendencias futuras. En segundo lugar, descriptiva por cuanto se realizó un diagnóstico de la situación actual a mejorar, en este caso, la recuperación de los equipos de producción en el sector metalmecánico colombiano. En cuanto al diseño, se consideró de campo por cuanto en la misma el fenómeno se observa tal y como se presenta (Hernández et al., 2014).

Por otro lado, según la perspectiva temporal de recolección de los datos esta investigación se consideró de diseño transversal, por cuanto la variable objeto de estudio se midió, en un solo momento o periodo (Del castillo et al., 2014). De igual manera, el diseño fue no experimental, por cuanto la variable no se manipula (López-Roldán y Fachelli, 2015). Respecto a la población de estudio, estuvo constituida por los subdirectores, los coordinadores, instructores y operarios, adscritos en los talleres de máquinas y herramientas convencionales y CNC del SENA, que en total suman 48 sujetos de los diferentes centros de formación ubicados en el departamento de la Guajira. Debido a que la población fue finita y accesible, se consideró necesario abordarla mediante un censo poblacional (Paz, 2014).

### ***Instrumentos de la investigación***

La técnica de recolección de información que se utilizó fue la encuesta mediante un instrumento cuestionario, el cual estuvo constituido por 63 reactivos de alternativas de respuesta Siempre (5), Casi Siempre (4), A veces (3), Casi Nunca (2) y Nunca (1). Para la construcción del instrumento se planteó el cuerpo de teorías relativo a la variable Modelo para el mantenimiento de equipos automatizados, la cual se operacionalizó definiendo sus dimensiones e indicadores. La validez del instrumento se realizó por medio del juicio de 5 expertos, los cuales evaluaron el instrumento para permitir que se midiera con exactitud la variable en estudio, para lo cual se elaboró un formato de validación para medir la validez de las preguntas incluidas en el cuestionario.

Por otro lado, la confiabilidad del instrumento se determinó mediante el coeficiente de consistencia interna de Alfa Cronbach, para su cálculo se aplicó el instrumento a una prueba piloto constituida por 16 personas con las características de la población estudiada, luego los datos se analizaron con el SPSS versión 19 en español. El resultado que se obtuvo fue de 0,924, el cual indica según el baremo propuesto por Ruiz (2009) que el instrumento tiene una confiabilidad muy alta, es decir, lo que se preguntó realmente se llegó a medir.

### ***Análisis de los datos***

En esta investigación los datos se analizaron utilizando una tabla de cálculo de Excel 2010, luego se utilizó la estadística descriptiva específicamente la frecuencia absoluta y

porcentual; y la medida de tendencia central la media interpretada según baremo donde;  $A=(V_{\max}-V_{\min})/V_{\max}$ ;  $A=(5-1)/5=0.8$ . Presentado en Cuadro 1, se tiene que:

Código	Alternativa	Límites	Significado
5	Siempre	4,21 – 5,00	Muy alto nivel de mantenimiento de los equipos
4	Casi siempre	3,41 – 4,20	Alto nivel de mantenimiento de los equipos
3	A veces	2,61 – 3,40	Mediano nivel de mantenimiento de los equipos
2	Casi Nunca	1.81 – 2,60	Bajo nivel de mantenimiento de los equipos
1	Nunca	1,00 - 1,80	Muy bajo nivel de mantenimiento de los equipos

*Cuadro 1. Baremo de interpretación de los resultados. Fuente: Elaboración de los autores.*

El Cuadro 1 muestra el baremo de interpretación de los resultados, la cual contiene una valoración, la alternativa de respuesta, el rango y el significado de cada resultado.

### **Resultados y discusión**

A continuación, se presentan los resultados que consiste en interpretar las hipótesis y/o preguntas formuladas, con la finalidad de evaluar si confirman o no las teorías propuestas por los autores a lo largo del presente desarrollo investigativo. En este sentido, se lograron resultados cuantitativos sobre el problema estudiado; procediendo así al desarrollo de conclusiones, que estuvo constituido por el razonamiento, la discusión específica y general de los resultados de la investigación integrados de manera armónica al contexto teórico. A continuación, se presentan los resultados y su discusión por dimensiones.

#### **Variable 1:** Modelo para el mantenimiento de equipos automatizados

La variable Modelo para el mantenimiento está compuesta por cinco dimensiones: Dimensión Diagnostico de la situación actual de mantenimiento, Dimensión Tipos de fallas en los equipos, Dimensión Filosofía de mantenimiento, compuesta por los indicadores: Mantenimiento Preventivo, Mantenimiento Correctivo y Mantenimiento Predictivo; Dimensión Requerimientos para la ejecución del mantenimiento, integrada por los indicadores Recurso Humano, Recursos técnicos y Recursos económicos; finalmente la Dimensión Fases del modelo de mantenimiento, compuesta por los indicadores: Iniciación, Planificación, Ejecución, Control y Puesta en marcha.

Para comenzar a describir los resultados en la Cuadro 2 se presentan los resultados obtenidos para la Dimensión Diagnostico de la situación actual de mantenimiento, la cual está constituida por cinco indicadores: Fiabilidad, Confiabilidad, Mantenimiento, Disponibilidad y Seguridad.

Indicadores	Siempre		Casi Siempre		Algunas Veces		Casi Nunca		Nunca		Total	Promedio	Categoría	
	A	%	A	%	A	%	A	%	A	%				
Fiabilidad	0	0	6	3.3	2	6.7	0	0	0	0	8	00	.40	lta
Confiabilidad	5	1.3	4	.3	9	0.5	0	0	0	0	8	00	.56	lta
Mantenibilidad	9	8.8	9	8.8	0	2.5	0	0	0	0	8	00	.40	lta
Disponibilidad	15	31.3	21	3.8	2	5	0	0	0	0	8	00	.06	lta
Seguridad	15	31.3	18	7.5	4	9.2	1	.1	0	0	8	00	.66	lta

Promedio de la dimensión: 3.61

Categoría de la Dimensión: Alta gestión del proceso de recuperación

*Cuadro 2. Dimensión Diagnostico de la situación actual de mantenimiento. Fuente: Elaboración de los autores*

Interpretando los resultados de la Cuadro 2, se tiene para el indicador: Fiabilidad, en un 66.7% las personas encuestadas indicaron que algunas veces han tenido algún tipo de problemas para terminar un trabajo con las máquinas CNC; al momento de realizar un trabajo han tenido la preocupación de que su equipo falle; y tienen confianza en los equipos automatizados existentes en la presa al momento de realizar algún tipo de trabajo. Mientras un 33.3% opinaron casi siempre, un 0% siempre, un 0% casi nunca y un 0% nunca. El indicador obtuvo una media de 3.40, lo cual lo ubica en una categoría de mediano nivel de mantenimiento de los equipos; que comparado con la media de la dimensión de 3.61, se encuentra levemente por debajo de su valor; es decir, algunas veces los subdirectores, los coordinadores, instructores y operarios, adscritos en los talleres de máquinas y herramientas convencionales y CNC, toman en cuenta la fiabilidad dentro del mantenimiento. El incumplimiento de esta variable de mantenimiento puede ocasionar penalizaciones económicas, por lo cual se debe tener en cuenta en el diseño del modelo de mantenimiento de una instalación o equipo.

