

## **Plan de mantenimiento preventivo para la empresa astillera Metalmecanicas**



Josby Lilley Acosta Beltrán, Daniel Guillermo Florez Medina

Mayo, 2022

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Industrial  
Programa Ingeniería Industrial

## **Plan de mantenimiento preventivo para la empresa astillera Metalmeccanicas**

Josby Lilley Acosta Beltrán, Daniel Guillermo Florez Medina

Mayo, 2022

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Industrial  
Programa Ingeniería Industrial

### **Notas del autor**

Josby Lilley Acosta Beltrán, Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Antonio Nariño, Villavicencio.

Daniel Guillermo Florez Medina, Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Antonio Nariño, Villavicencio.

Este proyecto tuvo colaboración con la empresa Metalmeccánicas.

## **Nota de Aceptación**

Diego Ferney Garcia Orjuela

Jurado 1.

---

Julian Dario Diaz Avendaño

Jurado 2.

---

Diego Ferney Garcia Orjuela

Comité de trabajo de grado

---

## **Dedicatoria**

Yo Josby Acosta le dedico este proyecto de grado:

A Dios por haber sido el guía y el apoyo para cumplir cada uno de mis proyectos personales.

A mis papás, José Herrera y Dicterly Beltrán por haber confiado en mis capacidades para superar esta carrera profesional, así como ser el apoyo emocional que necesite a diario sin importar la distancia entre nosotros.

A mi hermana Ginna Acosta por abrirme las puertas de su casa, por ser mi apoyo día a día, motivándome como un ejemplo a seguir. Demostrando su preocupación por mis necesidades académicas y personales, compartiendo momentos que siempre estaré agradecida.

A mi compañero de proyecto de grado Daniel Florez por ser un apoyo incondicional durante el proceso académico, compartiendo los conocimientos necesarios para lograr el cumplimiento de nuestro proyecto.

Yo Daniel Florez le dedico este proyecto de grado:

A Dios por haberme guiado por el camino correcto para el logro de este proyecto.

A mis padres, Pedro Florez y Sandra Medina por ser el apoyo necesario para avanzar en mi formación personal y profesional.

A mis hermanos Pedro Luis Florez y Jonathan Florez por haberme orientado a lo largo de mi vida

A mi padrino Yeisson Oviedo por motivarme cada día a ser mejor en mis fortalezas y superar mis debilidades.

A mi compañera de grado Josby Acosta, por haberme brindado la oportunidad de realizar una investigación juntos.

A la memoria de mi abuelo Gonzalo Medina.

## **Agradecimientos**

Expresamos nuestros agradecimientos:

A la ingeniera Daniela Saldaña, docente de la Universidad Antonio Nariño, por la orientación brindada durante el proceso de este proyecto de grado, así como por su apoyo brindado para nuestro crecimiento personal y profesional.

A la alta gerencia de la empresa astillera Metalmecánicas, al señor José Antonio Acosta por brindarnos la oportunidad de conocer la organización, así como a los trabajadores los cuales nos colaboraron en el proceso de recolección de datos.

A la ingeniera Nancy Saray, coordinadora de la facultad de ingeniería industrial de la Universidad Antonio Nariño sede Villavicencio, por su colaboración durante toda nuestra formación profesional a lo largo de los años.

Al docente Bernardo Brocha, por su apoyo y orientación en los inicios de este proyecto.

## Resumen

Pese a la importancia de contar con equipos y maquinaria en buen estado para el desarrollo de actividades operacionales, aún existen empresas que no cuentan con un plan de mantenimiento que reduzcan las posibilidades de fallos de estos elementos. El presente estudio tiene por objeto diseñar un plan de mantenimiento preventivo para los equipos usados en el proceso de producción de la empresa Metalmecánicas del municipio de San José del Guaviare.

Así pues, se llevó a cabo un estudio descriptivo-aplicado, de enfoque mixto, recolectando información a través de técnicas y herramientas como encuestas y entrevistas, para ser analizados y vinculados los datos cualitativos y cuantitativos.

Como resultado se identificó el estado y necesidad del mantenimiento de la maquinaria usada en el proceso operativo de la empresa; también se analizaron los lineamientos técnicos utilizados y se determinaron el torno, el taladro, la roscadora y la dobladora como elementos críticos. Teniendo en cuenta todo lo anterior se propuso un plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad (RCM), junto con los formatos adecuados y el indicador de control pertinente.

En conclusión, el plan de mantenimiento diseñado posee las frecuencias, actividades y materiales necesarios para adelantar el mantenimiento del equipo crítico de la empresa Metalmecánicas.

***Palabras Clave:*** *Mantenimiento preventivo, confiabilidad, equipos críticos, astillero.*

### **Abstract**

Despite the importance of having equipment and machinery in good condition for the development of operational activities, there are still companies that do not have a maintenance plan that reduces the chances of failure of these elements. The purpose of this study is to design a preventive maintenance plan for the equipment used in the production process of the Metalmecánicas company in the municipality of San José del Guaviare.

Thus, a descriptive-applied study, with a mixed approach, was carried out, collecting information through techniques and tools such as surveys and interviews, in order to analyze and link qualitative and quantitative data.

As a result, the state and need for maintenance of the machinery used in the company's operating process were identified; The technical and used guidelines were also analyzed and the lathe, the drill, the threading machine and the bender were determined as the critical elements. Taking into account all of the above, a reliability-focused preventive maintenance (RCM) plan was proposed, along with the appropriate formats and the relevant control indicator.

In conclusion, the designed maintenance plan has the frequencies, activities and materials necessary to advance the maintenance of the critical equipment of the Metalmecánicas company.

***Keywords:*** *Preventive maintenance, reliability, critical equipment, shipyard.*

## Tabla de Contenido

Introducción	14
Planteamiento del problema	15
Descripción del Problema	16
Formulación del Problema	17
Justificación	18
Objetivos	19
General	19
Específicos	19
Marco Referencial	20
Antecedentes Nacionales	20
Antecedentes internacionales	23
Marco Teórico	27
Mantenimiento.	27
Modelos de mantenimiento preventivo	29
Mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad (RCM o MCC)	31
Plan de mantenimiento	32
Marco conceptual	34
Averías	34
Ciclo de vida	34
Fallas	34
Mantenimiento	34
Mantenimiento Correctivo	34
Mantenimiento Preventivo	35
Diseño Metodológico	35
Tipo y Enfoques de Investigación	35
Variables de Medición	36
Recolección y Análisis de Datos	37
Unidad de Estudio o Muestra	38
Hipótesis	38

	10
Desarrollo del Proyecto	39
Estado y necesidad del mantenimiento de la maquinaria usada en el proceso operativo de la empresa.	39
Análisis de los lineamientos técnicos y criticidad de los equipos.	53
Plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria usada en el proceso de producción de la empresa Metalmecánicas, siguiendo la metodología RCM	58
Formatos de control	69
Indicador de gestión de mantenimiento	69
Conclusiones	71
Recomendaciones	73
Lista de referencias	74
Anexos	81

## Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Variables de Medición	36
<b>Tabla 2.</b> Resultados entrevista a directivas de Metalmecánicas	40
<b>Tabla 3</b> Inventario de equipos	54
<b>Tabla 4.</b> Matriz nivel de importancia de las máquinas o equipos en los diferentes procesos operativos de Metalmecánicas	56
<b>Tabla 5.</b> Frecuencia de mantenimiento del torno industrial	59
<b>Tabla 6.</b> Frecuencia de mantenimiento de la roscadora de tubo	62
<b>Tabla 7.</b> Frecuencia de mantneimiento de taladro fresador	64
<b>Tabla 8.</b> Frecuencia de mantenimiento de la dobladora	67

## Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b> Proceso Productivo de embarcaciones en Metalmecanicas	39
<b>Figura 2.</b> Pregunta 1. ¿Existe en astillería Metalmecánicas un organigrama dentro de la compañía que refleje las líneas de mando y de toma de decisiones a la hora de realizar el mantenimiento a los equipos?	43
<b>Figura 3.</b> Pregunta 2. ¿Existe en la empresa un plan de mantenimiento ordenado?	43
<b>Figura 4.</b> Pregunta 3. ¿Cuenta con la capacitación adecuada para realizar mantenimiento a los diferentes equipos que usted maneja en la empresa?	44
<b>Figura 5.</b> Pregunta 4. ¿En astillería Metalmecánicas existe personal encargado del mantenimiento de la maquinaria y equipo crítico?	45
<b>Figura 6</b> Pregunta 5. ¿Cuenta con las herramientas necesarias para realizar los mantenimientos de maquinaria y equipo critico?	46
<b>Figura 7.</b> Pregunta 6. ¿En la empresa existe un presupuesto establecido para el mantenimiento de la maquinaria y equipo critico?	46
<b>Figura 8.</b> Pregunta 7. ¿Se cuenta con un plan estructurado para realizar mantenimiento?	47
<b>Figura 9.</b> Pregunta 8. ¿Se cuenta con un stock de repuestos para la maquinaria en el almacen?	48
<b>Figura 10.</b> Pregunta 9. ¿Existen equipos de proteccion personal idoneos para realizar el mantenimiento de maquinaria y equipo critico?	48
<b>Figura 11.</b> Pregunta 10. ¿Cada una de los equipos cuenta con la documentacion historica del mantenimiento?	49
<b>Figura 12.</b> Pregunta 11. ¿Existe control sobre tiempos de paradas de la maquinaria y reporte de daños?	50
<b>Figura 13.</b> Pregunta 12. ¿Se consultar y seguir instrucciones de manuales para adelantar mantenimientos?	51
<b>Figura 14.</b> Pregunta 13. ¿Conozco totalmente el funcionamiento del equipo operado o encargado?	51
<b>Figura 15.</b> Pregunta 14. ¿Mantengo rutinas de limpieza diariamente en los equipos y mauqnarias a mi cargo?	52

### **Lista de Anexos**

<b>Anexo 1</b>	Entrevista a las altas directrices de Metalmecánicas.	81
<b>Anexo 2</b>	Encuesta a los operarios de Metalmecánicas.	82
<b>Anexo 3</b>	Fichas técnicas de los equipos de Metalmecánicas.	84
<b>Anexo 4</b>	Distribución en planta del área operativa de la empresa Metalmecánicas	88
<b>Anexo 5</b>	Ficha tecnica elaborada como formato de seguimiento	89
<b>Anexo 6</b>	Cuadro de actividades de mantenimiento	90
<b>Anexo 7</b>	Orden de trabajo	91
<b>Anexo 8</b>	Solicitud de materiales	92
<b>Anexo 9</b>	Costos de mantenimiento por equipo.	93

## Introducción

En el departamento del Guaviare se ubica la empresa de astillería metalmecánicas, la cual cuenta con los equipos necesarios para la construcción y reparación de embarcaciones garantizando el cumplimiento de su objetivo como organización. El principal obstáculo que presenta metalmecánicas es la deficiencia en el mantenimiento estructurados de sus equipos, debido a esto deben de parar las operaciones de producción, produciendo tiempos muertos de trabajo y altos costos de reparación.

Dependiendo de la operación a realizar se puede aplicar diferentes tipos de mantenimiento, siendo uno de estos tipos el mantenimiento correctivo el cual se aplica para restaurar equipos, que han sufrido algún tipo de avería y que han dejado de funcionar a sus estándares óptimos. En la mayoría de las ocasiones este tipo de mantenimiento es una acción no planificada, fundamentalmente conformada por obligaciones de mantenimiento inevitables que no pueden planearse con anterioridad dentro de un periodo determinado (Gómez, 2019). Otro tipo de mantenimiento es el mantenimiento preventivo, en el cual se enfoca en detectar fallas en los equipos y maquinarias antes de que paren el proceso operativo y por consiguiente dejen de estar en un estado de funcionamiento óptimo.

A diferencia del mantenimiento preventivo el cual posee el principal beneficio de optimizar los recursos de mano de obra y de servicios, el mantenimiento correctivo presenta costos de repuestos no presupuestados y de reparación (Palencia, 2006.). Por ende, este proyecto tiene como fin proponer a la gerencia un plan de mantenimiento preventivo, en el cual garantice su buen funcionamiento y fiabilidad de los equipos de producción, contribuyendo a una solución ante las averías en los equipos, mitigando costos y tiempos de demoras.

### **Planteamiento del problema**

Se ha evidenciado que, al principio de la época industrial dada en el siglo XX, sólo se hacía mantenimiento cuando el equipo cesaba de su funcionamiento organizacional, a eso se le llamaba "Mantenimiento de Ruptura" y era reactivo (Mora, 1999).

El principal problema de las pequeñas y medianas empresas (PYMES) es que existe un elemento en común; siendo la falta de conocimientos contables y de recursos económicos para implementar y operar un sistema contable adecuado, como la falta de registro de activos. (Cabreras de palacio, s.f.); en Metalmecánicas se refleja en la falta de control sobre el registro de las reparaciones de los equipos, así como la ausencia de seguimientos de costos por repuestos o estadísticas de las máquinas que presentan averías, ni disponen de la aplicación de un mantenimiento programado con disciplina y estricto cumplimiento, básicamente recurre a acciones correctivas, siempre esperando a que suceda alguna falla, lo que implica asignar más costos a la empresa, incrementando el gasto interno de la compañía y afectando la sostenibilidad de la misma (Rodríguez, 2015).

La empresa de astillería Metalmecánicas está funcionando en el municipio de San José del departamento del Guaviare, ofreciendo el servicio de reparación y construcción de embarcaciones, cuenta en total con 10 trabajadores, 6 en producción y 4 en la alta gerencia.

Metalmecánicas hoy en día es la única empresa reconocida ante el Ministerio de Transporte en el departamento como astillería con licencia, la cual fue adquirida gracias a tener más de 10 años de experiencia en realización y conocimiento de embarcaciones. La empresa cuenta con los siguientes equipos:

- Pistola para soldar.
- Equipo de soldar.

- Equipo inversor.
- Pulidoras pequeñas y grandes.
- Equipo oxicorte.
- Equipo plasma elite.
- Equipo láser.
- Torno industrial.
- Roscadora de tubo.
- Taladro fresador
- Dobladora

### **Descripción del Problema**

La empresa de astillería Metalmecánicas, ubicada en San José del Guaviare, ofrece un servicio de construcción y reparación de embarcaciones de río, reconocida no sólo en la capital del Guaviare sino en todo el departamento, debido a los servicios que presta. De manera más específica metalmecánicas se ubica a las orillas del río Guaviare en el barrio 1 de octubre calle 6#18-67, dentro de la zona industrial.

En la actualidad realiza sus actividades de mantenimiento bajo un sistema correctivo para los equipos utilizados en el proceso de reparaciones de las embarcaciones de Metalmecánicas, lo que se traduce en que el 100% de las actividades de mantenimiento son dedicadas a la reparación de fallas correctivas, siendo realizadas cuando estas ya han sido detectadas en los equipos (Acosta, 2022). Para realizar las actividades de mantenimiento la empresa terceriza el servicio de mantenimiento correctivo, aunque en ocasiones no logran realizar el mantenimiento total a tiempo, lo que conlleva a tiempos muertos, demoras en la entrega del producto, afectación en la relación con los clientes y además adquirir costos adicionales por reparación y repuestos para los

equipos, debido a que según el gerente ve la necesidad de trasladarlos a otras organizaciones para la realización del mantenimiento, lo que reduce el margen de utilidad de la empresa. (Acosta, 2022).

Los equipos importantes que posee la empresa de Metalmecánicas para realizar sus labores de reparación son las pulidoras, el equipo láser y los equipos de soldar, los cuales según palabras del propio gerente presentaron averías que no fueron atendidas en su momento, sino hasta que se presentaron fallas irreparables, por lo cual generó un sobre costo derivado de la adquisición de equipos nuevos, esto debido a que en la organización no poseen el personal capacitado para realizar un mantenimiento, ni cuenta con un plan de mantenimiento preventivo. Para finalizar es de suma importancia que las empresas tengan en cuenta una gestión de acciones preventivas en sus organizaciones para así asegurar la vitalidad de los equipos ya que estos son la base económica de la empresa (Olarde, 2010).

### **Formulación del Problema**

Por lo tanto, se plantea la siguiente interrogante: ¿Cómo garantizar el correcto funcionamiento de los equipos utilizados en el proceso de reparación de las embarcaciones en la empresa de astillería Metalmecánicas?