Para el indicador: Confiabilidad, en un 60.4% las personas encuestadas manifestaron que algunas veces se aseguran que los trabajos realizados en los equipos CNC son obtenidos con las tolerancias de precisión requeridas por el cliente; elaboran análisis de confiabilidad a los equipos automatizados con CNC; e identifican los requerimientos de mantenimiento de los sistemas de los sistemas de lubricación según su importancia y criticidad. Mientras un 31.3% opinaron siempre, un 8.3% casi siempre, un 0% casi nunca y un 0% nunca. El indicador obtuvo una media de 3.56, lo cual lo ubica en una categoría de alto nivel de mantenimiento de los equipos, que comparado con la media de la dimensión de 3.61, se encuentra levemente por debajo de su valor; es decir, siempre los subdirectores, los coordinadores, instructores y operarios, adscritos en los talleres de máquinas y herramientas convencionales y CNC, toman en cuenta la confiabilidad dentro del mantenimiento. En este sentido, la confiabilidad afecta los resultados de la empresa, provocando su aplicación en la totalidad de los procesos constitutivos en la cadena de valor de la organización.

Para el indicador: Mantenibilidad, en un 62.5% las personas encuestadas determinaron que algunas veces ejecutan las rutinas de mantenimiento implementadas en los equipos; han implementado otras estrategias de mantenimiento que ayuden a preservar la vida útil de los equipos; y han realizado algún tipo de mantenimiento por su propia cuenta. Mientras un 18.8% opinaron siempre, un 18.8% casi siempre, un 0% casi nunca y un 0% nunca. El indicador obtuvo una media de 3.40, lo cual lo ubica en una categoría de mediano nivel de mantenimiento de los equipos, que comparado con la media de la dimensión de 3.61, se encuentra levemente por debajo de su valor; es decir, algunas veces los subdirectores, los coordinadores, instructores y operarios, adscritos en los talleres de máquinas y herramientas convencionales y CNC, toman en cuenta la mantenibilidad dentro del mantenimiento.

En cuanto al indicador: Disponibilidad, en un 43.8% las personas encuestadas determinaron que casi siempre verifican que los equipos de la empresa se encuentren en óptimas condiciones al momento de ejecutar algún trabajo; procuran que los equipos de trabajo tengan una disponibilidad total, para el desarrollo de las tareas; y ajustan o calibran la maquina antes de ejecutar una orden de trabajo. Mientras un 31.3% opinaron siempre, un 25% algunas veces, un 0% casi nunca y un 0% nunca. El indicador obtuvo una media de 4.06, lo cual lo ubica en una categoría de alto nivel de mantenimiento de los equipos, que comparado con la media de la dimensión de 3.61, se encuentra por encima de su valor; es

decir, casi siempre los subdirectores, los coordinadores, instructores y operarios, adscritos en los talleres de máquinas y herramientas convencionales y CNC, toman en cuenta la disponibilidad dentro del mantenimiento. Este parámetro es probablemente el de mayor importancia en un sistema productivo, puesto que la planificación del resto de actividades de la organización y los compromisos que esta puede hacerse al momento de obtener algún tipo de contrato dependen de este parámetro.

Finalmente, para el indicador: Seguridad, en un 37.5% las personas encuestadas determinaron que casi siempre monitorean el buen funcionamiento del interruptor de parada emergencia; verifican las condiciones físicas de los acrílicos de las guardas de seguridad; y verifican los niveles de aceites antes y durante de la operación de trabajo. Mientras un 31.3% opinaron siempre, un 29.2% algunas veces, un 2.1% casi nunca y un 0% nunca. El indicador obtuvo una media de 3.66, lo cual lo ubica en una categoría de alto nivel de mantenimiento de los equipos, que comparado con la media de la dimensión de 3.61, se encuentra por levemente encima de su valor; es decir, casi siempre los subdirectores, los coordinadores, instructores y operarios, adscritos en los talleres de máquinas y herramientas convencionales y CNC, toman en cuenta la seguridad dentro del mantenimiento.

A continuación, en la Cuadro 3 se presentan los resultados de la dimensión Tipos de fallas en los equipos, constituida por los indicadores: Diseño, Desgaste Abrasivo, Mala Operación, Corrosión y Envejecimiento.

Indicadores	Siempre		Casi Siempre		Algunas Veces		Casi Nunca		Nunca		Total		Promedio	Categoría indicador
	FA	%	F A	%	F A	%	F A	%	F A	%	F A	%		
Diseño	5	10.4	10	20.8	9	18.8	17	35.4	7	14.6	48	100	2.90	Mediana
Desgaste Abrasivo	0	0	9	18.8	39	81.3	0	0	0	0	48	100	3.19	Mediana
Mala Operación	15	31.3	9	18.8	15	31.3	9	18.8	0	0	48	100	3.48	Alta
Corrosión	15	31.3	24	50	9	18.8	0	0	0	0	48	100	4.02	Alta
Envejecimiento	5	10.4	9	18.8	34	70.8	0	0	0	0	48	100	3.33	Mediana
Promedio de la Dimensión: 3.38														
Categoría de la Dimensión: Mediana gestión del proceso de recuperación														

Cuadro 3. Dimensión Tipos de fallas en los equipos. Fuente: Elaboración de los autores

Interpretando los resultados de la Cuadro 3, se tiene para el indicador: Diseño, en un 35.4% las personas encuestadas determinaron que casi nunca verifican las condiciones de trabajo de la máquina estipuladas por el fabricante; verifican que los lubricantes empleados en las máquinas son los recomendados por el fabricante; y realizan seguimiento a las fallas presentadas en los equipos debido a su mal diseño. Mientras un 20.8% opinaron casi siempre, un 18.8% algunas veces, un 14.6% nunca y un 10.4% siempre. El indicador obtuvo una media de 2.90, lo cual lo ubica en una categoría de mediano nivel de mantenimiento de equipos, que comparado con la media de la dimensión de 3.38, se encuentra por debajo de su valor; es decir, algunas veces los subdirectores, los coordinadores, instructores y operarios, adscritos en los talleres de máquinas y herramientas convencionales y CNC, toman en cuenta en los tipos de fallas de los equipos, el diseño.

Para el indicador: Desgaste Abrasivo, en un 81.3% las personas encuestadas indicaron que algunas veces han presenciado desgastes en los componentes debido a la abrasión ocurrida en el equipo; monitorean de forma visual las condiciones físicas de las bancadas de los equipos; e inspeccionan los puntos vulnerables a la abrasión de forma rutinaria. Mientras un 18.8% opinaron casi siempre, un 0% siempre, un 0% casi nunca y un 0% nunca. El indicador obtuvo una media de 3.19, lo cual lo ubica en una categoría de mediano nivel de mantenimiento de equipos, que comparado con la media de la dimensión de 3.38, se encuentra por debajo de su valor; es decir, algunas veces los subdirectores, los coordinadores, instructores y operarios, adscritos en los talleres de máquinas y herramientas convencionales y CNC, toman en cuenta en los tipos de fallas de los equipos, el desgaste abrasivo.

En cuanto al indicador: Mala Operación, en un 31.3% las personas encuestadas manifestaron que siempre ponen en práctica los conocimientos adquiridos durante los procesos de capacitación impartidos por la empresa; verifican en el manual de operación del equipo los procedimientos adecuados para realizar una función específica; y operan de manera adecuada los equipos asignados por la empresa. Mientras un 31.3% opinaron algunas veces, un 18.8% casi siempre, un 18.8% casi nunca y un 0% nunca. El indicador obtuvo una media de 3.48, lo cual lo ubica en una categoría de alto nivel de mantenimiento de equipos, que comparado con la media de la dimensión de 3.38, se encuentra por encima de su valor; es decir, casi siempre los subdirectores, los coordinadores, instructores y operarios, adscritos

en los talleres de máquinas y herramientas convencionales y CNC, toman en cuenta en los tipos de fallas de los equipos, la mala operación.

Para el indicador: Corrosión, en un 50% las personas encuestadas indicaron que casi siempre inspeccionan periódicamente las partes de la máquina más vulnerables a la corrosión; lubrican de forma rutinaria los componentes del equipo expuesto al ambiente; y realizan limpieza rutinaria al equipo después de ejecutar alguna labor. Mientras un 31.3% opinaron siempre, un 18.8% algunas veces, un 0% casi nunca y un 0% nunca. El indicador obtuvo una media de 4.02, lo cual lo ubica en una categoría de alto nivel de mantenimiento de los equipos, que comparado con la media de la dimensión de 3.38, se encuentra por encima de su valor; es decir, casi siempre los subdirectores, los coordinadores, instructores y operarios, adscritos en los talleres de máquinas y herramientas convencionales y CNC, toman en cuenta en los tipos de fallas de los equipos, la corrosión.

Finalmente, para el indicador: Envejecimiento, en un 70.8% las personas encuestadas indicaron que algunas veces promueven la actualización de los equipos existentes en la empresa; observan demoras al momento de ejecutar algún tipo de trabajo debido al envejecimiento del equipo; y reportan de manera formal el deterioro del equipo debido a que ya cumplió su vida útil. Mientras un 18.8% opinaron casi siempre, un 10.4% siempre, un 0% casi nunca y un 0% nunca. El indicador obtuvo una media de 3.33, lo cual lo ubica en una categoría de mediano nivel de mantenimiento de los equipos, que comparado con la media de la dimensión de 3.38, se encuentra por debajo de su valor; es decir, algunas veces los subdirectores, los coordinadores, instructores y operarios, adscritos en los talleres de máquinas y herramientas convencionales y CNC, toman en cuenta en los tipos de fallas de los equipos, el envejecimiento.

Siguiendo con los resultados de la variable, en la Cuadro 4 se presentan los resultados de la Dimensión Filosofía de mantenimiento, la cual está constituida por los indicadores: Mantenimiento Preventivo, Mantenimiento Correctivo, Mantenimiento Predictivo.

Indicadores	Siempre		Casi Siempre		Algunas Veces		Casi Nunca		Nunca		Total		Promedio	Categoría Indicador
	FA	%	FA	%	FA	%	FA	%	FA	%	FA	%		
Mantenimiento Preventivo	0	0	14	29.2	34	70.8	0	0	0	0	48	100	3.33	Mediana
Mantenimiento Correctivo	0	0	9	18.8	39	81.3	0	0	0	0	48	100	3.19	Mediana
Mantenimiento Predictivo	30	62.5	9	18.8	9	18.8	0	0	0	0	48	100	4.29	Alta
Promedio de la Dimensión: 3.60														
Categoría de la Dimensión: Alta gestión del proceso de recuperación														

*Cuadro 4. Dimensión Filosofía de mantenimiento. Fuente: Elaboración de los autores*

Interpretando los resultados de la Cuadro 4, referente a la tercera Dimensión: Filosofía del Mantenimiento, para el indicador: Mantenimiento preventivo, en un 70.8% las personas encuestadas manifestaron que algunas veces cumplen con los planes de mantenimiento implementados por el personal de mantenimiento; realizan el tipo de mantenimiento según el cronograma establecido; y realizan inspecciones rutinarias antes de operar el equipo. Mientras un 29.2% opinaron casi siempre, un 0% siempre, un 0% casi nunca y un 0% nunca. El indicador obtuvo una media de 3.33, lo cual lo ubica en una categoría de mediano nivel de mantenimiento de los equipos, que comparado con la media de la dimensión de 3.60, se encuentra por debajo de su valor; es decir, algunas veces los subdirectores, los coordinadores, instructores y operarios, adscritos en los talleres de máquinas y herramientas convencionales y CNC, realizan mantenimiento preventivo a los equipos.

Para el indicador: Mantenimiento correctivo, en un 81.3% las personas encuestadas indicaron que algunas veces hacen seguimiento de manera formal a fallas ocurrida en el equipo durante una operación; participan con dedicación en los mantenimientos realizados por el personal de mantenimiento cuando se realiza un mantenimiento correctivo; y han estado en capacidad de solucionar una falla crítica en cualquier equipo de la empresa. Mientras un 18.8% opinaron casi siempre, un 0% siempre, un 0% casi nunca y un 0% nunca. El indicador obtuvo una media de 3.19, lo cual lo ubica en una categoría de mediano nivel de mantenimiento de equipos, que comparado con la media de la dimensión de 3.60, se encuentra por debajo de su valor; es decir, algunas veces los subdirectores, los coordinadores, instructores y operarios, adscritos en los talleres de máquinas y herramientas convencionales y CNC, realizan mantenimiento correctivo a los equipos.

Finalmente, para el indicador: Mantenimiento predictivo, en un 62.5% las personas encuestadas determinaron que siempre verifican el buen funcionamiento de la máquina

después de ejecutarse un mantenimiento predictivo; acatan con responsabilidad las recomendaciones asignadas por el personal de mantenimiento de la empresa; y reportan de manera habitual las fallas ocurridas dentro de la hoja de vida del equipo. Mientras un 18.8% opinaron casi siempre, un 18.8% algunas veces, un 0% casi nunca y un 0% nunca. El indicador obtuvo una media de 4.29, lo cual lo ubica en una categoría de alto nivel de mantenimiento de los equipos, que comparado con la media de la dimensión de 3.60, se encuentra por encima de su valor; es decir, siempre los subdirectores, los coordinadores, instructores y operarios, adscritos en los talleres de máquinas y herramientas convencionales y CNC, realizan mantenimiento predictivo a los equipos.