## **Justificación**

Las actividades de mantenimiento estructurado permiten a las empresas reducir los costos, así como el tiempo de inversión en el capital humano, derivados de la reparación de sus equipos; por lo tanto, se debe prevenir estas fallas de manera óptima para así cumplir con los objetivos organizacionales de minimización de costos, mejora de competitividad y optimización operacional (Premier Tech, 2020).

Bajo lo establecido anteriormente, se propone como proyecto un plan de mantenimiento preventivo para la empresa Metalmecánicas, buscando aumentar la mantenibilidad de los activos, a través de la generación de registros en cada intervención realizada y el uso del control periódico para futuras inspecciones, anticipándose a posibles fallas. Todo ello con el fin de prolongar la vida útil de los equipos usados en el proceso de producción de la empresa, reducir tiempos de mantenimiento durante sus labores en las zonas de trabajo, contribuir a la producción de la empresa y aminorar costos (Urrego, 2017). Esto por medio de seguimiento periódico a los equipos críticos, los cuales son de mayor interés debido a que son necesarios para reparar las embarcaciones, que según las palabras del gerente de la empresa el señor José Antonio Acosta Herrera (2022) “Son los equipos que poseen más probabilidad de presentar fallas durante el proceso de producción en Metalmecánicas”.

## **Objetivos**

### **General**

Diseñar un plan de mantenimiento preventivo para los equipos usados en el proceso de producción de la empresa Metalmecánicas del municipio de San José del Guaviare.

### **Específicos**

Identificar el estado y necesidad del mantenimiento de la maquinaria usada en el proceso operativo de la empresa.

Analizar los lineamientos técnicos utilizados en el diseño de un plan de mantenimiento preventivo.

Proponer un plan de mantenimiento pertinente y adecuado para la maquinaria usada en el proceso de producción de la empresa Metalmecánicas, siguiendo la metodología RCM (Mantenimiento centrado en la confiabilidad).

## Marco Referencial

### Antecedentes Nacionales

Ángel (2014) efectúa un plan de mantenimiento preventivo buscando mejorar la durabilidad de la maquinaria de la empresa Agroangel. Sin embargo, es responsabilidad de la organización y de todos sus encargados en conseguir los mejores resultados en las funciones productivas, reflejando la calidad de los productos, así como el aseguramiento de los riesgos que puedan impactar el medio ambiente.

Los pasos bajo los cuales se desarrolló el plan fueron:

- Registro de los equipos.
- Estandarizar mediante documentos el plan de mantenimiento, estos documentos son: Relación de los requisitos de mantenimiento, hojas de vida para los equipos, etc.
- Diseñar formatos que permitan la adecuada gestión del mantenimiento.
- Establecer los indicadores de gestión del mantenimiento, así como su sistematización dentro de la organización Agroangel.

La investigación realizada por Buelvas Diaz, C. E. & Martínez Figueroa, K. J. (2014) se trata de la aplicación de un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria de la compañía L & L; para aumentar la probabilidad de mejorar la disponibilidad de los vehículos y reducir costos en el mantenimiento.

En cuanto a la metodología que utilizó fue por medio de tres fases:

Fase 1: Indagar cómo se maneja la información de mantenimiento en la empresa.

Fase 2: Inspeccionar la calidad de los repuestos e insumos utilizados para las reparaciones y ver si están en óptimas condiciones para un buen mantenimiento. Seleccionar una muestra de vehículos objeto de estudio.

Fase 3: Aplicar el plan de mantenimiento preventivo y observar resultados de efectividad en cuanto disminución de costes, entregar recomendaciones y conclusiones obtenidas a partir de las experiencias vividas.

Peña (2017) a través de la USPD se realizó la instalación de una Planta de Tratamiento de Agua potable, el diseño de la planta presenta un caudal entre 10 l/s y 12 l/s, sin embargo, la USPD no tiene documentado, ni establecidas las rutinas operacionales ni de mantenimiento, para mantener en correcto funcionamiento la PTAP. El objetivo de este diseño de plan de mantenimiento es mejorar los componentes del proceso que actualmente se encuentran trabajando en mal estado o están fuera de servicio. La metodología que se realizó fue por medio del desarrollo de un plan de mantenimiento el cual satisfaga las necesidades de la PTAP, así como sus labores y funciones; este será aplicado por las directrices de la empresa en el instante adecuado, cuya función es responsabilidad de los operarios, reduciendo los costos de mantenimiento.

Se especifica el estado y la aplicación de un plan de mantenimiento de bajo la metodología TPM ya que esta asegura la colaboración de todos los participantes en el proceso operación de la compañía CMD SAS. El diseño del plan de mantenimiento busca dar una mayor durabilidad a los equipos operativos en la empresa de una manera óptima, asegurando el mejoramiento de la calidad del proceso productivo. (Estupiñán, 2017).

Un plan de mantenimiento preventivo basado en la filosofía RCM (Reliability Based Maintenance) es una alternativa viable y eficaz para mejorar la disponibilidad de los equipos de

JONLEY SAS Garment Company, optimizando así el tiempo de producción y reduciendo los costos asociados a averías y fallas de los equipos. JONLEY SAS no cuenta con un plan de mantenimiento claro, por el contrario, las acciones preventivas y correctivas no cuentan con registros y controles establecidos. Como resultado, al implementar el plan de servicio establecido, la empresa puede controlar mejor los procesos de servicio y realizar auditorías internas apropiadas. Así, los perfiles de mantenimiento para JONLEY SAS permiten un control detallado de la ejecución del mantenimiento al almacenar la información entregada en la hoja de vida de los equipos para su análisis y su respectiva toma de decisiones. Para ejecutar el mantenimiento proactivo se ajusta, analiza y detalla el buen funcionamiento y el estado de los componentes de los equipos de la empresa con el fin de asegurar su vida útil (Tamayo, 2019).

En el año 2006 la escuela superior tecnológica de Bolívar la cual se encuentra ubicada en el municipio de Cartagena diseñó un plan de mantenimiento preventivo para la empresa etec s.a., la cual fue liderada por Peña Caro. C.J. & Altahona Muñoz. D. M.

Este programa de mantenimiento preventivo usó una metodología descriptiva, este proyecto permitirá garantizar la optimización del proceso operativo, reflejando la disponibilidad de la maquinaria para así aumentar la eficiencia de los recursos necesarios para asegurar la vida útil de los equipos, disminuir los riesgos de los operarios, mejorar el plan de mantenimiento aplicado actualmente.

Con lo anterior dicho se concluye que una buena gestión del plan de mantenimiento preventivo es importante que exista una concientización de la empresa en el cuidado de los equipos, ya que al final de cuentas dependiendo de la gestión del mantenimiento, se verá reflejada en costos que sumarán benéficos a la empresa (Peña, 2006)

### **Antecedentes internacionales**

El objetivo de la implementación del plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de la maquinaria en la empresa de grúa américa es mejorar las paradas y retrasos que sufren las grúas por la falta de un buen mantenimiento, debido a que el mantenimiento que maneja esta empresa es correctivo, el cual no previene las fallas por anticipado, da menos vida útil a estas maquinaria y provoca desconfianza a su clientes, para el desarrollo de este plan de mantenimiento empieza con una lluvia de ideas para identificar cuáles eran las deficiencias que tenían en el antiguo mantenimiento correctivo; se organiza según las 6M (medición, maquinaria, medio ambiente, mano de obra, materia prima y métodos) para consiguiente clasificarse en un diagrama de pescado, seguido por una matriz correlacional donde se colocó todas las posibles causas, la cuales fueron valoradas con un uno(1) cuando una causa depende de otra, cero (0) cuando no existe dependencia entre ellas. luego de recolectar los valores se suma y se realiza un análisis de Pareto para así saber cuáles son las causas que influyen más en la deficiencia del mantenimiento. Esto se pudo realizar gracias a los valores acumulados los cuales se ordenaron de forma descendente. Al observar la falta de organización del mantenimiento se plantea lo siguientes soluciones. Evaluar en una escala Likert del 1 al 5. Donde se le da el valor de uno al mayor valor de cada categoría y se le da el valor de cinco al menor de cada categoría (Vega, 2017).

En la investigación liderada en el año 2018 por Hugo radica que la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad o por sus siglas en inglés RCM, se enfoca en el análisis de las fallas para los activos presentes en el proceso operacional de la empresa, inicialmente se busca información del estado de la empresa, exactamente en el área húmeda y de acabados, diseño de códigos para cada una de las máquinas, mediante la planificación de

funciones de los equipos. Se clasifican los riesgos mediante dos tipos de análisis: Análisis AMEF y el Análisis de Criticidad, el primero de ellos el AMEF, calcula el número de prioridad de riesgo (NPR) el cual establece la gravedad, la ocurrencia y la detección de la falla. Al unir estos estudios se analizó un total de 48 subsistemas con alto riesgo y 4 con reducción deseable, y al reagruparlos se obtienen 5 máquinas con un alto nivel crítico, por este motivo se desarrollan los planes de mantenimiento preventivo de los siguientes equipos: máquina raspadora, máquina molliza, fulones, máquina descarnadora y pigmentadora de rodillos; el segundo valora la criticidad de los 73 subsistemas correspondientes a las 24 máquinas totales, enfocándose en 5 aspectos principales: frecuencia de falla, impacto operacional, flexibilidad operacional y costo de mantenimiento; generando los documentos respectivos, con la finalidad de mejorar sustancialmente la capacidad productiva de la empresa y prolongar la vida útil de los equipos estudiados (Hugo, 2018).

En Guatemala, octubre de 2009 Cantoral Veras. A. R. de la Universidad de San Carlos de Guatemala, egresado de la carrera de ingeniería industrial propone un plan de mantenimiento preventivo, el tema principal de este proyecto es la situación actual del servicio en Tostaduría de Café el Quetzalito, S.A. A través de un análisis exhaustivo se pudo observar las oportunidades, las fortalezas y debilidades para dar un enfoque profesional al mantenimiento preventivo, el cual busca minimizar los paros en la productiva de la empresa con relación al mantenimiento actual el cual posee acciones correctivas y que debido al descuido en el mantenimiento de maquinarias y equipos tales como: lubricación, engrase, reposición oportuna de repuestos, falta de acopios, planificación, coordinación, capacitación del personal y una buena interacción entre el trabajador y la alta gerencia de la organización, etc. Se encontraron 3 enfoques fundamentales en el análisis general los cuales fueron:

- Mejoramiento del departamento de mantenimiento
- Metodología del mantenimiento preventivo.
- Mantenimiento preventivo

Se pudo concluir que toda información recolectada a través de las diferentes formas sea veraz, objetiva y bien interpretadas tanto por el operario, programador y altas autoridades, dando de esta manera con el desarrollo del plan de mantenimiento se resolverá los problemas presentes, así como recolectar la información para diseñar un historial del mantenimiento realizado de cada maquinaria. (Veras, 2009)

Para abril del 2015 en Alberto Cansino Flores. Q. E. & Lucero Díaz. D. W. desarrollaron un plan de mantenimiento preventivo y seguridad industrial para la fabricación de minerales. Este proyecto busca ser implementado en ornamentales S.A., MINEROSA para la fabricación de minería y rocas, este proyecto inició realizando un análisis previo a todas los equipos y máquinas que cuenta la empresa para que luego por medio de herramientas estadísticas como la matriz Holmes, Diagrama de Ishikawa, Árbol de fallos, El método de análisis de fallo y efectos, Etc. Como objetivo se logró tener aceptación, apoyo de la gerencia y presidencia de la empresa MINEROSA pues se espera ser beneficioso para los trabajadores y la empresa, aportando así con la fijación de dicha estabilidad (Wilmar, 2015).

A su vez, Lee et al. (2020) publicaron un artículo donde consideran múltiples tipos de mantenimiento preventivo [MP] con diferentes intervalos en los sistemas de cola propensos a fallas G/G/m. Los MP se clasifican en dos categorías: preventivo basado en el tiempo y no preventivo basado en el tiempo. Para cada categoría de MP, este artículo proporciona modelos de optimización de planificación de MP para buscar intervalos de MP óptimos que minimicen el tiempo de ciclo medio de los lotes de obleas. Se llevan a cabo estudios de simulación para

explorar el rendimiento del modelo de optimización y las aproximaciones del tiempo de ciclo medio. Es más, se realiza un análisis de sensibilidad y se revelan varias propiedades del modelo de planificación de MP. Se informa brevemente sobre los resultados de la implementación de un conjunto de herramientas en la fabricación de semiconductores que logró una reducción del 12 % en el tiempo de ciclo medio utilizando planes de MP basados en estos enfoques de modelado.

Por su parte, Laura Vitalia González Martínez (2017), en la Universidad de Vigo, adelantó un trabajo de fin de grado consiste en la aplicación de la metodología del mantenimiento centrado en la fiabilidad, bajo el criterio de calidad, a un taller de la empresa Navantia, concretamente al taller de tubería. Este taller fabrica tubos para diferentes embarcaciones que la empresa diseña y construye.

Por lo tanto, el propósito de este trabajo es estudiar profundamente el taller y aplicar el método anterior para reducir o eliminar los defectos que afectan directamente la calidad de las piezas de la máquina fabricada. Se inicia comprobando los equipos que son importantes para la calidad de las piezas, luego se comprueba la función de estos activos, el tipo de falla del servicio principal, sus defectos y las causas de estos. Del mismo modo, el autor examina las tareas de mantenimiento que se realizan actualmente para determinar su pertinencia. Finalmente, se sugieren una serie de medidas para minimizar el deterioro de la calidad.

## Marco Teórico

De igual forma, en España, concretamente en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánicas, Abdelhak Madasse (2019), considerando que el objetivo del RCM es lograr la fiabilidad del sistema en todos sus modos de funcionamiento. RCM se ha aplicado en la industria naval y otras industrias (por ejemplo, la industria aeronáutica, la compañía eléctrica) durante muchos años con notable éxito, desarrolló su trabajo final de maestría enfocado en aplicar a la planta propulsora de un buque pesquero con motor diésel. Se utilizarán los procedimientos de la RCM.

Para adelantar tal trabajo llevó a cabo los siguientes pasos:

- Identificó las funciones del sistema e impacto de los fallos funcionales
- Determinó las modalidades y causas de fallo del equipo que pueden dar lugar a fallos funcionales.
- Ideó la estrategia óptima para la gestión de posibles fallos, incluido el mantenimiento para evitarlos o para detectar posibles averías antes de que se presenten.
- Y propuso los requisitos de retención de repuestos.

El autor concluye que la aplicación de análisis de criticidad de efectos y modos de fallo es una herramienta potente que apoya la buena planificación de las tareas de prevención y reparación en el motor, el control continuado del funcionamiento de los equipos y sus estados es una obligación si queremos prolongar la vida de los equipos.

### **Mantenimiento.**

Las acciones de mantenimiento generalmente se pueden dividir en dos tipos: mantenimiento correctivo (MC) y mantenimiento preventivo (MP). La calidad de las acciones de

mantenimiento tanto en MC como en MP es un tema de investigación interesante en la literatura de confiabilidad, y también es de vital importancia cuando se desarrollan políticas de mantenimiento en la práctica.

Se supone que el estado de un equipo después de realizar una acción de mantenimiento es una de las tres situaciones: perfecto, imperfecto y mínimo. Se supone una acción de mantenimiento perfecta para restaurar el equipo para que quede como nuevo; una acción de mantenimiento imperfecta puede llevar el equipo a cualquier condición entre tan bueno como nuevo y tan malo como antes, y se supone que una acción de mantenimiento mínimo restaura el equipo a un estado igual al que tenía antes de la acción. Ejemplos de modelos para acciones de mantenimiento perfectas, imperfectas y mínimas son los Procesos de Renovación, los Procesos de Renovación Generalizados y los Procesos de Poisson No Homogéneos, respectivamente (Wu y Clements-Croome, 2005).

“La misión del mantenimiento es preservar las funciones principales de todos los activos de la compañía, a lo largo de su ciclo de vida, a satisfacción de los propietarios, los usuarios, los clientes y la sociedad” (García, 2012). Esto con el propósito de asegurar el estado de los 13 equipos de la empresa mediante programas de prevención de fallas, mejoramiento continuo y reparación de fallas para optimizar las actividades operacionales, conservando a largo plazo la vida útil de los equipos productivos, promoviendo de manera eficiente y económica la máxima disponibilidad operativa.