Indicadores	Siempre		Casi Siempre		Algunas Veces		Casi Nunca		Nunca		Total		Promedio	Categoría Indicador
	FA	%	FA	%	FA	%	FA	%	FA	%	FA	%		
Recurso Humano	0	0	14	29.2	34	70.8	0	0	0	0	48	100	4.10	Alta
Recursos Técnicos	0	0	9	18.8	39	81.3	0	0	0	0	48	100	3.81	Alta
Recursos Económicos	30	62.5	9	18.8	9	18.8	0	0	0	0	48	100	3.80	Alta
Promedio de la Dimensión: 3.91														
Categoría de la Dimensión: Alta gestión del proceso de recuperación														

*Cuadro 5. Dimensión Requerimientos para la ejecución del mantenimiento. Fuente: Elaboración de los autores*

Interpretando los resultados de la Cuadro 5, referente a la cuarta Dimensión: Requerimientos para la ejecución del Mantenimiento, para el indicador: Recurso humano, en un 68.8% las personas encuestadas indicaron que casi siempre promueven programas de entrenamiento para el desarrollo laboral de los empleados; planifican el personal necesario para realizar las actividades; y elaboran los perfiles con las habilidades necesarias para el personal requerido. Mientras un 31.3% opinaron siempre, un 0% algunas veces, un 0% casi nunca y un 0% nunca. El indicador obtuvo una media de 4.10, lo cual lo ubica en una categoría de alto nivel de mantenimiento de equipos, que comparado con la media de la dimensión de 3.91, se encuentra por encima de su valor; es decir, casi siempre los subdirectores, los coordinadores, instructores y operarios, adscritos en los talleres de máquinas y herramientas convencionales y CNC, toman en cuenta el recurso humano como parte de los requerimientos para la ejecución del mantenimiento.

Para el indicador: Recursos técnicos, en un 50% las personas encuestadas manifestaron que casi siempre elaboran planes de procura anual para garantizar la operatividad de los equipos CNC; realizan seguimiento a la procura programada; y verifican la disponibilidad de la procura al momento de ejecutar las actividades. Mientras un 31.3% opinaron siempre, un 18.8% algunas veces, un 0% casi nunca y un 0% nunca. El indicador obtuvo una media de 3.81, lo cual lo ubica en una categoría de alto nivel de mantenimiento de equipos, que comparado con la media de la dimensión de 3.91, se encuentra por debajo de su valor; es decir, casi siempre los subdirectores, los coordinadores, instructores y operarios, adscritos en los talleres de máquinas y herramientas convencionales y CNC, toman en cuenta el recurso técnico como parte de los requerimientos para la ejecución del mantenimiento.

Finalmente, para el indicador: Recursos económicos, en un 41.7% las personas encuestadas determinaron que casi siempre planifican los recursos económicos para adquirir nuevas tecnologías; emplean el presupuesto acorde a los requerimientos operativos; y elaboran planes de inversión anual para enfrentar a los compromisos organizacionales. Mientras un 39.6% opinaron algunas veces, un 18.8% siempre, un 0% casi nunca y un 0% nunca. El indicador obtuvo una media de 3.80, lo cual lo ubica en una categoría de alto nivel de mantenimiento de los equipos, que comparado con la media de la dimensión de 3.91, se encuentra por debajo de su valor; es decir, casi siempre los subdirectores, los coordinadores, instructores y operarios, adscritos en los talleres de máquinas y herramientas convencionales y CNC, toman en cuenta el recurso económico como parte de los requerimientos para la ejecución del mantenimiento.

Para la dimensión Fases del modelo de mantenimiento, la cual está constituida por los indicadores: Iniciación, Planificación, Ejecución, Control y Puesta en Marcha, se presentan los resultados obtenidos en el Cuadro 6 que se muestra a continuación.

Indicadores	Siempre		Casi Siempre		Algunas Veces		Casi Nunca		Nunca		Total		Promedio	Categoría
	F A	%	F A	%	FA	%	FA	%	FA	%	FA	%		
Iniciación	5	10.4	10	20.8	9	18.8	17	35.4	7	14.6	48	100	3.79	Alta
Planificación	0	0	9	18.8	39	81.3	0	0	0	0	48	100	3.88	Alta
Ejecución	15	31.3	9	18.8	15	31.3	9	18.8	0	0	48	100	3.79	Alta
Control	15	31.3	24	50	9	18.8	0	0	0	0	48	100	3.48	Alta
Puesta en Marcha	5	10.4	9	18.8	34	70.8	0	0	0	0	48	100	3.64	Alta
Promedio de la Dimensión: 3.72														
Categoría de la Dimensión: Alta gestión del proceso de recuperación														

*Cuadro 6. Dimensión Fases del modelo de mantenimiento. Fuente: Elaboración de los autores*

Interpretando los resultados de la Cuadro 6, referente a la quinta Dimensión: Fases del modelo de mantenimiento, se tiene para el indicador: Iniciación, en un 37.5% las personas encuestadas determinaron que algunas veces elaboran planes para visualizar la disponibilidad de tecnología y recursos para el mejoramiento tecnológico de los equipos CNC; verifican la definición de los objetivos del plan para su ejecución; y realizan control y seguimiento de las actividades. Mientras un 31.3% opinaron siempre, un 31.3% casi siempre, un 0% casi nunca y un 0% nunca. El indicador obtuvo una media de 3.79, lo cual lo ubica en una categoría de alto nivel de mantenimiento de los equipos, que comparado con la media de la dimensión de 3.72, se encuentra por encima de su valor; es decir, casi siempre los subdirectores, los coordinadores, instructores y operarios, adscritos en los talleres de máquinas y herramientas convencionales y CNC, toman en cuenta la iniciación como fase del modelo de mantenimiento.

Para el indicador: Planificación, en un 50% las personas encuestadas indicaron que casi siempre planifican un esquema de trabajo para el mantenimiento de las gabarras de perforación; desarrollan acciones para el logro de las metas planteadas; y aseguran que su equipo de trabajo cuenta con la capacidad para satisfacer las exigencias del cliente. Mientras un 31.3% opinaron siempre, un 18.8% algunas veces, un 0% casi nunca y un 0% nunca. El indicador obtuvo una media de 3.88, lo cual lo ubica en una categoría de alto nivel de mantenimiento de los equipos, que comparado con la media de la dimensión de 3.72, se encuentra por encima de su valor; es decir, casi siempre los subdirectores, los coordinadores,

instructores y operarios, adscritos en los talleres de máquinas y herramientas convencionales y CNC, toman en cuenta la planificación como fase del modelo de mantenimiento.

En cuanto al indicador: Ejecución, en un 37.5% las personas encuestadas determinaron que algunas veces monitorean las actividades de ejecución para el mejoramiento de las gabarras de perforación; gestionan los recursos en forma adecuada para el cumplimiento de las actividades; y fomentan la elaboración de reportes de desempeño durante la ejecución de las actividades. Mientras un 31.3% opinaron siempre, un 31.3% casi siempre, un 0% casi nunca y un 0% nunca. El indicador obtuvo una media de 3.79, lo cual lo ubica en una categoría de alto nivel de mantenimiento de los equipos, que comparado con la media de la dimensión de 3.72, se encuentra por encima de su valor; es decir, casi siempre los subdirectores, los coordinadores, instructores y operarios, adscritos en los talleres de máquinas y herramientas convencionales y CNC, toman en cuenta la ejecución como fase del modelo de mantenimiento.

Para el indicador: Control, en un 68.8% las personas encuestadas manifestaron que algunas veces analizan como el progreso de las actividades difiere de lo planificado; lideran al personal para que hagan su trabajo de forma efectiva con las herramientas necesarias; y monitorean que la ejecución del trabajo se realice de manera sistemática y ordenada. Mientras un 31.3% opinaron casi siempre, un 0% siempre, un 0% casi nunca y un 0% nunca. El indicador obtuvo una media de 3.48, lo cual lo ubica en una categoría de alto nivel de mantenimiento de los equipos, que comparado con la media de la dimensión de 3.72, se encuentra por debajo de su valor; es decir, casi siempre los subdirectores, los coordinadores, instructores y operarios, adscritos en los talleres de máquinas y herramientas convencionales y CNC, toman en cuenta el control como fase del modelo de mantenimiento.

Finalmente, para el indicador: Puesta en Marcha, en un 77.1% las personas encuestadas indicaron que casi siempre comprueban que el mejoramiento de los equipos automatizados satisface las especificaciones exigidas por el cliente; coordinan los pasos rigurosamente (calibración de equipos, pruebas de arranque, entre otros) para la entrega del producto final; y promueven la capacitación del personal técnico y operadores encargados de la operación de los equipos automatizados. Mientras un 22.9% opinaron algunas veces, un 0% siempre, un 0% casi nunca y un 0% nunca. El indicador obtuvo una media de 3.64, lo cual lo ubica en una categoría de alto nivel mantenimiento de los equipos, que comparado con la media de la

dimensión de 3.72, se encuentra por debajo de su valor; es decir, casi siempre los subdirectores, los coordinadores, instructores y operarios, adscritos en los talleres de máquinas y herramientas convencionales y CNC, toman en cuenta la puesta en marcha como fase del modelo de mantenimiento.

Por tanto, estas pueden mostrar diferencias relevantes en su duración e intensidad, acorde a la complejidad del procedimiento productivo, comprensión de la tecnología que se utilice, dimensión de las instalaciones, cantidad de trabajadores y especialización de los equipos de trabajo. En esta etapa es esencial acudir al inventario de las instalaciones y medición de los equipos, y realizar pruebas de comisionamiento y corrección de los errores encontrados, con el fin de alcanzar la capacidad, costo y calidad del diseño. Los factores de éxito para esta etapa corresponden a las estrategias aplicadas para contratar y capacitar el personal técnico y los operadores encargados de la partida y operación posterior. Los objetivos primordiales son preparar al personal y ejecutar los procedimientos técnicos para anticipar los flujos de ingresos.

Ahora, se procede a presentar en la Cuadro 7, el cierre de la variable: Modelo para el mantenimiento de equipos automatizados, con sus respectivas dimensiones y medias aritméticas.

<b>DIMENSIONES</b>	<b>Promedio</b>	<b>Categoría</b>	<b>Interpretación</b>
Diagnóstico de la situación actual de Mantenimiento	3.61	Alta	Alta gestión del proceso de recuperación
Tipos de fallas en los equipos	3.38	Mediana	Mediana gestión del proceso de recuperación
Filosofía del mantenimiento	3.60	Alta	Alta gestión del proceso de recuperación
Requerimientos para ejecución del mantenimiento	3.91	Alta	Alta gestión del proceso de recuperación
Fases del modelo de mantenimiento	3.72	Alta	Alta gestión del proceso de recuperación
Promedio De La Variable: 3.64			
Interpretación: Alta gestión del proceso de recuperación			

*Cuadro 7. Dimensión Fases del modelo de mantenimiento. Fuente: Elaboración de los autores*

Para discutir el cierre de la variable, se puede indicar que el Modelo para el mantenimiento de equipos automatizados arrojó una media de 3.64, la cual la ubica en una categoría de Alta gestión del proceso de recuperación; lo cual significa que casi siempre los

subdirectores, los coordinadores, instructores y operarios, adscritos en los talleres de máquinas y herramientas convencionales y CNC, diagnostican la situación actual del Mantenimiento; cumplen con su filosofía; aplican los requerimientos para ejecución del mantenimiento; y cumplen las fases del modelo de mantenimiento; mientras que algunas veces toman en cuenta los tipos de fallas de los equipos. Los resultados obtenidos son positivos en algunos aspectos y presentan similitudes con los hallazgos en Vallejo & Leonidas (2016), donde se encontró que se debe realizar una distribución precisa en un área específica y mantener capacitado al personal, manteniendo el correcto seguimiento.

Por otro lado, los resultados difieren de lo expuesto por Liao, Wang & Pan (2012) quienes exponen que, los modelos de mantenimiento generalmente ignoran el proceso de deterioro de la máquina, debido a que la investigación arrojó que se realiza mantenimiento y se tiene en cuenta el deterioro de la máquina, pero no se realiza de manera adecuada y en ocasiones no se tiene en cuenta el inicio o la planificación del mantenimiento. Similares características presentan Zhou, Zhang & Weng (2014), donde analizó la situación actual del mantenimiento y se desarrolló un modelo de pronóstico de la tendencia a la degradación del rendimiento, donde en las actividades de mantenimiento, combinan el punto de vista del mantenimiento basado en el tiempo y el mantenimiento basado en la condición concluyendo que no solo mantiene la confiabilidad del equipo, sino que también reduce el costo.

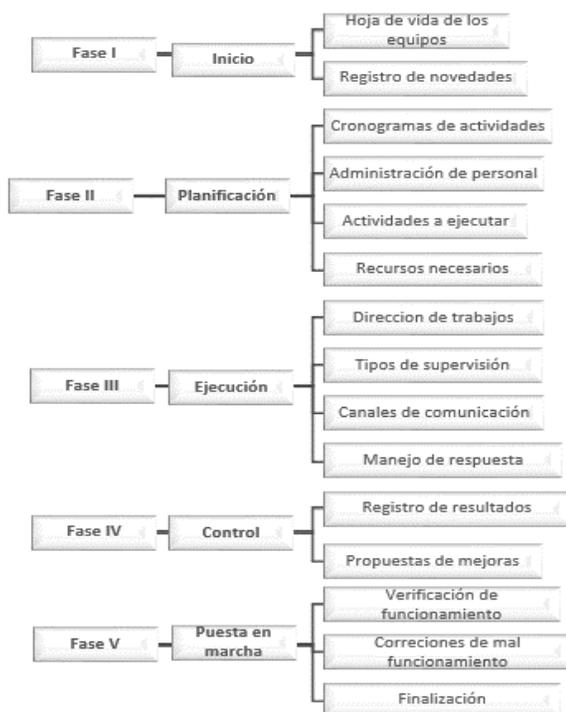
### ***La Propuesta***

A continuación, se presenta la propuesta de un Modelo para el mantenimiento de equipos automatizados; elaborada con base en los resultados arrojados por las diferentes dimensiones de la variable en estudio. La propuesta está soportada por diferentes autores entre los cuales resalta el PMBOK que sirven de guía para elaboración de documentos y procedimientos que ayuden a solventar la situación de la del mantenimiento de equipos automatizados en mecanizado CNC dirigido al sector metalmecánico colombiano. El modelo tendrá como fin, aumentar la probabilidad, la rentabilidad y la productividad los subdirectores, los coordinadores, instructores y operarios, adscritos en los talleres de máquinas y herramientas convencionales y CNC, tomando en cuenta el recurso humano como instrumento vital en la organización del proyecto según lo planteado por Villamizar, et al (2013).