Las tareas de mantenimiento se realizan sobre equipos, maquinarias e instalaciones en las empresas por medio de revisión necesaria para garantizar el funcionamiento regular y el buen estado de conservación de un sistema (Gonzales, 2004). Los objetivos del mantenimiento son:

- Reducción de costos.

- Prolongar la vida útil de los equipos.
- Evitar paros de máquinas.
- Reducir las fallas o averías en los equipos y/o en máquinas.
- Evitar accidentes, aumentando así la seguridad de los operarios

En síntesis, el mantenimiento debe de prolongar la vida útil de los equipos, optimizar los tiempos de operación evitando las fallas y los paros de las máquinas.

Desde el punto de vista de la gestión, es necesario distinguir si el trabajo de mantenimiento es planificado o no planificado. El mantenimiento planificado consiste en trabajos que se anticipan a posibles averías, asegurando una mayor disponibilidad de los equipos, por lo que es necesario realizar las tareas con anticipación, así como los repuestos necesarios para afectar lo menos posible la producción. Este tipo de mantenimiento implica un mayor control de los activos y la capacidad. El trabajo no planificado se refiere a situaciones imprevistas, no implica ningún tipo de planificación o preparación, y la ejecución será perseguida por la naturaleza de la situación (Amaral, 2016).

### **Modelos de mantenimiento preventivo**

La suposición de que el equipo se puede restaurar de manera imperfecta, o el mantenimiento imperfecto, está más cerca de muchos escenarios prácticos que las otras dos suposiciones. Para modelar la calidad de una acción de MP, a menudo se han estudiado dos enfoques: un modelo de MP de tasa de falla de Nakagawa (1986), y un modelo de MP de reducción de edad de Canfield (1986). Basándose en estos dos modelos, Lin et. (2000, 2001) introdujeron un modelo de MP híbrido que combina el modelo de MP de tasa de falla y el modelo de MP de reducción de edad.

Suponiendo que las acciones de MP en el equipo se llevan a cabo en cada intervalo de tiempo  $T$ , independientemente del historial de fallas del equipo, y las acciones de MC se realizan ante fallas. El modelo MP de tasa de fallas, el modelo MP de reducción de edad y el modelo MP híbrido se definen de la siguiente manera:

Modelo MP de tasa de fallas (Nakagawa, 1986). La tasa de falla después del  $k$ -ésimo MP se convierte en  $h_k(t) = \theta h_{k-1}(t)$  para  $t \in (0, T)$ , donde  $\theta (> 1)$  es el factor de ajuste,  $h_k(t)$  ( $t \in (0, T)$ ) es la tasa de fallos después del  $k$ -ésimo MP, y  $T$  es el intervalo de tiempo entre dos acciones de MP adyacentes. Cada MP restablece la tasa de fallas a cero y la tasa de aumento de la tasa de fallas aumenta después de cada MP adicional. Este modelo considera el cambio de la pendiente de la función de tasa de falla. En este modelo, el factor de ajuste  $\theta$  es un índice para medir la calidad de MP.

Modelo MP de reducción de edad. Canfield (1986) introdujo modelos de reducción de edad. En este modelo la edad efectiva después del  $k$ -ésimo MP se reduce a  $t_k - \eta$  si la edad efectiva del equipo era  $t_k$  justo antes de este MP, donde  $\eta (< t_k)$  es el intervalo de restauración en el tiempo efectivo. antigüedad del equipo debido a la  $k$ -ésima MP. El intervalo de restauración  $\eta$  en este modelo es un índice para medir la calidad de MP. Este modelo ha sido ampliamente utilizado para optimizar el costo de las políticas de mantenimiento bajo varios supuestos (Park, 2000). En el modelo de reducción de edad introducido por Malik, la edad efectiva después del  $k$ -ésimo MP se reduce a  $b t_k$  si la edad efectiva del equipo era  $t_k$  justo antes de este MP, donde  $b < 1$ . Aplicaciones del modelo de Malik sobre el efecto de mantenimiento y La optimización de la política de mantenimiento se puede encontrar en (Shin et al., 1996).

Modelo MP Híbrido (Lin et al., 2000). La tasa de fallas después del  $k$ -ésimo MP se convierte en  $a h_k(b t_k + x)$ , donde  $t_k$  es el momento en que se lleva a cabo el  $k$ -ésimo MP,  $1 = a <$

$\leq a_1 \leq a_2 \leq \dots \leq a_{N-1}$ ,  $0 = b_0 \geq b_1 \geq b_2 \geq \dots \geq b_{N-1} < 1$ ,  $x > 0$ , y  $h(t)$  es la tasa de falla del equipo cuando no hay CM o MP. Aquí, el parámetro  $a_k$  juega el mismo papel que el parámetro  $\theta$  en el modelo MP de tasa de falla, y el parámetro  $b_k$  funciona de manera similar al parámetro  $b$  en el modelo MP de reducción de edad de Malik.

Los tres modelos anteriores suponen que la tasa de fallas del equipo aumenta con el tiempo cuando no se realiza MP.

### **Mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad (RCM o MCC)**

Hablando de la estrategia de mantenimiento, no se puede evitar la discusión sobre la confiabilidad del equipo y los costos óptimos de confiabilidad según se requiera. En lo que respecta a la confiabilidad, el mantenimiento es aquella condición del equipo, cuando un elemento en particular (o un grupo de elementos) no podría realizar sus funciones, ya que está sujeto al tiempo de inactividad del mantenimiento. Cada intervalo de tiempo de inactividad por mantenimiento significa básicamente una reducción en la confiabilidad de un sistema en particular (Lazecký et al., 2017).

La implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad en la programación del Plan de Mantenimiento Preventivo es uno de los caminos posibles hacia la reducción de costos en los campos de diagnóstico y personal operativo.

Mirando el sistema de confiabilidad como un todo, un tiempo de inactividad por mantenimiento provoca una caída de todo el sistema. Para un sistema de confiabilidad paralelo, el tiempo de inactividad por mantenimiento induce una reducción de la confiabilidad del sistema completo; por lo tanto, tiene un impacto en la intensidad y el tiempo medio entre fallas (Lazecký et al., 2017).

Los períodos de las décadas de 1960 y 1970 llevaron al desarrollo de la metodología conocida como mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC), que comenzó en la industria aeronáutica y se extendió a otras industrias más adelante. Entró en el campo de la ingeniería energética sólo durante la década de 1990. Es básicamente una herramienta de toma de decisiones que permite controlar los programas de mantenimiento. Esta herramienta proporciona datos para decisiones lógicas utilizadas para modificar o redefinir los programas de mantenimiento existentes. MCC es capaz de mejorar la eficiencia y optimización de los programas existentes. MCC se basa en la suposición de que la confiabilidad es una característica de construcción implementada y preservada durante la operación (Lazecký et al., 2017).

El objetivo de este mantenimiento centrado en la confiabilidad es crear una estrategia de mantenimiento que ayude a minimizar los costos operativos totales mientras se preserva el nivel necesario de confiabilidad, seguridad y tolerancia al entorno de vida para la operación del equipo (Lazecký et al., 2017).

### **Plan de mantenimiento**

De acuerdo con Heredia (2013 citado en Lombana y Zárate, 2018) El objetivo del mantenimiento es mantener una organización industrial con los equipos en condiciones que realicen las funciones para las que fueron diseñados con la capacidad y calidad especificada para que puedan ser utilizadas en condiciones seguras; lo cual conlleva a ahorros de acuerdo con el nivel de funciones para un programa de requerimientos de operación.

El Plan de Mantenimiento es un documento que contiene el conjunto de tareas de mantenimiento programado que debemos realizar en una planta para asegurar los niveles de disponibilidad que se hayan establecido (Lombana y Zárate, 2018).

- La elaboración del Plan de Mantenimiento requiere de las siguientes fases (Lombana y Zárate, 2018):
- Realizar un análisis de equipos, fase en la que se busca elaborar una lista ordenada de los equipos que hay en ella.
- Dividir la organización en procesos, subprocesos, maquinas y herramientas utilizadas para brindarles un valor dentro la empresa.
- Diseñar el documento de ficha técnica para cada equipo que participe en el proceso de la organización.
- Identificar las fallas operacionales de las líneas que hacen parte de cada equipo y para cada uno se determine los patrones de fallas reales y potenciales.
- Investigación del impacto de las fallas; estas se deben categorizar para conocer que errores evitar.
- Registrar las precauciones para evitar o minimizar los efectos de las fallas.
- Determinar las funciones de mantenimiento que correspondan al modelo definido para cada equipo.
- Seleccione la frecuencia óptima para cada operación.
- Reunir las tareas de rutas de mantenimiento; desarrollar un plan de mantenimiento inicial.
- Establecer cursos y alcances; ajustado del plan original.
- Composición de pasos a seguir para la aplicación de las rutas de mantenimiento.

## **Marco conceptual**

### **Averías**

Es la carencia de cumplimiento de las funciones de los medios productivos que ocurre antes del fin de su vida útil. Al presentarse suelen reflejar paradas imprevistas en el proceso, incrementos de los costos de reparación y mantenimiento de los equipos. (AEC, s.f.).

### **Ciclo de vida**

Serie de etapas a través de las cuales pasa un fenómeno periódico (Ibáñez, 2020), que en un equipo industrial inicia en la producción o elaboración del equipo, y finaliza en el momento que éste se hace irreparable.

### **Fallas**

Son aquellos eventos no esperados los cuales implican la carencia de un correcto funcionamiento de los equipos, impactando de manera directa a las funciones productivas de una empresa. (Montilla, 2019).

### **Mantenimiento**

Corresponden a las actividades secuencias las conducen a la corrección de fallas en las maquinarias y en los equipos para que estos puedan realizar sus debidas funciones. Esta disciplina se basa en técnicas, conceptos, criterios para la aplicación en los planes de mantenimiento (Cansino & Lucero, 2015).

### ***Mantenimiento Correctivo***

Son aquellas actividades las cuales corrigen las averías cuando los equipos o maquinarias demuestran la necesidad de reparación o reemplazo. De manera habitual, estas actividades causan la detención del proceso productivo para la posible reparación del equipo o máquina (Cansino & Lucero, 2015).

## **Mantenimiento preventivo**

Hace referencia a las actividades de mantenimiento las cuales realizan una revisión de manera sistemática a intervalos fijos de tiempo sin importar el estado del equipo o maquinaria. Estas actividades se aplican cuando se reconoce un patrón de desgaste causado por la probabilidad de una avería en los equipos cuando estos han superado su vida útil (Cansino & Lucero, 2015).

## **Diseño Metodológico**

### **Tipo y Enfoques de Investigación**

El enfoque a la cual se ajusta este estudio es de tipo mixto, ya que por medio de las principales técnicas y herramientas como encuestas y entrevistas se recolecta, analiza y vincula datos cualitativos y cuantitativos para responder al planteamiento del problema y justificar los objetivos planteados (Güemes, 2015), por medio de las ventajas y fortalezas que ambos enfoques dan a su disposición. Se le atribuye al enfoque cuantitativo la opción del análisis y recolección de datos para poder contestar las preguntas de investigación y lograr resolver la hipótesis la cual esta anteriormente establecida.

Al enfoque cualitativo se le reconoce su posible utilización para descubrir y refinar preguntas de investigación y se basa en métodos de recolección de datos sin medición numérica, como las descripciones y las observaciones (Medina,2013). De este enfoque se deriva un proceso para su aplicación en el cual, al comprender la pregunta de investigación, se recogerá los datos de entrada para su respectivo análisis e interpretación, seguido por legitimar la información de entrada para concluir un informe final. (Valtierra,2013).

El tipo de investigación determinado para el cumplimiento de los objetivos es la descriptiva-aplicada, ya que se inicia con el diseño de una encuesta con la finalidad de recolectar

información brindada por los colaboradores de Metalmecánicas sobre la situación actual de los equipos, su gestión del mantenimiento y las acciones de reparación; De esta forma, se describe la situación actual del área operativa de Metalmecánicas (infomed, 2022); para así dar a conocer todas las etapas de preparación de los materiales, las características de los productos o trabajos que se realizan, los tiempos de fabricación, tiempos de paro de los equipos y las fallas encontradas en el mismo; así llegando a la aplicación de la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM, lo que permitirá el plan de mantenimiento, contribuyendo al mejoramiento continuo de sus operaciones, y con ello incrementando la disponibilidad y confiabilidad de los equipos. (Rodriguez, 2015). Además, en la construcción del mantenimiento RCM, no se necesita un modelo matemático, sino que más bien de una clasificación de las fallas según su impacto e importancia dentro del proceso, lo que se refleja en actividades que redujeron el impacto económico de tareas innecesarias. (Duffuua, 2000).

### **Variables de Medición**

**Tabla 1.**

*Variables de Medición*

<b>Nombre</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>
Costos	Cuantitativa	Dependiente	Cantidad de recursos económicos utilizados
Indicadores de mantenimiento	Cualitativa	Dependiente	Medición del control del mantenimiento
Personal	Cuantitativa	Independiente	Cantidad de trabajadores en la empresa
Equipos críticos	Cuantitativa	Dependiente	Muestra de equipos que poseen más

---

			impacto durante el proceso productivo
Vida útil de los equipos	Cualitativa	Dependiente	Tiempo de funcionamiento óptimo de los equipos

---

*Nota.* Elaboración Propia

### **Recolección y Análisis de Datos**

Para realizar esta investigación es necesario diseñar un examen preliminar de aspectos específicos de la operación de la empresa metalmecánica, tales como prestación de servicios, áreas operacionales, estructura organizacional de las instalaciones, características del plan de mantenimiento vigente y estado de los equipos los cuales fueron dados por el diagnóstico actual de estos aspectos. (Castellón, 2018)

En segundo lugar, se utilizan una matriz semicuantitativa para priorizar los equipos críticos en función de las tasas de falla e impacto, midiendo factores como la flexibilidad operativa, el impacto operativo, la mantenibilidad, la confiabilidad, los costos de mantenimiento, la seguridad, el impacto ambiental y la calidad. (Parra, 2020).

Con base en la información recopilada previamente, se determinaron los equipos críticos para una mejor aplicación del método RCM, incluida la clasificación de la taxonomía de los equipos, la realización del método y el análisis de efectos de falla (AMFE) para definir los modos de fallas potenciales y reales, así como sus prioridades (Campos, 2018). Luego se aplicará un diagrama de decisión que identificará las tareas de mantenimiento apropiadas, con base en lo anterior y al contexto operativo; se propone una serie de métricas de gestión que miden la

disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad de los equipos críticos para evaluar la efectividad del plan propuesto. (Anaguano, 2018).

### **Unidad de Estudio o Muestra**

La población es todo el inventario de equipos de Metalmecánicas y la muestra son los equipos críticos del sistema de producción de la empresa.

### **Hipótesis**

En Metalmecánicas, la falta de planeación para las funciones de mantenimiento en los equipos causa costos de reparación, aumenta el tiempo muerto de los equipos e impide que de manera eficiente se cumpla el proceso de producción de la organización.