El Modelo para el mantenimiento de equipos automatizados está definido como aquel conjunto de pasos a seguir por un equipo multidisciplinario de expertos con el fin de lograr el éxito del proyecto, contando con ciertos recursos técnicos, humanos, financieros y legales que vienen acompañados de normativas y formularios. La propuesta tendrá como objetivo suministrar lineamientos a seguir para el desarrollo efectivo de las actividades de mantenimiento para los equipos automatizados en CNC, prolongar la vida útil de los equipos automatizados, mitigar las imperfecciones en las piezas mecanizadas, ocurridas por la falta de mantenimiento en las máquinas. Se recomienda en ejecución de las actividades de mantenimiento implementar la filosofía del mantenimiento centrada en la confiabilidad, la cual comienza con el estudio o análisis del funcionamiento de los equipos destinados al mantenimiento, este análisis permite establecer la vida útil de los componentes del equipo, considerando su uso, frecuencia de fallas, lo que origina el inicio, la planificación hasta llegar a la programación de las actividades y a su vez los requerimientos a emplear.

Respecto al alcance, el modelo se encuentra direccionado para cubrir las necesidades de mantenimiento de los equipos automatizados, considerando sus componentes sistemas y subsistema que los integran. Sin embargo, es un modelo general el cual permite su implementación en cualquier tipo de maquinaria semejante a equipos automatizados del sector industrial. La propuesta de la investigación está conformada por cinco fases para el desarrollo de la gestión que busca dar solución a las interrogantes y fallas que alteran el proyecto, estas fases son: Iniciación, Planificación, Ejecución, Control, y Puesta en Marcha. En la Figura 1 se ilustran las fases del mantenimiento por medio de un diagrama jerárquico conformado por cinco fases, las cuales se presentan a continuación.

**Figura 1. Diagramas de las fases del Modelo de mantenimiento**



Fuente: Autores

### ***Fase I. Inicio***

Para dar inicio a esta fase es necesario fijar las acciones de información dentro de la organización, para que se pueda aplicar el proceso de orientarse al desarrollo y análisis del plan.

1. Difundir las bases y lineamientos de cómo se fundamenta el plan de mantenimiento, dando a conocer los beneficios que traerá a la institución, esto se logra a través de reuniones y mesas de trabajo que se pueden realizar periódicamente.

2. Analizar y Evaluar la situación actual de los equipos automatizados, realizándoles las respectivas inspecciones y obtención de las hojas de vida de los equipos.

3. Registrar en formatos de novedades los diferentes tipos de mantenimientos ejecutados en la maquinaria industrial creando así el historial de los equipos.

4. Clasificar los recursos tecnológicos.

5. Verificar la documentación existente en los equipos automatizados.

6. Establecer los objetivos y propósitos de la propuesta, el cual se desarrollará con el equipo encargado de la ejecución de las actividades.

7. Elaborar Plan de acción, Se considerarse el comienzo del inicio del modelo de mantenimiento, ya que es aquí donde se determinan los equipos a utilizar, el registro de la información necesaria, especificaciones técnicas de los equipos que integran los componentes la de la maquinaria.

8. Obtención de las respectivas fichas técnicas de los equipos, ya que es fundamental toda la información técnica descriptiva de sus sistemas tales como potencia, levantamiento, rotación, circulación por ultimo seguridad, descripción de los equipos que lo integran se deberá resaltar las características más importantes con el fin de tener un mayor conocimiento tales como su ubicación, el fabricante, proveedor, la codificación designada en las compras e inventarios. Con este tipo de registro se podrá mantener un control de datos estadísticos que podrán ser utilizados a futuro ante una toma de decisiones a nivel de superintendencia en conjunto con la gerencia.

### ***Fase II. Planificación***

Esta fase se contempla como la base del sistema de gestión de mantenimiento para los equipos automatizados, ya que en ella se determinan los elementos necesarios para la planificación y la realización de las nuevas tareas programadas.

***Actividades a Realizar:*** Intrínsecamente en el modelo de mantenimiento, la planificación juega un papel sumamente muy importante ya que implica la necesidad de visualizar las principales actividades de mantenimiento, la definición del tiempo del mantenimiento a usar para la planificación, el tipo de actividades a programar, la frecuencia de realización de las verificaciones, las jornadas de trabajo, la cantidad del personal involucrado, los tiempos estimados para los trabajos, los requerimientos de personal, las herramientas y los repuestos.

Para cumplirse con el único objetivo de alcanzar las metas, destacando de esta manera los recursos necesarios para la realización de las actividades, donde se deben de seguir ciertos lineamientos interrelacionados con el personal que integra el departamento de mantenimiento y los objetivos planteados.

***Responsabilidades:*** El departamento de mantenimiento debe proveer los recursos necesarios para garantizar el trabajo y cambio en las actividades a realizar según sea su nivel de mantenimiento y el Supervisor de Mantenimiento tiene que cumplir y hacer cumplir todas

las medidas establecidas en el presente procedimiento, informar al personal involucrado sobre alguna situación anormal en el equipo. Para tal efecto se deben manejar formatos para las actividades del mantenimiento, los cuales al final reposaran en el expediente de cada equipo.

**Administración De Personal:** Efectuar de manera organizada el control del recurso humano con base en las necesidades de trabajo, en función de las prioridades, atendiendo la contratación, adiestramiento, capacitación del personal, así como también, de los diversos movimientos escalafones, nuevas altas y bajas, vacaciones, jubilaciones y solicitudes de permisos más compensaciones, en resumen, todo lo necesario para el desarrollo de las actividades del manteamiento de equipos, dentro de las cuales se pueden citar: Mantener actualizada las fichas técnicas del personal por lo es fundamental elaborar, actualizar una base de datos de toda la fuerza laboral de manera correcta, llevar un control de altas como también de bajas de contrataciones, jubilaciones y cambios para la adecuado adiestramiento. Revisar los incentivos, nombramientos, ascensos pero lo más importantes tener identificado el personal clave o de mayor experiencia para fomentar estrategias de desarrollo para el resto del personal de menor pericia practica en mantenimientos de los equipos automatizados.