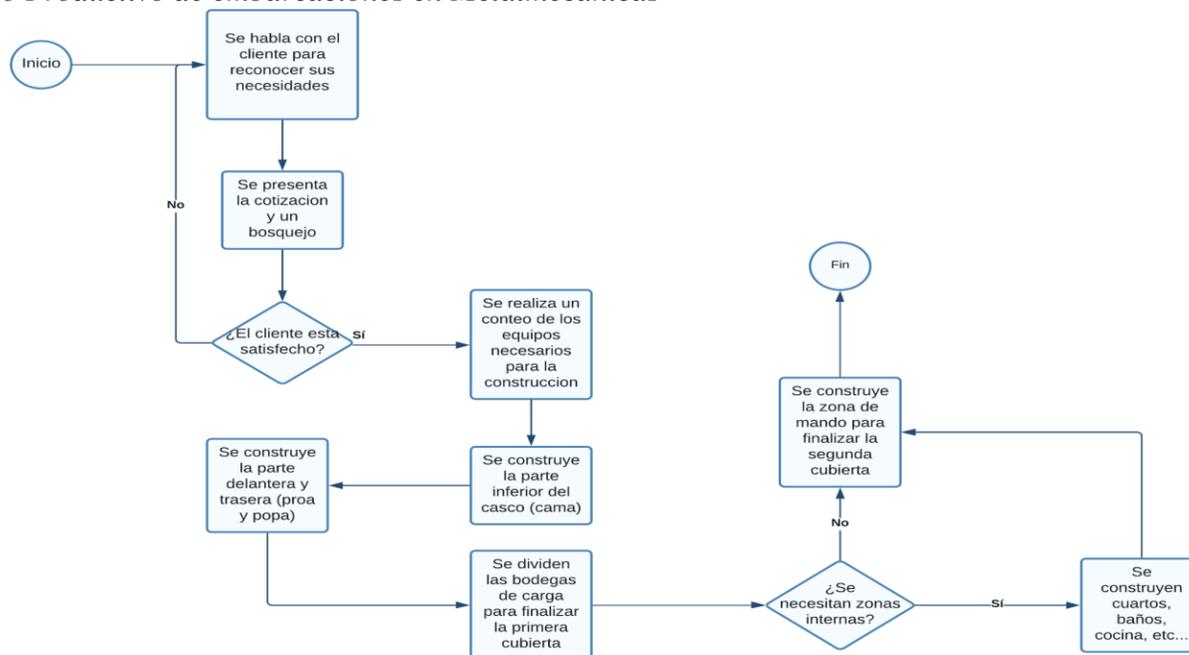
## Desarrollo del Proyecto

### Estado y necesidad del mantenimiento de la maquinaria usada en el proceso operativo de la empresa.

Metalmecánicas posee un proceso operativo que deriva desde la comunicación y diagnóstico de las necesidades del cliente en la cual se establece la cotización de la mano de obra y/o el servicio demandado. El proceso inicia con la orden de trabajo ya establecida (ver figura 1), se procede a la construcción de la embarcación iniciando por un diagnóstico rápido de los equipos para así colocar la cama, la cual es una base de láminas que facilitan el trabajo al operario desde la parte inferior del casco.

**Figura 1.**

#### *Proceso Productivo de embarcaciones en Metalmecánicas*



*Nota.* Elaboración propia

El siguiente paso es la estructura base de la embarcación, cuando ya es realizada, se procede a construir la parte delantera de la embarcación conocida como proa y la parte trasera

(popa). Siguiendo con las divisiones de las bodegas de carga y una vez finalizadas la proa, la popa y las divisiones se concluye la primera cubierta de la superestructura con el casco.

Para finalizar el proceso de construcción se realizan las divisiones conformadas por las zonas de mando, la cocina, el cuarto y el baño, estas zonas están ubicadas en la segunda cubierta de la superestructura y esta puede variar en función de las necesidades del cliente (ver figura 1).

Por lo tanto, para iniciar con el proceso de recolección de información se diseñó una entrevista no estructurada a las altas directrices de Metalmecánicas (ver tabla 2) en donde se obtuvo la información referente al estado y actuar del mantenimiento de los equipos en el proceso productivo.

**Tabla 2.**

*Resultados entrevista a directivas de Metalmecánicas*

Pregunta	José Antonio Acosta	María Fernanda Beltrán
1. ¿Qué solución da la empresa cuando aparece una avería?	Realizar las acciones correctivas del equipo	Buscar la persona determinada para realizar el mantenimiento demandado
2. ¿Con qué frecuencia aparecen estas averías?	Son momentáneas, sus frecuencias están en un rango entre 2 a 3 veces en el mes	No es posible determinar un tiempo fijo
3. ¿Quien o quienes realizan el mantenimiento a los equipos?	Los mismos empleados	Suele ser los mismos empleados los que realizan el mantenimiento
4. ¿Conocen alguna norma de mantenimiento a la hora de realizar las acciones preventivas?	No	No

---

5. ¿Cuáles son los equipos que considera son los más propensos a presentar una avería?	Torno, el equipo láser, las pulidoras, la cortadora y la tronadora	Las pulidoras, el equipo de soldar, el torno, la roscadora de tubo, la cortadora y la dobladora.
6. ¿Cuáles consideran que son las causas de aparición de las averías en los equipos?	Falta de capacitación y concientización de los operarios a la hora de utilizar los equipos.	Falta de limpieza en la zona de producción y reparación y un mal uso que conlleva a dañar los equipos de Metalmecánicas, algunos equipos poseen una fecha de adquisición de más de 20 años, además de esto no se posee fichas técnicas para garantizar el correcto funcionamiento de los equipos.
7. ¿Qué acciones correctivas realizan cuando aparece una avería?	Limpiar los equipos, en caso de que se presente una inconformidad que impida el	Eliminar las impurezas que puedan afectar el funcionamiento de los equipos, como grasa o polvo.

---

*Nota.* Elaboración propia con base a las respuestas de las altas directrices de Metalmecánicas.

En la entrevista realizada con base a la investigación de Estupiñán (2017), se adelanta a las directivas de la empresa un estudio donde se puede observar: no se posee acciones correctivas estructuradas o planificadas, las acciones correctivas se limitan solo a la limpieza del equipo, los empleados no están capacitados para asegurar la vida útil de los equipos, las averías ocurren con una frecuencia constante, no poseen un plan de mantenimiento, son los empleados los encargados de realizar el mantenimiento a los equipos, no se posee fichas técnicas para garantizar el correcto funcionamiento de los equipos por parte de los operarios. Por consiguiente, se consignó que la gestión del mantenimiento que se realizaba en la empresa carecía de un

control que permitiera el aseguramiento de la vida útil de los equipos, así como la organización del proceso productivo.

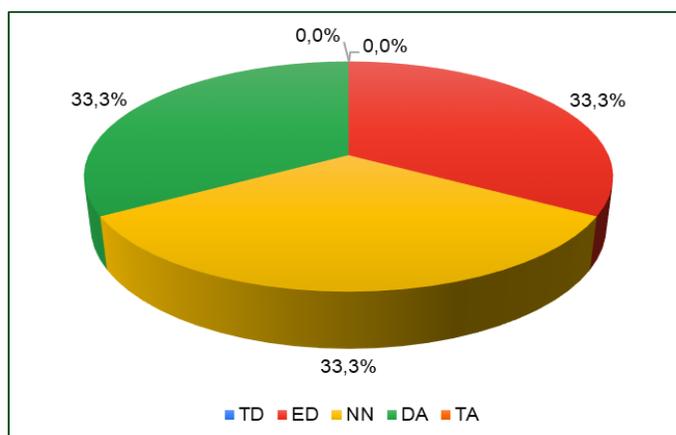
En base de estas observaciones, se decide realizar una encuesta de 14 preguntas (anexo 2) a los trabajadores para corroborar la información obtenida, esta encuesta tuvo una muestra de 6 colaboradores del área operativa, siendo estos la totalidad actualmente contratada; a los participantes se les comentó que la encuesta tenía como fin el de recolectar información para conocer el impacto que poseen las averías en los equipos mediante su experiencia en la empresa. Esta encuesta fue diseñada con base a la investigación realizada por Urrego (2017); quien, valido el cuestionario a través de consulta a expertos en su investigación, en la cual posee 5 respuestas distintas para las preguntas siendo:

- Totalmente en desacuerdo (TD)
- En desacuerdo (ED)
- ni de acuerdo y ni en desacuerdo (NN)
- De acuerdo (DA)
- Totalmente de acuerdo (TA)

Para analizar los datos cuantitativos de la encuesta se diseñaron diagramas circulares mediante el programa Microsoft Excel:

### Figura 2.

*Pregunta 1. ¿Existe en astillería Metalmecánicas un organigrama dentro de la compañía que refleje las líneas de mando y de toma de decisiones a la hora de realizar el mantenimiento a los equipos?*

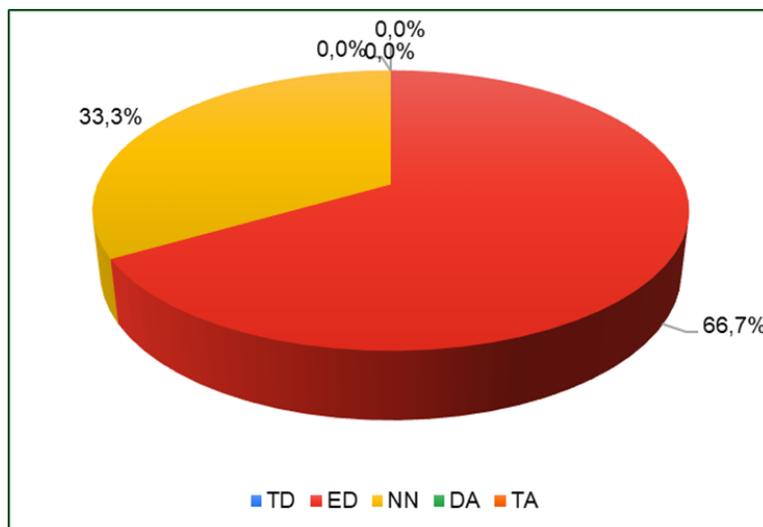


*Nota.* Elaboración propia basada en la investigación de Urrego (2017).

Como se observa en la figura 2, las opiniones están divididas en cuanto a la existencia en la astillería Metalmecánicas de un organigrama que demuestre los pasos a seguir para realizar el mantenimiento a los equipos, pues, en proporciones iguales (33.3% cada uno), hay quienes están de acuerdo con esta afirmación, quienes están en desacuerdo y quienes no están de acuerdo, ni en desacuerdo. La cuestión es que existe el organigrama, aunque no es claro quién toma las decisiones en cuanto a mantenimiento de los equipos.

### Figura 3.

*Pregunta 2. ¿Existe en la empresa un plan de mantenimiento ordenado?*

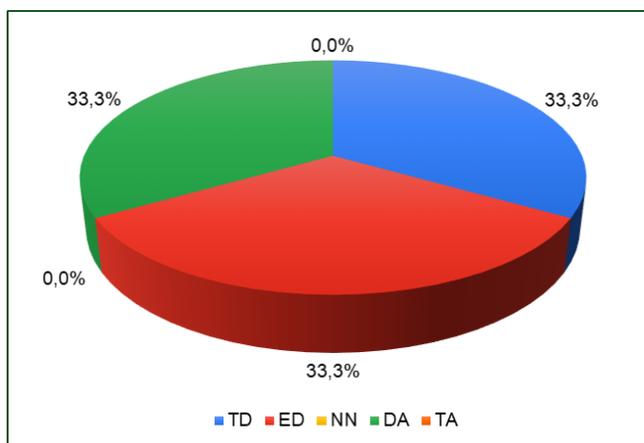


*Nota.* Elaboración propia basada en la investigación de Urrego (2017).

La mayoría de los trabajadores operativos de Metalmecánicas (66.7%) mostraron su desacuerdo con él postula que firma la existencia de un plan de mantenimiento ordenado al interior de esta empresa, y el 33.3% plantean una opinión imparcial (ver figura 3). Esto concuerda con lo expresado por las directivas de la organización, reflejado en las experiencias que han tenido los operarios en su participación dentro de la empresa.

#### **Figura 4.**

Pregunta 3. ¿Cuenta con la capacitación adecuada para realizar mantenimiento a los diferentes equipos que usted maneja en la empresa?

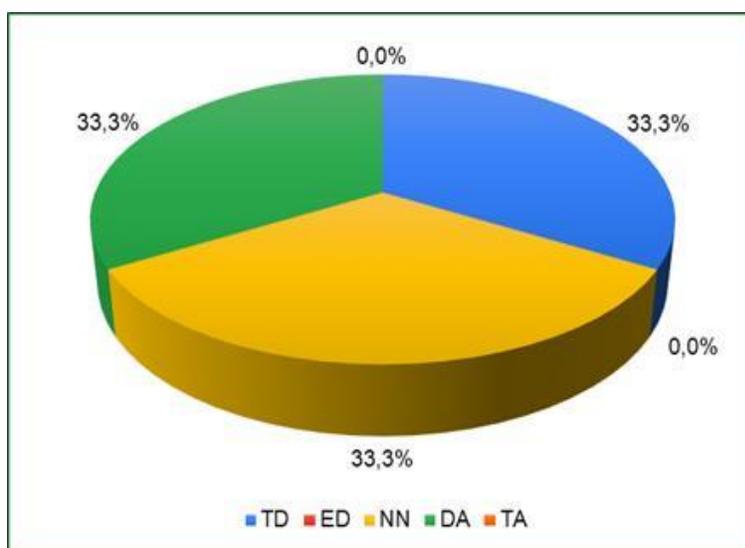


*Nota.* Elaboración propia basada en la investigación de Urrego (2017).

Pese a la anterior respuesta, el 66.7% de los empleados operativos de Metalmecánicas demostraron un nivel de acuerdo con el postulado de la tercera pregunta, sosteniendo que ellos cuentan con la capacitación adecuada para realizar mantenimiento a la diferente maquinaria que manejan en la empresa, lo cual es bueno para la empresa, pues no tendrán que invertir mayores recursos en caso de poner en funcionamiento el plan de mantenimiento preventivo fruto del presente estudio.

**Figura 5.**

Pregunta 4. ¿En artillería Metalmecánicas existe personal encargado del mantenimiento de la maquinaria y equipo crítico?



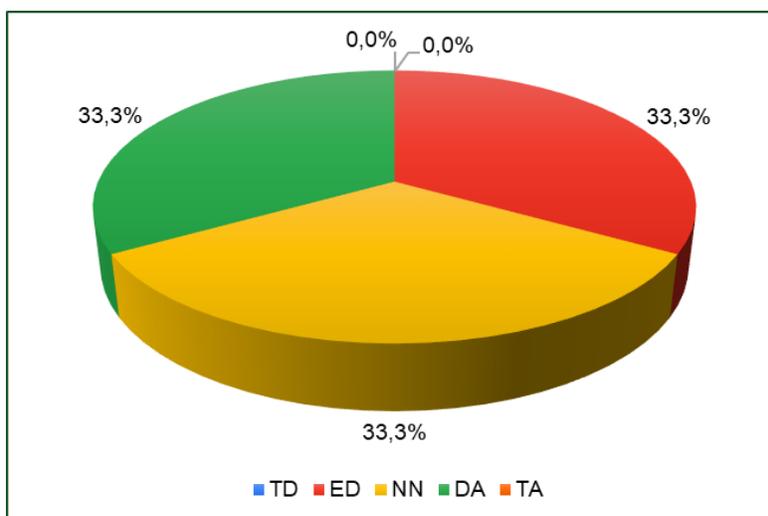
*Nota.* Elaboración propia basada en la investigación de Urrego (2017).

Al consultar sobre la existencia de personal encargado del mantenimiento de la maquinaria y equipo crítico en la astillería Metalmecánicas las opiniones se encuentran divididas en iguales proporciones entre los que están de acuerdo, totalmente en desacuerdo y los que eligieron una postura neutra (ver figura 5). Estos resultados se dan debido a que algunos trabajadores con experiencia deben realizar algún tipo de mantenimiento a los equipos operativos

lo cual se ha visto reflejado en la pregunta anterior (ver figura 4), aunque el mantenimiento que realizan es más de forma correctiva que preventiva.

### Figura 6

*Pregunta 5. ¿Cuenta con las herramientas necesarias para realizar los mantenimientos de maquinaria y equipo crítico?*

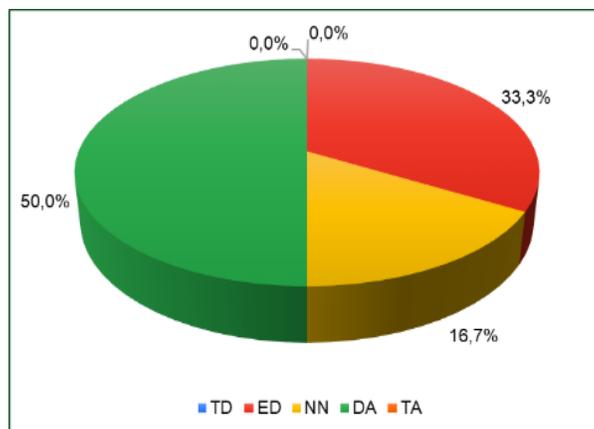


*Nota.* Elaboración propia basada en la investigación de Urrego (2017).

Igualmente, al presentarles “Cuenta con las herramientas necesarias para realizar los mantenimientos de maquinaria y equipo crítico”, se obtuvieron opiniones divididas equitativamente (ver figura 6), por lo cual se hace necesario que la gerencia de Metalmecánicas adecue el inventario de herramientas para poder realizar las acciones de mantenimiento preventivo RCM propuestas en el plan que más adelante se presenta.

### Figura 7.

*Pregunta 6. ¿En la empresa existe un presupuesto establecido para el mantenimiento de maquinaria y equipo crítico?*

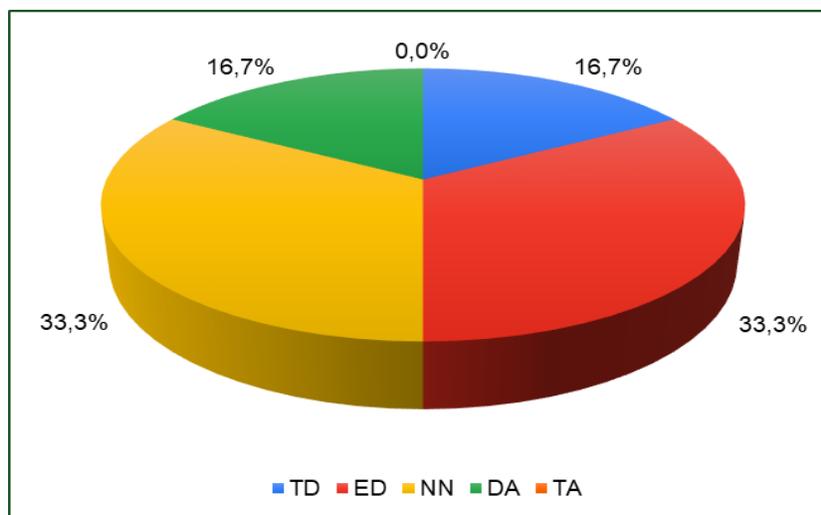


*Nota.* Elaboración propia basada en la investigación de Urrego (2017).

La figura 7 se observa que la mitad de los trabajadores operativos del astillero sostiene que en la empresa existe un presupuesto establecido para el mantenimiento de maquinaria y equipo crítico, el 33.3% se encuentra en desacuerdo con tal afirmación y el 16.7% está indeciso. Al respecto hay que destacar que en la empresa existe un presupuesto, pero muchas veces se queda corto cuando los equipos fallan, ya que este rubro por lo general se utiliza en el mantenimiento correctivo.

### **Figura 8.**

*Pregunta 7. ¿Se cuenta con un plan estructurado para realizar mantenimiento?*

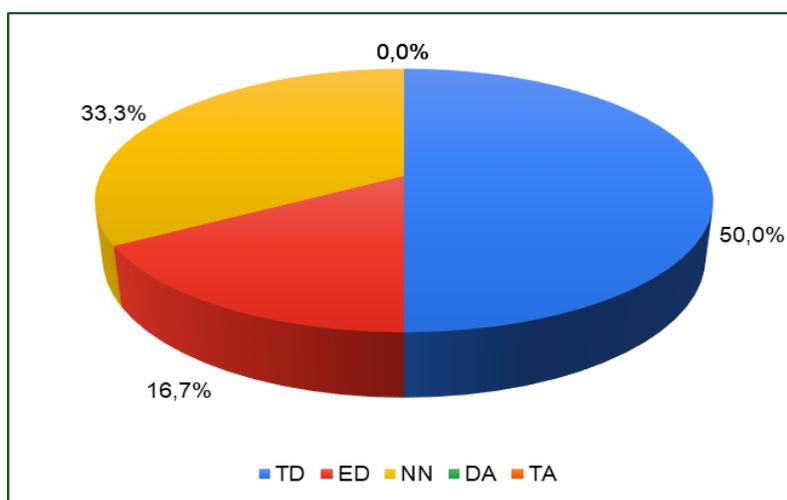


*Nota.* Elaboración propia basada en la investigación de Urrego (2017).

A su vez, la figura 8 permite identificar que la mitad del personal encuestado demostraron algún nivel de desacuerdo al consultarles sobre la existencia de un plan estructurado para realizar mantenimiento, y sólo uno de los empleados sostiene que existe; no obstante, dicho plan de existir se encontraría orientado a realizar reparaciones de los equipos con fallas y pocas veces a tomar acciones preventivas.

### Figura 9.

Pregunta 8. ¿Se cuenta con un stock de repuestos para la maquinaria en el almacén?

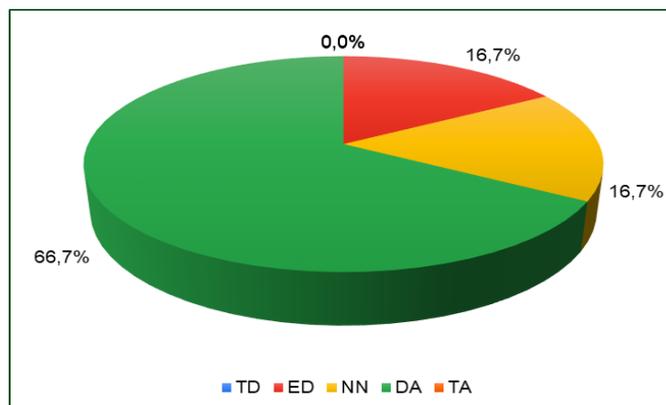


Nota. Elaboración propia basada en la investigación de Urrego (2017).

Como se aprecia en la figura 9 la gran mayoría del personal operativo de la empresa de astillería Metalmecánicas demostraron su desacuerdo total (50%) o parcial (16.7%), sobre la existencia de un stock de repuestos para la maquinaria en el almacén de dicha organización, dejando ver una falencia para el desarrollo de acciones preventivas de mantenimiento.

### Figura 10.

Pregunta 9. ¿Existen equipos de protección personal idóneos para realizar el mantenimiento de maquinaria y equipo crítico?

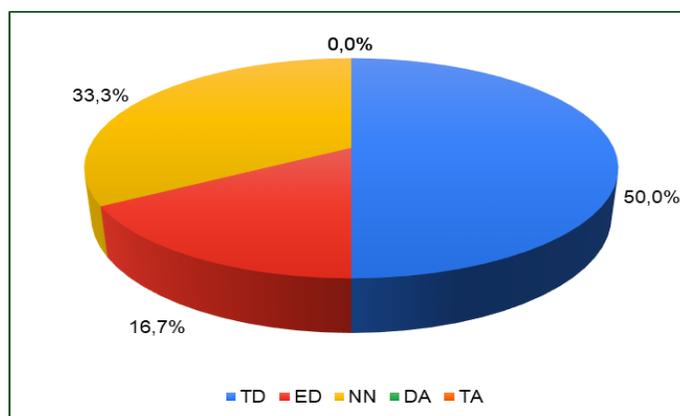


*Nota.* Elaboración propia basada en la investigación de Urrego (2017).

En contraste, el 66.7% del personal encuestado está de acuerdo con la existencia de equipos de protección personal idóneos para realizar el mantenimiento de maquinaria y equipo crítico; además, un 16.7% demostró indecisión al respecto y el 16.7% restante se mostró en desacuerdo. Estos resultados son positivos para llevar a la realidad el plan de mantenimiento preventivo RCM diseñado en el presente estudio, aunque es necesario que haga una revista de estos elementos para tomar las acciones necesarias que permitan realizar con seguridad las actividades de mantenimiento.

### **Figura 11.**

Pregunta 10. ¿Cada uno de los equipos cuenta con la documentación histórica del mantenimiento?

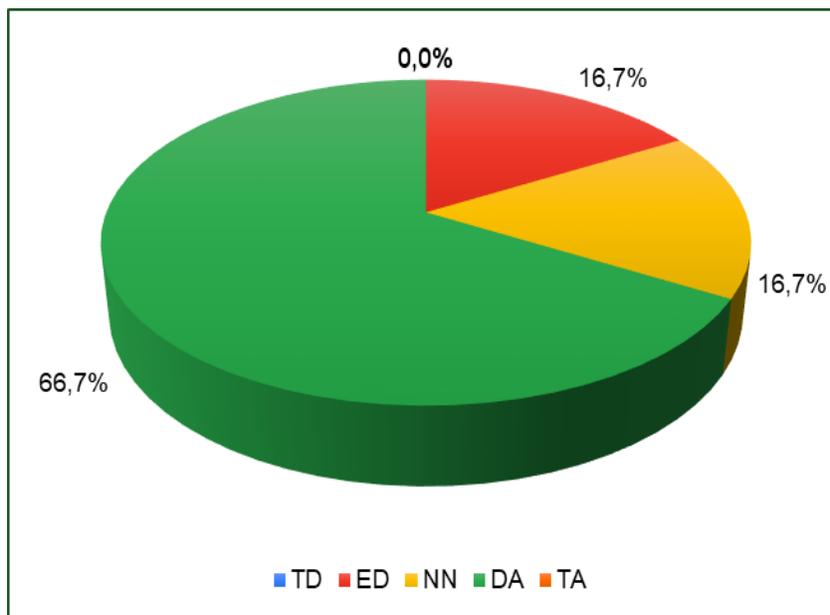


*Nota.* Elaboración propia basada en la investigación de Urrego (2017).

De acuerdo con los resultados plasmados en la figura 11, el 66.7% de la población encuestada está totalmente en desacuerdo con la afirmación “Cada uno de los equipos cuenta con la documentación histórica del mantenimiento”, y el porcentaje restante se inclinaron por una postura neutra, la cual demuestra desconocimiento del tema. Es de anotar que es muy importante que cada equipo cuente con una hoja de vida donde entre otras se lleve el registro histórico de mantenimiento, ya que ello sirve para llevar un control de las acciones preventivas y contribuye a evaluar su eficiencia (Lombana y Zárate, 2018).

### Figura 12.

*Pregunta 11. ¿Existe control sobre tiempos de paradas de la maquinaria y reporte de daños?*

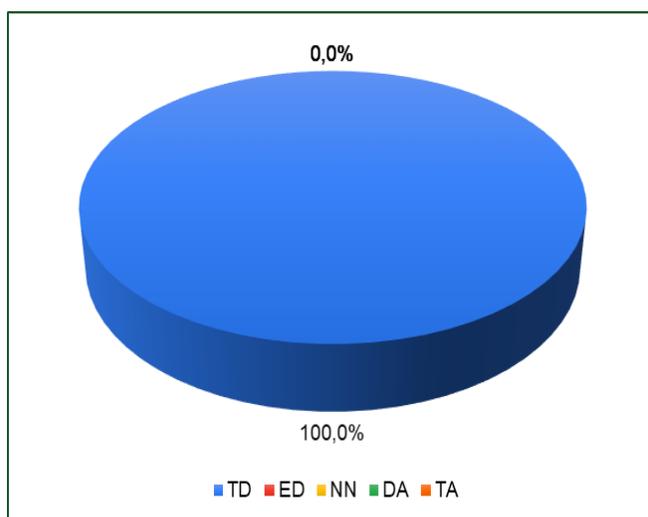


*Nota.* Elaboración propia basada en la investigación de Urrego (2017).

Como se aprecia en la figura 12, la mayoría del personal operativo se mostró de acuerdo con la existencia de control sobre tiempos de paradas de la maquinaria y reporte de daños, lo que es bueno para los equipos y la empresa, aunque hay que tener en cuenta que este control no se lleva un registro adecuado, lo que limita obtener todos los beneficios.

**Figura 13.**

Pregunta 12. ¿Se consultan y siguen instrucciones de manuales para adelantar mantenimientos?

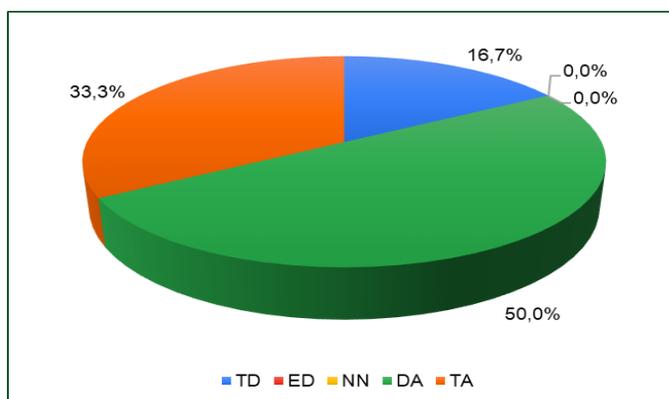


Nota. Elaboración propia basada en la investigación de Urrego (2017).

La encuesta también permitió establecer que la totalidad de los empleados operativos de la empresa de artillería Metalmecánicas sostienen no saber consultar y seguir instrucciones de manuales para adelantar mantenimientos (ver figura 13), lo que puede incidir en el desarrollo del plan de mantenimiento preventivo diseñado en el presente estudio, por ende, es necesario realizar una capacitación para mitigar esta falencia.

**Figura 14.**

Pregunta 13. ¿Conozco totalmente el funcionamiento del equipo operado o encargado?

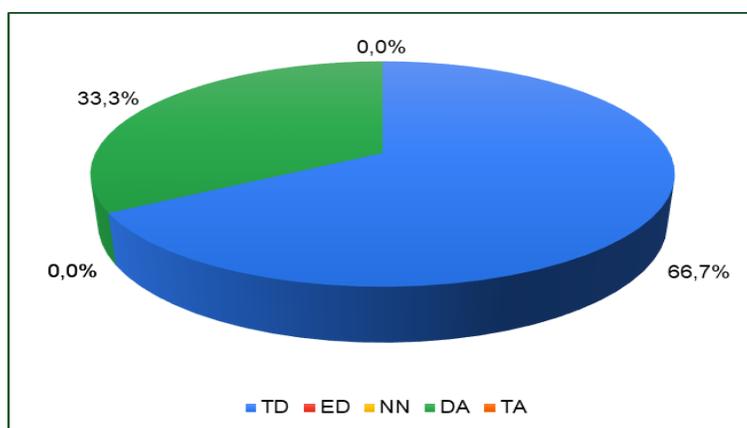


Nota. Elaboración propia basada en la investigación de Urrego (2017).

Así mismo, el 83.3% del personal encuestado está de acuerdo o totalmente de acuerdo con la afirmación “Conozco totalmente el funcionamiento del equipo operado o encargado” (ver figura 14), lo cual es bueno para llevar a cabo el plan de mantenimiento preventivo RCM diseñado, pues ellos mismo podrá adelantar las actividades propuestas en dicho documento.

**Figura 15.**

*Pregunta 14. ¿Mantengo rutinas de limpieza diariamente en los equipos y maquinaria a mi cargo?*



*Nota.* Elaboración propia basada en la investigación de Urrego (2017).

De acuerdo con la figura 15, dos terceras partes de la población encuestada manifiesta estar totalmente en desacuerdo con que mantengan rutinas de limpieza diariamente en los equipos y maquinaria a mi cargo, y el restante está de acuerdo. Estos resultados dejan ver que esta actividad de importancia para prevenir fallas en los equipos y disminuir el riesgo laboral, no se realiza periódicamente, por lo que se tiene en cuenta para el diseño del plan de mantenimiento preventivo.

De acuerdo con las respuestas de la entrevista y la encuesta realizada, se pudo observar la importancia del diagnóstico para identificar la necesidad de mantenimiento de los equipos para Metalmecánicas, con relación a:

- Equipos con una fecha de adquisición antigua.
- Deficiencia de limpieza en el área operacional.
- Falta de instrucción para un uso cuidadoso de los equipos por parte de los operarios.
- Falta de organización de las acciones de mantenimiento.
- Carencia de capacitaciones para el adecuado mantenimiento de los equipos.
- Falta de documentación que permita realizar un seguimiento a los equipos, como por ejemplo un formato “hoja de vida de equipos”; además no todos los equipos poseen fichas técnicas y estas están desactualizadas.