**Recursos Necesarios:** Se propone realizar un formato de verificación de los recursos a utilizar una vez que se programe la ejecución de un mantenimiento sin considerar el tipo, de esta manera se podrá saber la disposición de los trabajadores o empleados necesarios, profesionales especializados en los diferentes equipos automatizados. Por otro lado, la infraestructura con las características precisas para la ejecución del mantenimiento, las máquinas de soldador, tornos, bancos de pruebas se considera como cantidad y capacidad operativa óptima. De igual manera, los repuestos e inventarios son esenciales para dar respuesta inmediata precisa al mantenimiento, para lo cual se necesita una base de datos o inventarios para el almacenamiento adecuado, estos van de la mano con los instrumentos y herramientas que se pueden utilizar en el desarrollo de la labor, con el fin de obtener el resultado deseado en el mantenimiento. Por último los recursos económicos necesarios para ejecutar todo tipo de mantenimiento, los diferentes tipos de financiamientos están usualmente disponibles y basados en el tamaño de las necesidades de la empresa.

### ***Fase III. Ejecución.***

Esta fase comprende las etapas de: dirección del trabajo según el tipo de mantenimiento, supervisión clave, canales de comunicación y manejo de respuesta, es decir, los elementos que de forma indirecta o directa intervienen en la ejecución de las labores de mantenimiento para los equipos automatizados para satisfacer las programaciones realizadas.

***Dirección Del Trabajo:*** Realización de las tareas de manejo de órdenes de trabajo, la cual será emitida por el analista de mantenimiento para proceder a ejecutar las actividades de mantenimiento tanto predictivas, preventivas y correctivas, en esta se especificará la fecha de emisión, el supervisor a cargo, el equipo o sistema a realizar la actividad, la descripción de la actividad, el personal ejecutor la cuadrilla completa, la fecha, hora de culminación y de existir alguna observación se podrá dejar por escrito.

***Tipos De Supervisión:*** El gerente de mantenimiento deberá establecer el tipo de supervisión el cual adoptará la organización por ser una actividad técnica y especializada, la cual se fundamenta en utilizar racionalmente los factores, posibilitando la realización de los procesos de trabajo mediante el personal, los equipos, maquinarias, herramientas, entre otros elementos claves. El modelo de mantenimiento plantea la necesidad de implementar un tipo o estilo de supervisión que garantice una mejora en la producción de los empleados, el desarrollo de un uso óptimo de los recursos para obtener una rentabilidad pertinente de las actividades, el desarrollo constante de los empleados de manera integral, un monitoreo de las actitudes de los subordinados para contribuir a mejorar las condiciones laborales. Las características a cumplir por el personal de supervisores, es poseer un alto grado de conocimiento del trabajo, responsabilidad, habilidad administrativa para el manejo de personal, contar con la capacidad suficiente para mejorar el sentido de pertenencia.

***Canales De Comunicación:*** El gerente de mantenimiento está en la obligación de establecer estrategias de comunicación implementando diversos canales, que permiten lograr una comunicación interna y externa eficiente, la cual deberá fluir verticalmente, es decir, desde la gerencia hacia los niveles más bajos de la organización, estos canales serán usados por la gerencia para proporcionar instrucciones, de igual manera, la comunicación también funcionará de forma opuesta, es decir, que va desde los empleados o cuadrillas hacia la gerencia. Se utilizará para proporcionar una retroalimentación de las órdenes emitidas, informarse sobre los progresos, el sentir de los problemas, como están los empleados en su

puesto de trabajo, con sus compañeros y con la organización, con el fin de mejorar el clima organizacional e incentivar a los empleados.

***Manejo De Respuesta:*** Es necesario que los operarios de los equipos o el supervisor de mantenimiento tenga capacidad de respuesta ante situaciones encontradas al momento de una falla donde implique tomar una decisión inmediata, la cual debe ir soportada por los líderes y supervisores mayores, para evitar realizar paradas innecesarias y optimizar el manejo de respuesta.

***Fase IV. Seguimiento Y Control:*** En esta fase se detallan las actividades con las cuales se identifican y analizan los fallos que se pueden obtener en los resultados de mantenimiento de la maquinaria automatizada, el rendimiento real del sistema productivo frente a las metas operativas, están integradas en las siguientes actividades.

***Registro De Resultados:*** La implementación de un sistema de información es fundamental con el fin de apoyar las actividades de gestión de mantenimiento. Para lo cual es necesario el recurso humano calificado para ejercer cada una de las actividades establecidas en los cronogramas de mantenimiento, recopilar la información de las operaciones realizadas, introducir la información de manera manual en el histórico de cada uno de los equipos con el objetivo de almacenarla mediante el uso de computadoras con gran capacidad de almacenamiento y un servidor que garantice la seguridad de la información almacenada.

***Propuesta De Mejoras:*** Al culminar el proceso de gestión de las actividades de mantenimiento si se detecta alguna desviación, el personal implicado podrá hacer propuesta que minimicen a su máxima expresión o eliminen la misma, en el modelo de mantenimiento propuesto tendrá que ser manejable en el momento de hacer correcciones que conlleven a la excelencia.

#### ***Fase V. Puesta En Marcha***

Continuando con las fases del modelo de mantenimiento la fase de puesta en marcha requiere de la documentación de las fases anteriores a fin de dar consecución a su correcta ejecución. La puesta en marcha exige de actividades estratégicas que implican:

(1) Verificación de los equipos críticos y especificaciones de calidad contempladas en el diseño.

(2) Disponibilidad de la capacidad tecnológica.

(3) Uso de la tecnología para disminuir retrasos.

En esta etapa, también se involucra a todo el personal técnico para la puesta en marcha y funcionalidad de los equipos, así como también el supervisor de operaciones, mantenimiento y aquellos especialistas en materia de tecnología para que realicen todas las pruebas de arranque antes entregar del producto final. Entre las actividades que agrupa esta etapa se tienen:

1. Preparación y pruebas de arranque.
2. Pruebas de capacidad de los equipos.
3. Revisión de la lista de verificación para el arranque exitoso.
4. Preparación de los procedimientos operacionales y de mantenimiento.
5. Entrega de los manuales de operación de los equipos.
6. Revisión de la lista de verificación de todos los equipos.
7. Adiestramiento al personal para el buen manejo operacional de los equipos.

El logro de esta etapa dependerá de la aplicación de una buena planeación inicial, considerando todas las características importantes para alcanzar el nivel óptimo de una ejecución operativa estable y segura de la instalación, incrementando de forma gradual la carga y alcanzar la capacidad de diseño y determinar la existencia de limitantes para conseguirlo, comprobar el rendimiento de los equipos y sistemas, acorde al programa planificado, conservar la ejecución continua de la operación a los niveles predeterminados y verificar la calidad de los equipo.