#### **Análisis de los lineamientos técnicos y criticidad de los equipos.**

En base del diagnóstico realizado se concluye que en Metalmecánicas no se hace un análisis a las averías presentadas en los equipos debido a las acciones correctivas que realizan, no son las suficientes para mantener en buen estado los equipos utilizados en el proceso operativo, ya que estas acciones se limitan en la limpieza de impurezas que puedan presentarse en el área operacional las cuales se realizan de manera periódica y no poseen un seguimiento sistemático de limpieza y diagnóstico de los equipos para así asegurar su vida útil, durante la entrevista realizada a la alta gerencia se comentó que los operarios no informan cuando los equipos presentan un estado vulnerable ya que para ellos siguen siendo funcional ignorando la atención requerida hacia los equipos.

Bajo lo anterior establecido se propone un mantenimiento preventivo el cual permita realizar procesos de mantenimiento que aseguren la vida útil de los equipos como también aumente su disponibilidad y reduzca costos, ante esto se va a realizar un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad o RCM que por sus siglas en inglés es (Reliability Centered

Maintenance) metodología que se construye en base a las experiencia de los colaboradores del proceso operativo para estandarizar prácticas de mantenimiento, estas prácticas son construidas desde un análisis base cero ya que el RCM no necesita estar relacionado con acciones actuales de mantenimiento lo que conlleva a no necesitar de modelos matemáticos para su realización, flexibilizando su diseño y permitiendo que sea un método de mantenimiento flexible en las organizaciones (Pérez, 2016); para poder llevar a cabo el plan de mantenimiento es necesario conocer los equipos que presentan una mayor frecuencia de averías, por ende se realizó un inventario de equipos presentes en Metalmecánicas (Ver tabla 3):

**Tabla 3**

*Inventario de equipos*

<b>Equipos</b>	<b>Cantidad de equipos</b>
Pistola para soldar	1
Equipo de soldar	1
Equipo inversor	4
Pulidora pequeña	4
Pulidora grande	2
Equipo oxicorte	4
Equipo plasma elite	1
Equipo laser	1
Torno industrial	1
Roscadora de tubo	1
Taladro fresador	1

*Nota.* Elaboración propia con base de información brindada por Metalmecánicas.

Para consiguiente con la información obtenida en las fichas técnicas brindada por los operarios de los diferentes equipos con que cuenta la empresa de astillería Metalmecánicas (ver Anexo 3) se procedió a calcular el nivel de importancia de los equipos en función de su interacción en los distintos procesos de construcción y reparación de embarcaciones.

Como resultado se diseñó una matriz que refleja el impacto de los equipos en los procesos del área operativa de Metalmecánicas (Ver tabla 4). Esta matriz esta basada en la investigación realizada por Cuesta (2006) en la cual los niveles de importancia se midieron de 1 a 5; en la matriz se clasificaron los equipos con las siguientes nomenclaturas para su nivel de importancia:

- Nivel 1: Su función es vital para el proceso y no posee un plan de ocurrencia.
- Nivel 2: logra parar el proceso y posee un plan de ocurrencia el cual necesita de más 8 horas para su aplicación.
- Nivel 3: son aquellos equipos que reducen el rendimiento del proceso igual o más al 50%, además de poseer un plan de contingencia.
- Nivel 4: son equipos que reducen el rendimiento a menos de 50%.
- Nivel 5: equipos de soporte cuya función puede ser sustituida fácilmente.

En = Equipo

- E1= Torno industrial; E2 = Pistola para soldar; E3 = Equipo de soldar; E4 = Equipo inversor; E5 = Dobladora; E6 = Roscadora de tubo; E7 = Equipo láser; E8 = Taladro fresador; E9 = Pulidora pequeña; E10 = Pulidora grande; E11 = Equipo oxicorte; E12 = Equipo plasma elite

**Tabla 4.**

*Matriz nivel de importancia de las máquinas o equipos en los diferentes procesos operativos de Metalmecánicas*

<i>Equipos</i>	<i>E1</i>	<i>E2</i>	<i>E3</i>	<i>E4</i>	<i>E5</i>	<i>E6</i>	<i>E7</i>	<i>E8</i>	<i>E9</i>	<i>E10</i>	<i>E11</i>	<i>E12</i>
<i>Procesos</i>												
<i>Desmonte y montaje de motor</i>	<i>N/A</i>	<i>5</i>	<i>5</i>	<i>5</i>	<i>N/A</i>	<i>N/A</i>	<i>5</i>	<i>N/A</i>	<i>5</i>	<i>5</i>	<i>5</i>	<i>5</i>
<i>Desmonte, reparación, montaje y/o fabricación de popa</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>5</i>	<i>5</i>	<i>4</i>	<i>3</i>	<i>5</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>5</i>	<i>5</i>
<i>Desmonte, reparación, montaje y/o fabricación de proa</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>3</i>
<i>Toma de luces para bujes</i>	<i>N/A</i>	<i>5</i>	<i>5</i>	<i>N/A</i>	<i>N/A</i>							
<i>Fabricación de piezas</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>3</i>
<i>Desmonte, reparación, montaje y/o fabricación de tapas</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>3</i>
<i>Desmonte, reparación, montaje y/o fabricación de carrocería.</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>3</i>
<i>Desmonte, reparación, montaje y/o fabricación de mandos.</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>3</i>
<i>Desmonte, reparación, montaje y/o fabricación de sistema eléctrico.</i>	<i>5</i>	<i>5</i>	<i>5</i>	<i>5</i>	<i>N/A</i>	<i>N/A</i>	<i>5</i>	<i>5</i>	<i>5</i>	<i>5</i>	<i>5</i>	<i>5</i>

*Nota.* E1 = Torno industrial, E2 = Pistola para soldar, E3 = Equipo de soldar, E4 = Equipo inversor, E5 = Dobladora, E6 = Roscadora de tubo, E7 = Equipo laser, E8 = Taladro fresador, E9 = Pulidora pequeña, E10 = Pulidora grande, E11 = Equipo oxicorte, E12= Equipo plasma.

*Nota.* Diseño con base al formato propuesto en la investigación de Cuesta (2006).

Para calificar el nivel de importancia se tuvo en cuenta con la experiencia de cada uno de los operadores, quienes con responsabilidad y sinceridad proporcionaron información para la solicitada.

En caso de no poseer capacidad de grúas o grillos para apoyar una maniobra, la acción recomendada es la de esperar a la disposición del equipo rodante solicitado. En caso de que los equipos del taller se dañen o no haya la disponibilidad necesaria respecto al tiempo, se procede a ejecutar una tercerización del trabajo requerido, si la avería presentada es leve se buscara reparar el equipo o el reemplazarlo por otro.

En la matriz del nivel de importancia de los equipos presentada en los distintos procesos del área operativa, se determinó que Metalmecánicas no cuento con un equipo cítrico, debido a que pueden ser reemplazados por otros equipos iguales y que cumplan con la misma función en los procesos. Sin embargo, se observó que el torno industrial, la dobladora, la roscadora de tubo, y el taladro fresador son los equipos que calificaron al algún proceso con un nivel 2, lo que dio a entender que son aquellos equipos que detienen el proceso y poseen un plan de contingencia cuyo tiempo para realizarse demoran 8 horas o más; esto ya que Metalmecánicas no cuenta con un equipo que cumpla la misma función. Además, para llevar a cabo la reparación de estos equipos es necesario que se incurra a un servicio de tercerización en Villavicencio, representando en el traslado de dichos equipos a esta ciudad para su respectiva reparación.

En cuanto a la criticidad general de los equipos, estos fueron seleccionados con base de su función o características específicas que le dan al equipo un nivel de importancia en el área operativa para los procesos y su buen desempeño dentro del mismo, todo esto está evaluado gracias a la experiencia de los operarios los cuales trabajan con estos equipos en el área operativa.

En la realidad no hay una manera exacta para establecer la criticidad de los equipos, es por esta razón que los equipos se ven en la tarea de evaluarse según su utilización en cada uno de los procesos productivos de Metalmecánicas.

### **Plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria usada en el proceso de producción de la empresa Metalmecánicas, siguiendo la metodología RCM**

Para diseñar el plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad se realizó un estudio con base a las frecuencias de mantenimiento de los equipos, debido a que sus componentes poseen distintos tipos de acciones de mantenimiento y frecuencias distintas según sus características, estos componentes son rotativos, eléctricos, estáticos entre otros tipos de componentes que reflejen diferentes propiedades.

Para mantener los equipos seleccionados del área operativa de la empresa de astillería Metalmecánicas en una disponibilidad alta, garantizando su disponibilidad durante el proceso productivo; se diseñó un plan de acción que permitirá a los equipos trabajar efectivamente y sin ningún impedimento. A continuación, se mostrarán las frecuencias de mantenimiento establecidas para los equipos seleccionados. En el caso de la criticidad general, los equipos fueron seleccionados con base en su función que cumplen dentro de los procesos de la empresa, su nivel de importancia y su buen desempeño dentro del mismo, todo esto fue evaluado gracias a la colaboración y experiencia del personal que trabaja con estos equipos junto a los demás participantes que trabajan en el área operativa; ya con la información suministrada por el personal se procedió a sacar una tabla de frecuencia de mantenimiento para cada equipo seleccionado; por lo consiguiente se inicia compartiendo la tabla de frecuencia de mantenimiento para el equipo torno industrial (Ver tabla 5).

**Tabla 5***Frecuencia de mantenimiento del torno industrial*

<b>No</b>	<b>PARTE</b>	<b>DESCRIPCION DEL TRABAJO</b>	<b>MATERIASLES, HTAS Y EQUIPOS</b>	<b>REC HUM</b>	<b>TIEMPO</b>	<b>FRE C</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
1	Maquina en general	Efectuar limpieza de la mesa y verificar movimientos.	Waipe, Brocha	1C/NC	10'	D1	Tener cuidado con la viruta. No pasarse las manos por los ojos.
2	Aceite de la caja de avance	Examinar la mirilla de aceite y completar el nivel de depósito de lubricante	Aceite para caja de engranes ISO VG 68 (Esso Nuto 68)	1C/NC	3'	T1	Utilizar un único tipo de aceite. No unir con otros aceites.
3	Aceite del cabezal fijo	Examinar la mirilla de aceite y completar el nivel de depósito de lubricante	Aceite para caja de engranes ISO VG 68 (Esso Nuto 68)	1C/NC	3'	T2	Utilizar un único tipo de aceite. No unir con otros aceites.
4	Aceite del carro longitudinal	Examinar la mirilla de aceite y completar el nivel de depósito de lubricante	Aceite para caja de engranes ISO VG 68 (Esso Nuto)	1NC	3'	T3	Utilizar un único tipo de aceite. No unir con otros aceites.
5	Torreta y punta	Verificación y/o alineación de cabezal (corrección de conicidad)	Material de aportes y herramientas de ajustes	1C/NC	10'	T4	Utilizar un único tipo de aceite. No unir con otros aceites.
6	Maquina en general	Verificar mecanismos de avance longitudinal y transversal		1C/NC	5'	T5	
7	Cremalleras del carro longitudinal	Limpiar y engrasar todos los dientes	Waipe, grasa multipropósito NLGI 2, 3 (Shell Avania)	1C	5'	T5	
8	Tornillos de carro superior	Limpiar y engrasa el tornillo	Waipe, grasa multipropósito NLGI 2, 3 (Shell Avania)	1C/NC	3'	T2	
9	Barra de roscar	Limpiar y engrasar el tornillo	Waipe, grasa multipropósito NLGI 2, 3 (Shell Avania)	1C	5'	T1	

10	Engrane laterales (conjunto de engranes de la lira)	Engrasar todos los engranes de la transmisión para la lira, teniendo en cuenta que se anteriormente se debe retirar la tapa lateral izquierda del torno.	Waipe, grasa multipropósito NLGI 2, 3(Shell Avania)	1C/1C MI	10'	T9	
11	Engranajes	Retirar tapa lateral izquierda del torno, comprobar el estado general de los engranes y revisar la tensión de las correas.		1C/1C MI	3'	T10	
12	Embobinado	Retirar la tapa de la bornera y realizar lectura de aislamiento entre fase y tierra del motor principal y de la bomba.	1 Meguer	1CE	3'	A1	
13	Cajas del cabezal fijo (caja Norton), del avance y del delantal	Drenar y examinar si el aceite contiene partículas metálicas o insolubles. Los depósitos deben ser limpiados y rellenados con aceite del mismo tipo.	Aceite para engranajes ISO VG 68 (Esso Nuto 68)	1CMI	45'	S1	
14	Carcaza	Realizar mantenimiento general de pintura exterior de la maquina y del motor. Rectificar el estado de los cojinetes de las máquinas y limpiar.	Pintura antióxido, pintura color rojo y gris mamparo, brocha, tiner, lija, waipe, ACPM.	1NC/1 CMI	45'	A2	
15	Motor	Rectificar el aislamiento con un Meguer, Examinar las cunas y el rodamiento, si se es necesario cambiar la grasa. Descontaminar estrator con <u>producto adecuado y debe de</u>	Waipe, llaves, compresor, producto deshumectante y desengrasante para limpiar el embobinado	2CE	12'	A3	Desconectar totalmente el equipo después de haber revisado el aislamiento.

---

estar calentado a 110°C, aplicar pintura dieléctrica con el estrator caliente y someterlo a pruebas. Revisar rodamientos y en caso necesario cambiarlos (Luneta y motor)	barniz dielectrico rojo o transparente.
---	--

---

*Nota.* Asegurarse que el equipo no este energizado. Colocar letrero de no energizar. NC: Personal del taller (operarios y ayudantes). C:

Personal que maneja el equipo CE: Personal calificado en electricidad. CMA: Personal calificado en mecánica automotriz. CMI:

Técnico en mantenimiento industrial. D: Diaria. S: Semana. M: Mensual. A: Anual.

*Nota.* Diseño con base al formato propuesto en la investigación de Cuesta (2006).

En la siguiente tabla se puede observar la frecuencia de mantenimiento que los operarios deberán tener en cuenta para realizar sus funciones, frente a la limpieza y cuidado de la roscadora de tubo basado en el diseño de la investigación realizada por Cuesta. (ver la figura 6).

**Tabla 6.***Frecuencia de mantenimiento de la roscadora de tubo*

<b>No</b>	<b>PARTE</b>	<b>DESCRIPCION DEL TRABAJO</b>	<b>MATERIASLES, HTAS Y EQUIPOS</b>	<b>REC HUM</b>	<b>TIEMPO</b>	<b>FRE C</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
1	Interruptor de encendido	Verificar su funcionamiento		1NC	3'	D3	
2	Estructura de trabajo	Limpiar y lubricar la estructura operacional	Waipe, grasa multipropósito NLGI 2. Grasea (Mobil Valina EP-2, Esso Beacon EP-2)	1NC	5'	T1	
3	Rodamientos	Colocar lubricante en las boquillas de los rodamientos	Waipe, grasa multipropósito NLGI 2. Grasea	1NC	10'	S1	
4	Embobinado	Retirar la tapa de la bornera y registrar la lectura de aislamiento entre fase y tierra. Escribir los resultados obtenidos.	1 Meguer	1CE	3'	A1	
5	Carcaza	Efectuar mantenimiento general de pintura exterior. Limpiar cunas de cojinetes pintura antióxido, pintura gris, mamparo	Brocha, tiner. ACPM	1NC	45'	A2	
6	Lubricación	Efectuar cambio de lubricación al trabajar	I SO VG 32 (Esso Febis 32, Shell Telux 32, Mobil DTE 32)	1C/1MI	3'	A2	
7	Motor	Verificar el aislamiento con un Meguer, Verificar rodamientos y cunas, en caso necesario cambiar o aplicar <u>grasa. Limpiar el estator y el</u>	Waipe, compresor, llaves, producto, desengrasante y deshumectante para <u>limpiar el</u>	2CE	12'	2A1	No realizar en caso de que las lecturas tomadas del aislamiento muestren

---

rotor con aire comprimido. Lavar el estator con producto adecuado, aplicar pintura dieléctrica con el estator caliente y sostenerlo a pruebas. Revisar rodamientos en caso necesario cambiarlos (Motor y luneta)	embobinado, barniz dieléctrico rojo o transparente	un buen estado. Desconectar total
---	--	--------------------------------------

---

*Nota.* Asegurarse que el equipo no esté energizado. Colocar letrero de no energizar. NC: Personal del taller (operarios y ayudantes). C:

Personal que maneja el equipo CE: Personal calificado en electricidad. CMA: Personal calificado en mecánica automotriz. CMI:

Técnico en mantenimiento industrial. D: Diaria. S: Semana. M: Mensual. A: Anual.

*Nota.* Diseño con base al formato propuesto en la investigación de Cuesta (2006).

A continuación, se comparte la información suministrada sobre la frecuencia del mantenimiento que se debe realizar para garantizar el adecuado funcionamiento del equipo taladro fresador (Ver la tabla 7). Esta información igual que en la tabla anterior fue validada bajo la investigación realizada por Cuesta (2006).

**Tabla 7.***Frecuencia de mantenimiento del taladro fresador*

<b>No</b>	<b>PARTE</b>	<b>DESCRIPCION DEL TRABAJO</b>	<b>MATERIASLES, HTAS Y EQUIPOS</b>	<b>REC HUM</b>	<b>TIEMPO</b>	<b>FRE C</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
1	Mesa de trabajo	Efectuar limpieza de la mesa y verificar movimientos.	Waipe, brocha	1NC	5'	D1	
2	Hulsillo de carro longitudinal y cabezal	Limpiar, lubricar nuevamente y hacer prueba de desplazamiento vertical y horizontal.	Aceite ISO VG 68/SAE 80 (Esso Febis K68, Shell Tonna X 68, Mobi Vactra Oil N°2)	1C	5'	D2	Utilizar un único tipo de aceite. No unir con otros aceites.
3	Interruptores de marcha y de parada de emergencia.	Verificar funcionamiento de los interruptores		1C	5'	D3	
4	Aceite del cabezal	Verificar que se encuentren en el correcto nivel. En caso necesario rellenar.		1NC	5'	D4	Utilizar un único tipo de grasa. No unir con otras clases de grasas.
5	Cilindro de giro (Guia vertical) y guias	Limpiar y lubricar nuevamente	Shell TonnaX 68, Mobil Vactra Oil N°, Aceitera, aceite, ISO VG 68 (Esso Febis K68)	1NC/C	10'	D5	Utilizar un único tipo de grasa. No unir con otras clases de grasas.
6	Guias (cremalleras)	Limpiar y volver a engrasar las cremalleras del carro	3(Shell Avania R2, Mobil Valina EP-2, Esso Beacon EP-2)	1C	5'	T1	Utilizar un único tipo de grasa. No unir con otras clases de grasas.

7	Tornillos guías movimiento vertical	Limpiar y engrasar	Nuevamente Waipe, grasa multipropósito NLGI 2, 3 (Shell Avania R2, Mobil Valina EP-2, Esso Beacon EP-2) Waipe, grasa multipropósito NLGI 2	1C	5'	T2	Utilizar un único tipo de grasa. No unir con otras clases de grasas
8	palancas para subir, bajar y girar el puente de volante de accionamiento del carro, Palanca husillos izquierdo	Efectuar limpieza y lubricar nuevamente sus partes	Grasa multipropósito NLGI 2, Waipe, 3( Esso Beacon EP-2 Shell Avania R2, Mobil Valina EP-2)	1C/1C MI	15'	T3	Utilizar un único tipo de aceite. No unir con otros aceites.
9	Aceite cajas de transmisión	Rectificar el adecuado nivel de las cajas de transmisión. De ser necesario llenar los niveles.	Caja de herramientas. Aceite para engranajes ISO VG 68-150/SAE 90 (Mobilube HD 90 , Mobilgear 600, Esso Febis, K150 Shell Itrea 150)	1C/1C MI	10'	S1	Utilizar un único tipo de aceite. No unir con otros aceites
10	Embobinado	Retirar la tapa de la bornera y tomar lectura de aislamiento entre fase y tierra. Escribir el resultado obtenido.	1 Meguer	1CE	3'	A1	
11	Cajas del cabezal y de transmisión	Drenar y limpiar las cajas del cabezal; examinar si el aceite cuenta con partículas metálicas, piqueteaduras y/o	Caja de herramientas. ACPM, Waipe, aceite para engranajes ISO VG 68-150/SAE 90	2CMI/1 NC	4'	2A1	

		dientes quebrados. Revisar los cojinetes, limpiarlos y rellenarlos el nivel con aceite.	(Mobilube HD 90, Mobilgear 600, Esso Febis K150 Shell Itrea 150)				
12	Motor	Verificar el aislamiento con un Meguer, verificar rodamientos y cunas, en caso necesario cambiar o aplicar grasa. Limpiar el estator y el rotor con aire comprimido. Lavar estator con producto adecuado, hornearlo a 110 °C, aplicar pintura dieléctrica con el estrator caliente y someterlo a pruebas. Revisar rodamientos en caso necesario cambiarlos. (Motor y luneta)	Waipe, compresor, llaves, producto desengrasante y deshumectante para limpiar el embobinado, barniz dieléctrico rojo o transparente	2CE	12'	A3	No ejecutar en caso de que las lecturas del aislamiento del embobinado indiquen que correctamente. Desconectar todo después de hacer la revisión del aislamiento.

*Nota.* Asegurarse que el equipo no este energizado. Colocar letrero de no energizar. NC: Personal del taller (operarios y ayudantes). C:

Personal que maneja el equipo CE: Personal calificado en electricidad. CMA: Personal calificado en mecánica automotriz. CMI:

Técnico en mantenimiento industrial. D: Diaria. S: Semana. M: Mensual. A: Anual.

*Nota.* Diseño con base al formato propuesto en la investigación de Cuesta (2006).

En la siguiente tabla se muestra la información referente al estudio de la frecuencia del mantenimiento que los operarios deben realizar para garantizar la vida útil del equipo la dobladora (Ver figura 8).

**Tabla 8.***Frecuencia de mantenimiento de la dobladora*

No	PARTE	DESCRIPCION DEL TRABAJO	MATERIASLES, HTAS Y EQUIPOS	REC HUM	TIEMPO	FRE C	OBSERVACIONES
1	Interruptor de encendido	Verificar su funcionamiento		1NC	3'	D3	
2	Estructura de trabajo	Limpiar y lubricar la estructura operacional	Waipe, grasa multiprosito NLGI 2. Graser (Mobil Valina EP-2, Esso Beacon EP-2)	1NC	5'	T1	
3	Rodamientos	Colocar lubricante en las boquillas de los rodamientos	Waipe, grasa multipropósito NLGI 2. Graser	1NC	10'	S1	
4	Embobinado	Retirar la tapa de la bornera y revisar la lectura de aislamiento entre fase y tierra. Escribir el resultado obtenido.	1 Meguer	1CE	3'	A1	
5	Carcaza	Efectuar mantenimiento general de pintura exterior. Limpiar cunas de cojinetes pintura antióxido, pintura gris mamparo.	Brocha, tiner, ACPM.	1NC	45'	A2	
6	Lubricación	Efectuar cambio de lubricación al trabajar	ISO VG 32 (Esso Febis 32, Shell Telux 32, Mobil DTE 32)	1C/1MI	3'	A2	
7	Motor	Verificar el aislamiento con un Meguer, verificar rodamientos y cunas, en caso necesario cambiar o aplicar grasa. Limpiar el estator y el rotor con aire comprimido.	Waipe, compresor, llaves, producto desengrasante y deshumectante para limpiar el embobinado, barniz	2CE	12'	2ª1	No ejecutar en caso de que las lecturas del aislamiento del embobinado indiquen que correctamente. Desconectar todo

---

Lavar estator con producto adecuado, honarlo a 110 ° C, aplicar pintura dieléctrica con el estator caliente y someterlo a pruebas. Revisar rodamientos en caso necesario cambiarlos. (Motor y luneta)	dieléctrico rojo o transparente	después de hacer la revisión del aislamiento.
---	---------------------------------	---

---

*Nota.* Asegurarse que el equipo no este energizado. Colocar letrero de no energizar. NC: Personal del taller (operarios y ayudantes). C:

Personal que maneja el equipo CE: Personal calificado en electricidad. CMA: Personal calificado en mecánica automotriz. CMI:

Técnico en mantenimiento industrial. D: Diaria. S: Semana M: Mensual. A: Anual.

*Nota.* Diseño con base al formato propuesto en la investigación de Cuesta (2006).

### ***Formatos de control***

Así mismo, se elaboraron cinco formularios para tener un control del plan de Mantenimiento en medio físico. El primer formato corresponde a la actualización de la “Ficha Técnica de Equipo” (Ver anexo 4), la cual se debe llenar una por cada equipo incluyendo su información, especificaciones, condiciones de operación y accesorios de la maquinaria.

El segundo formato es el de “Cuadro actividades de mantenimiento” (ver anexo 5), en el cual aparece el trabajo a ejecutar con su nota correspondiente, duración, y el tipo de actividades a realizar (lubricación, eléctricas y mecánicas).

Es de anotar que a pesar de que el mantenimiento es preventivo, toda actividad debe llevar orden de trabajo, pues también puede existir el fallo del equipo y necesitar mantenimiento correctivo, por ello se diseñó el formato que se ve en el anexo 6.

Previendo que la mayoría de las actividades de mantenimiento requieren de materiales, se diseñó un esquema para su solicitud, para así llevar un control de este material, así como su transcripción en costos (ver Anexo 7).

Y concretamente, para el control económico se diseñó un Esquema de Costos de Mantenimiento por Equipo (ver Anexo 8), en el cual se debe detallar, entre otras, el tipo de mantenimiento, el tiempo de horas/hombre, el valor de mano de obra, el valor de los materiales y se totaliza cada actividad.

### ***Indicador de gestión de mantenimiento***

También se tiene en cuenta un indicador para calcular y medir como se ha desarrollado el plan de mantenimiento mensualmente. Este indicador se calcula dividiendo el número de mantenimientos cumplidos entre el número de mantenimientos programados mensualmente y

este resultado multiplicado por cien y así obtendrá un porcentaje, tal y como se aprecia en la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} & \textit{Gestion de mantenimiento} \\ & = \frac{\textit{Numero de mantenimiento cumplidos}}{\textit{Numero de mantenimiento programados mensualmente}} \times 100\% \end{aligned}$$

## Conclusiones

El presente estudio se enfocó en el diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la empresa de astillería Metalmecánicas, basado en la metodología de criticidad de equipos RCM para los procesos productivos más relevantes en una empresa, todo esto se hizo con el fin de crear un plan que permita el mejor desarrollo de las actividades e incremento de la productividad de la organización en estudio; para esto se realizó un diagnóstico a los equipos presentes en el proceso operativo de Metalmecánicas con el fin de conocer su estado y necesidad.

En base al diagnóstico se pudo identificar que Metalmecánicas cuenta con un proceso operativo que deriva desde la comunicación y diagnóstico de las necesidades del cliente, contando para su desarrollo con 12 tipo de equipos necesarios para desarrollar las diferentes actividades de astillería, que en algunos casos es antiguo; aunque los directivos manifiestan que el mantenimiento que se realiza a los equipos es correctivo, lo que afecta el cumplimiento de los compromisos con los clientes, siendo el torno, las pulidoras y la cortadora-trazadora los que se averían con mayor frecuencia. Además, los resultados obtenidos tanto de la encuesta como de la entrevista rectificaron la necesidad de diseñar un plan de mantenimiento, debido a su carencia en la empresa, pese a que algunos empleados cuentan con ciertas habilidades para reparar algunos equipos, siendo ellos quien en primera instancia le dan solución con las herramientas disponibles en la empresa; también se identificó que pese a existir fichas técnicas de los equipos, no cuentan con la documentación histórica del mantenimiento, haciendo difícil prever la periodicidad del mismo.

Con respecto a la criticidad general de los equipos, estos fueron seleccionados con base a un nivel de importancia dado por su función y/o características específicas para los procesos operativos; por lo tanto, se pudo establecer que los equipos críticos eran la dobladora, la

roscadora de tubo, el taladro fresador y el torno industrial, siendo estos los equipos a considerar el diseño del plan de mantenimiento ya que detienen la operación por mas de 8 horas, no se posee un equipo que cumpla de manera similar la función y se debe de parar los procesos hasta que sean reparados.

Para finalizar se establece un plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad, debido a que en Metalmecánicas no se tiene un plan de mantenimiento estructurado y programado, y por la anterior razón se estableció frecuencias de mantenimientos hechos para cada uno de los equipos críticos, que permita llevar el control de los equipos, manteniéndolos en un nivel de disponibilidad bastante alto a la hora en que se necesiten para algún proceso productivo. Así pues, para el torno se diseñaron 14 actividades de mantenimiento, algunas de ellas se realizan anualmente, otras semanal, otras diarias y muchas al mes; así mismo, para la roscadora de tubo se diseñaron 7 actividades de mantenimiento, considerando una por cada pieza del equipo (interruptor de encendido, estructura de trabajo, rodamientos, embobinado, carcasa, motor) y una para la lubricación general; para el taladro fresador se diseñaron 12 actividades (una por cada parte), y 7 actividades para el mantenimiento preventivo de la dobladora. También el plan cuenta con formatos de control e indicador de gestión de mantenimiento, con el fin compartir el plan de mantenimiento diseñado con las altas directrices de Metalmecánicas para que la validen y la adapten a sus necesidades.

### **Recomendaciones**

La gerencia de Metalmecánicas es necesario que destine los recursos necesarios para adecuar el inventario de herramientas que permitan realizar las acciones propuestas en el plan de mantenimiento preventivo RCM.

También, debido a la antigüedad de varios equipos, la empresa debe estudiar la posibilidad de adquirir nuevos equipos, lo cual sería un aumento de costos imprevistos en la organización, pero se reflejaba en la disminución del pago de mantenimientos correctivos.

Así mismo, es prudente realizar una revisión de la existencia y estado de elementos de protección personal necesarios para realizar con seguridad las actividades de mantenimiento preventivo diseñadas; además, tomar las acciones necesarias que les permitan a los empleados contar con dichos elementos.

Además, para socializar el plan de mantenimiento preventivo RCM es necesario que la gerencia de la empresa de astillería Metalmecánicas realice capacitaciones que también les permita tener conocimientos para adelantar mantenimientos, así mismo de cómo consultar y seguir instrucciones de manuales.

### Lista de referencias

- Acosta, J. A. (2022). *Entrevista al gerente de Metalmecánicas*. San José del Guaviare.
- AEC. (s.f.) *Conocimiento avería*
- Aguirre, A. y Bravo, D. A. (2015). *Diseño y propuesta para la implementación de un plan de mantenimiento basado en la metodología de RCM para la planta de asfalto de Conalvias Equipos ubicada en la regional de Plato Magdalena*. [Tesis de especialista, Universidad Industrial de Santander]. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2015/160136.pdf>
- Alderete, E., Vega, W. A., Kolody, B., & Aguilar-Gaxiola, S. (2000). *Lifetime prevalence of and risk factors for psychiatric disorders among Mexican migrant farmworkers in California*. *American Journal of Public Health*, 90, 608 – 614.
- Amaral, F. D. (2016). *Gestão da Manutenção na Indústria*. Lisboa; LIDEL.
- Anaguano, R. A. (2018). *Modelo de un plan de mantenimiento basado en procesos para el área de Preparación Hilatura*. [Tesis de maestría, Universidad Andina Simón Bolívar]. <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/6344/1/T2690-MBA-Anaguano-Modelo.pdf>
- Ángel Gasca, Olaya Vargas (2014) *Mantenimiento preventivo para la empresa Agroangel*. [Tesis de grado, Universidad tecnológica de Pereira] <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/4620/6200046A581.pdf;jsessionid=4D6166D70039A33BE87961CF15DD8D3B?sequence=1>
- Augen, J. (2004). *Bioinformatics in the post-genomic era: Genome, transcriptome, proteome, and information-based medicine*. Addison-Wesley Professional.
- Blankenberg, D., Kuster, G. V., Coraor, N., Ananda, G., Lazarus, R., Mangan, M. & Taylor, J. (2010). *Galaxy: a web-based genome analysis tool for experimentalists*. *Current protocols in molecular biology*, 19-10.