Por ultimo cabe resaltar que la factibilidad se presenta con el retorno de la inversión, para el modelo de mantenimiento la inversión es de mínima, solo es necesario establecer las actividades para mitigar las faltas que están ocurriendo en el mantenimiento de equipos automatizados y seguir a cabalidad lo expuesto en cada uno de las fases que integran el modelo. Esta propuesta proporciona los conocimientos sobre las fases que se deben llevar a cabo para ejecutar correctamente este tipo de proyectos y la organización está en la capacidad de adquirir los recursos técnicos y humanos para la implantación del mismo. Por otro lado, Con la organización del personal de trabajo, asignadas a una actividad en específico se sabe

cuántas personas se requieren para de esta manera contar con la cantidad de personal para las labores de mantenimiento. De igual manera ocurre con los inventarios de materiales, repuestos, instrumentos, herramientas, equipos, es decir todos los recursos fundamentales para el trabajo.

La inversión está integrada por el direccionamiento del equipo de trabajo, la implantación de formatos, la clasificación de documentos generados por actividades, la formación e inducción del personal en cuanto a mantenimiento de equipos automatizados se refiera y la adquisición de repuestos necesarios para la continuidad operativa. Con todos estos requisitos se evidencia que el modelo propuesto satisface las medidas de un proyecto factible que se puede aprovechar en el sector metalmecánico

### **Conclusiones**

Una vez culminado el estudio cuyo objetivo principal fue proponer un Modelo para el mantenimiento de equipos automatizados en mecanizado CNC del sector metalmecánico colombiano, en el cual se estudió la teoría existente al respecto, se aplicó un instrumento o cuestionario para adquirir información de la realidad, la cual se analizó, discutió y reviso, llegando a constituirse las siguientes conclusiones:

Al diagnosticar la situación actual de las de los equipos automatizados en mecanizado CNC se concluye que existen ciertas debilidades, en cuanto a las condiciones actuales en que se encuentran las maquinarias, esto debido a las malas rutinas de mantenimiento implementadas por la empresa, lo que ha provocado el deterioro prematuro de los mismos. Al analizar las fallas más comunes presentes en los equipos, se encontró que se dan por mala operación, corrosión, lubricación inadecuada y descalibración. En relación con los tipos de mantenimiento empleados en los equipos de mecanizado automatizados (Preventivos, Predictivos y Correctivos), se realizan en algunas ocasiones, se puede afirmar que no se realiza adecuadamente el mantenimiento por falta de programación.

Asimismo, respecto a los requerimientos necesarios para la ejecución del mantenimiento, se encontraron deficiencias en cuanto a la falta de adiestramiento del personal y la inexistencia de los planes de inversión para cumplir con los compromisos y requerimientos de la empresa. Por su parte se constató que el personal que lleva a cabo las tareas concernientes a los procesos actuales, requieren reforzamiento para: el detalle de las

etapas del modelo, el mejoramiento tecnológico de los equipos de mecanizado CNC, así como también las bases para la correcta visualización de los objetivos del modelo y los recursos suficientes para la correcta ejecución de las actividades. Para culminar se concluye que las fases del modelo no son empleadas por el departamento de mantenimiento, lo cual se evidencia en los resultados obtenidos, donde se observa en la mayoría de los casos que las funciones de inicio, planificación, ejecución, control y seguimiento y finalización de las actividades de mantenimiento son empleadas algunas veces en la gestión del mantenimiento y en el mayor de los casos no se cumple el inicio y la planificación para la ejecución de los trabajos programados.

### **Referencias bibliográficas**

- Barrios, A., & Ortiz, M. (2012). El mantenimiento en el desarrollo de la gestión empresarial, Fundamentos teóricos. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, (170), 1-21.
- Del Castillo, C. C., Orozco, S. O., & García, M. G. (2014). *Metodología de la Investigación*. Grupo Editorial Patria.
- González J. (2005). *Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial*. Fundación Confemetal. Madrid.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. Sexta Edición. Editorial Mc Graw Hill. México.
- Hurtado J. (2011). *El proyecto de Investigación*. Editorial Sypal. Caracas.
- Khan, M., Wu, X., Xu, X., & Dou, W. (2017). Big data challenges and opportunities in the hype of industry 4.0. In *Communications (ICC), 2017 IEEE International Conference on* (pp. 1-6). IEEE.
- Kumar, R., Markeset, T., & Kumar, U. (2004). Maintenance of machinery: negotiating service contracts in business-to-business marketing. *International Journal of Service Industry Management*, 15(4), 400-413.
- Lei, Y., Li, N., Gontarz, S., Lin, J., Radkowski, S., & Dybala, J. (2016). A model-based method for remaining useful life prediction of machinery. *IEEE Transactions on Reliability*, 65(3), 1314-1326.

- Li, N., Lei, Y., Li, N., & Lin, J. (2017). Machine remaining useful life prediction considering unit-to-unit variability. In *Prognostics and Health Management (ICPHM), 2017 IEEE International Conference on* (pp. 103-108). IEEE.
- Liao, W., Wang, Y., & Pan, E. (2012). Single-machine-based predictive maintenance model considering intelligent machinery prognostics. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 63(1-4), 51-63.
- López-Roldán, P., & Fachelli, S. (2015). *Metodología de la investigación social cuantitativa*. Bellaterra (Cerdanyola del Vallès): Dipòsit Digital de Documents, Universitat Autònoma de Barcelona.
- Moubray, J. (2001). *Reliability Centered Maintenance II*. México.
- Nakajima, S., & Institute for Plant Maintenance. (1991). *Introducción al TPM, mantenimiento productivo total*. Tecnologías de Gerencia y Producción, SA.
- Paz, G. M. E. B. (2014). *Metodología de la Investigación*. Grupo Editorial Patria.
- PMBok, A. (2013). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)*. Project Management Institute, Inc.
- Ruíz, B. C. (2009). *Instrumentos de investigación educativa. Procedimientos para su diseño y validación*. Venezuela: CIDEG.
- Saidi, L., Ali, J. B., Bechhofer, E., & Benbouzid, M. (2017). Particle filter-based prognostic approach for high-speed shaft bearing wind turbine progressive degradations. In *Industrial Electronics Society, IECON 2017-43rd Annual Conference of the IEEE* (pp. 8099-8104). IEEE.
- Vallejo, A., & Leonidas, P. (2016). *Optimización a la gestión del mantenimiento de la maquinaria en la empresa Embotelladora de agua Brisas de Cristal* (Bachelor's thesis, Quito: Universidad de las Américas, 2016).
- Villamizar, L. A. E., Contreras, W. M. R., & Delgado, M. D. P. S. (2013). Modelo de investigación en gestión de proyectos para la investigación en ingeniería. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, (74), 54-71.
- Wang, D., Tsui, K. L., & Miao, Q. (2017). Prognostics and health management: A review of vibration based bearing and gear health indicators. *IEEE Access*, 6, 665-676.
- Zhou, D., Zhang, H., & Weng, S. (2014). A novel prognostic model of performance degradation trend for power machinery maintenance. *Energy*, 78, 740-746.