- Bernal Torres (2006) *Metodología de la investigación: para la administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. Ciudad de México
- Bolger, A., & Giorgi, F. (2003) *Trimmomatic: A Flexible Read Trimming Tool for Illumina NGS Data*. URL <http://www.usadellab.org/cms/index.php>.
- Buelvas Diaz, C., Martínez Figueroa, K. (2021). *Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa L & L* [Tesis de grado, Universidad autónoma del Caribe]  
<http://repositorio.uac.edu.co/bitstream/handle/11619/813/TMEC%201144.pdf?sequence=1>.
- Canfield, R. V. (1986). *Cost optimization of periodic preventive maintenance*. *IEEE Transactions on Reliability*, 35:78-81.
- Campos-López, O., Tolentino-Eslava, G., Toledo-Velázquez, M. y Tolentino-Eslava, R. (2019). *Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos*. *Científica*, 23(1): 51-59.
- Cansino, E. A. & Lucero, D. W. (2015). *Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo y seguridad industrial para la fábrica Minerosa*. [Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10469/1/CD-6192.pdf>
- Cantoral, H. A. R. (2009). *Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para la industria de Café Quetzal*. [Tesis de grado, Universidad San Carlos de Guatemala].  
[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0579\\_M.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0579_M.pdf).
- Cuesta Lora, J. J. & Gonzalez, A. G. (2006). *Diseño y desarrollo del plan de mantenimiento preventivo de los equipos críticos de la división de mecánica de cotecmar planta Mamonal*. [Tesis de grado, Universidad tecnológica de Bolívar].  
<https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0036045.pdf>

Duffuaa, S., Raouf, A. & Dixon Campbell, J. (2000). *Maintenance system. Planning and control*.

Espín, H. y Cabrera, A. (2018). *Análisis de Criticidad y AMEF para Gestión de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad*. Artículo de proyecto de investigación. <https://redi.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/59355/1/ESPIN%20BARAHONA%20HUGO%20ISRAEL%20-%202018.pdf>

Giardine, B., Riemer, C., Hardison, R. C., Burhans, R., Elnitski, L., Shah, P. & Nekrutenko, A. (2005). *Galaxy: a platform for interactive large-scale genome analysis*. *Genome research*, 15(10), 1451-1455.

Gomez, C. A. (2019) *Modelo de un plan de mantenimiento preventivo bajo la norma ISO 14224 para moto-generadores diesel de la empresa Confipetrol S.A.S*. [Tesis de grado, Universidad Santo Tomas]. <http://hdl.handle.net/11634/20688>

González, L. V. (2017). *Plan de mantenimiento de un taller de navantia basado en el mantenimiento centrado en la fiabilidad con el criterio de calidad*. [Tesis de grado, Universidad de Vigo]. <http://calderon.cud.uvigo.es:8080/bitstream/handle/123456789/187/GonzalezMartinez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Guzmán, J. L. (2016). *Propuesta de mantenimiento preventivo y planificado para la línea de producción en la empresa la tercer S.A.C. Mogrovejo*: Universidad Católica Santo Toribio.

Harwood, A. (1981). *Ethnicity and medical care*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Hernández-Sampieri, R. Fernández, C. y Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mc Graw Hill Education.

Ibáñez, C. M. (2020). *Sobre el uso de los conceptos de ciclo de vida e historia de vida en ecología y evolución*. *Gayana (Concepción)*, 84(2), 93-100. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-65382020000200093>

Infomed instituciones (s.f.) *Metodologia de investigación*.  
<https://instituciones.sld.cu/ihi/metodologia-de-la-investigacion/>

Lazecký, D., Král, V., Rusek, S. y Goño, R. (2017, May). *Software solution design for application of reliability centered maintenance in preventive maintenance plan*. In *2017 18th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE)* (pp. 1-4). IEEE.

Lee, M., Morrison, J. R. y Kalir, A. A. (2020). *Practical queueing models for preventive maintenance plan optimization: Multiple maintenance types and numerical studies*. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 34(1), 104-114.  
<https://doi.org/10.1109/TSM.2020.3041789>

Lin, D., Zuo, M. J. y Yam, R. C. M. (2000). *General sequential imperfect preventive maintenance models*. *International Journal of Reliability Quality and Safety Engineering*, 7:253-266.

Lin, D. y Yam, R. C. M. (2001). *Sequential imperfect preventive maintenance models with two categories of failure Modes*. *Naval Research Logistics*, 48:172-182.

Lombana, M. F. y Zárate, B. J. (2018). *Mejora del plan de mantenimiento preventivo de los equipos críticos de la línea de producción 1 de la empresa Cotecmar mediante la metodología RCM*. [Tesis de grado, Universidad de Cartagena].

- Madasse, A. (2019). *Aplicación de la metodología RCM en motores de propulsión marina*. [Tesis de maestría, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánicas].
- Martinez, O. J. (1994). *Border people: Life and society in the U. S.–Mexico borderlands*. Tucson: University of Arizona Press.
- Medina M, R. (2013). *Políticas públicas en salud y su impacto en el seguro popular en Culiacán, Sinaloa, México*
- Montilla. C. A. (2019) *Mantenimiento industrial y su administración*. Editorial Universidad Tecnológica de Pereira. <https://core.ac.uk/download/pdf/288157713.pdf>
- Monje, C. A. (2011) *Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa*. Universidad Surcolombiana <https://www.uv.mx/rmipe/files/2017/02/Guia-didactica-metodologia-de-la-investigacion.pdf>
- Mora, E. (1999). *Mantenimiento productivo total*. [http://electrosertec.com/img/cms/TPM\\_Mantenimiento\\_Productivo\\_Total.pdf](http://electrosertec.com/img/cms/TPM_Mantenimiento_Productivo_Total.pdf)
- Morales, C. L. (2019). *Desarrollar un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria de la empresa Imprenta “Morales” de la ciudad de Ambato*. [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato].
- Nakagawa T. (1986). *Periodic and sequential preventive maintenance policies*. Journal of Applied Probability, 23:536-542.
- Olarte, W., Botero, M. y Cañón A. (2010). *Benhur importancia del mantenimiento industrial dentro de los procesos de producción*. *Scientia Et Technica*, 16(44): 354-356.
- Palencia, O. G. (2006) *El mantenimiento general*. [Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia] <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/1297/1/RED-70.pdf>

Park, D. H., Jung, G. M. y Yum, J. K. (2000). *Cost minimization for periodic maintenance policy of a system subject to slow degradation. Reliability Engineering and System Safety*, 68:105-112.

Parra, C. y Crespo, A. (2012). Nota técnica 5: Métodos de Análisis de Criticidad y Jerarquización de Activos. En: Ingeman Eds. *Técnicas de Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicadas en el proceso de Gestión de Activos*.  
[https://www.researchgate.net/publication/342926771\\_Metodos\\_de\\_Analisis\\_de\\_Criticidad\\_y\\_Jerarquizacion\\_de\\_Activos](https://www.researchgate.net/publication/342926771_Metodos_de_Analisis_de_Criticidad_y_Jerarquizacion_de_Activos)

Peña Sánchez, A. (2017). *Diseño del plan de mantenimiento preventivo y correctivo para la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Muzo (Boyacá)*. [Tesis de grado, Universidad militar Nueva Granada].

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/16026/Pe%C3%B1aSanchezAndresCamilo2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Pérez Villafañe, D., & Hauser Jiménez, S. (2019). *Diseño de un plan de mantenimiento utilizando fundamentos del mantenimiento productivo total (TPM) para una empresa cafetera del norte del Valle del Cauca*. Zarzal: Universidad del Valle. [Tesis de grado, Universidad del Valle del Cauca]

<https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/18742/0602407.pdf?sequence=1#page=13&zoom=100,109,268>

Premier Tech (2020) *La importancia del mantenimiento preventivo*  
<https://www.ptchronos.com/es-lat/blog/la-importancia-del-mantenimiento-preventivo>

Ramirez, M. (1991). *Psychotherapy and counseling with minorities: A cognitive approach to individual and cultural differences*. New York: Pergamon Press.

Shin, I., Lim, T. J. y Lie, C.H. (1996). *Estimating parameters of intensity function and maintenance effect for repairable unit. Reliability Engineering and System Safety*, 54:1- 10.

Torres, J. B. (1998). *Masculinity and gender roles among Puerto Rican men: Machismo on the U.S. mainland. American Journal of Orthopsychiatry*, 68, 16 –26.

Urrego, J. S. (2017). *Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para equipos de la línea de perforación de la empresa Cimentaciones de Colombia LTDA*. [Tesis de grado, Universidad Santo Tomas].

Valtierra J., S. (2013). *Métodos de investigación mixto: un paradigma de investigación cuyo tiempo ha llegado*.

Wu, S. y Clements-Croome, D. (2005). *Preventive Maintenance Models with Random Maintenance Quality. Reliability Engineering and System Safety*, 90(1), 99-105.

<https://doi.org/10.1016/j.res.2005.03.012>.

Vega Acuña, A. Cespedes Blanco, C. (2017). *Implementación del mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de la maquinaria en la empresa Grúas América S.A.C*. [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo]

[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/1978/Vega\\_AAM.pdf?sequence=1&isAllowed](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/1978/Vega_AAM.pdf?sequence=1&isAllowed)

## Anexos

### Anexo 1

*Entrevista a las altas directrices de Metalmecánicas.*



Facultad de ingeniería industrial

Entrevista

Objetivo:

Diagnosticar las características de las averías las cuales se presentan en los equipos del proceso de construcción y reparación de Metalmecánicas con el fin de conocer la vida útil y su correcto funcionamiento.

Preguntas:

1. ¿Qué solución da la empresa cuando aparece una avería?
2. ¿Con que frecuencia aparecen estas averías?
3. ¿Quién o quiénes realizan el mantenimiento a los equipos?
4. ¿Conocer alguna norma de mantenimiento a la hora de realizar las acciones preventivas?
5. ¿Cuáles son los equipos que considera son los mas propensos a presentar una avería?
6. ¿Cuáles consideran que son las causas de aparición de las averías en los equipos?
7. ¿Qué acciones correctivas realizan cuando aparece una avería?

**Anexo 2**

*Encuesta a los operarios de Metalmecánicas.*



**PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA EMPRESA DE ASTILLERIA  
METLAMECANICAS**

**Encuesta a los operarios**

Por favor manifieste su nivel de acuerdo con los siguientes postulados, para ello tenga en cuenta que TD = Totalmente en desacuerdo, ED = En desacuerdo, NN = Ni en desacuerdo, Ni de acuerdo, DA = De acuerdo, y TA = Totalmente de Acuerdo.

<b>Postulados</b>	<b>TD</b>	<b>ED</b>	<b>NN</b>	<b>DA</b>	<b>TA</b>
1.Existe en astillería Metalmecánicas un organigrama dentro de la compañía que refleje las líneas de mando y de toma de decisiones a la hora de realizar el mantenimiento a los equipos					
2. Existe en la empresa un plan de mantenimiento ordenado?					
3. Cuenta con la capacitación adecuada para realizar el mantenimiento a los diferentes equipos que usted tiene a cargo en la empresa					
4. En astillería Metalmecánicas existe personal encargado del mantenimiento de los equipos					
5. Cuenta con las herramientas necesarias para realizar el mantenimiento a los equipos					
6. En la empresa existe un presupuesto establecido al mantenimiento de los equipos críticos					
7. Se cuenta con un plan estructurado para realizar mantenimiento					

8. Se cuenta con un stock de repuestos para los equipos en el almacén					
9. Existen equipos de protección personal idóneos para realizar el mantenimiento a los equipos críticos					
10. Cada uno de los equipos cuenta con la documentación histórica del mantenimiento					
11. Existe control sobre tiempos de paradas de los equipos y reporte de daños					
12. Se consultan y se siguen instrucciones de manuales para adelantar mantenimientos					
13. Conozco totalmente el funcionamiento del equipo operado o encargado					
14. Mantengo rutinas de limpieza diariamente en los equipos y maquinaria a mi cargo					

**Anexo 3**

*Fichas técnicas de los equipos de Metalmecánicas.*

<h1>FICHA TÉCNICA DE DOBLADORA</h1>			
<b>Realizado Por:</b>	Acosta - Florez	<b>Fecha:</b>	24 - 02 - 2022
<b>Equipo:</b>	Dobladora manual	<b>Ubicación</b>	Taller
		<b>Sección</b>	XXX
<b>Modelo</b>	WS 1.2 x 1300B	<b>Código</b>	109555
<b>Marca</b>	SJR Machinery		
<b>Características</b>			
<b>Peso</b>	290 kg	<b>Altura</b>	1850 mm
<b>Ancho</b>	800 mm	<b>Largo</b>	1350 mm
<b>Foto del equipo</b>			
			

# FICHA TÉCNICA DE TALADRO FRESADOR



<b>Realizado Por:</b>	Acosta - Florez	<b>Fecha:</b>	24 - 02 - 2022
<b>Equipo:</b>	Fresadora	<b>Ubicación:</b>	Taller
<b>Modelo:</b>	PBM-A15	<b>Código:</b>	XXX
<b>Marca:</b>	Machines Center		

## Características

<b>Peso:</b>	1280 kg	<b>Altura:</b>	1700 mm
<b>Ancho:</b>	1500 mm	<b>Largo:</b>	2100 mm

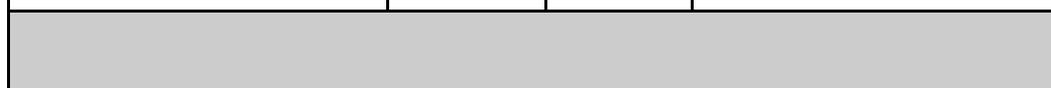
Foto del equipo



# FICHA TÉCNICA DE ROSCADORA DE TUBO



<b>Realizado Por:</b>	Acosta - Florez	<b>Fecha:</b>	24 - 02 - 2022
-----------------------	-----------------	---------------	----------------



Equipo:	Roscadora	Ubicación	Taller
		Sección	XXX
Modelo	Z1T -R2B	Código	XXX
Marca	LYC TOOLS		



## Características

Peso	450 KG	Altura	1300 mm
Ancho	450 mm	Largo	1100 mm



Foto del equipo



# FICHA TÉCNICA DE EQUIPO TORNO PARALELO



<b>Realizado Por:</b>	Acosta - Florez	<b>Fecha:</b>	24 - 02 - 2022
<b>Equipo:</b>	Fresadora	<b>Ubicación</b>	Taller
<b>Modelo</b>	3000	<b>Código</b>	SC1
<b>Marca</b>	CW6280B		
<b>Características</b>			
<b>Peso</b>	5500 kg	<b>Altura</b>	1550 mm
<b>Ancho</b>	1630 mm	<b>Largo</b>	1800 mm

Foto del equipo

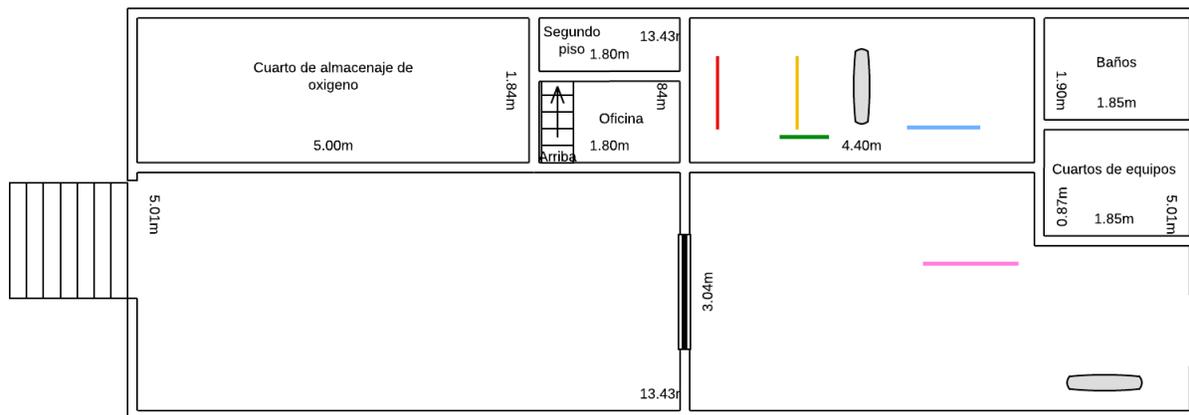


**Anexo 4**

*Distribución en planta del área operativa de la empresa Metalmecánicas.*

**Plano Metalmecánicas**

Daniel Medina | May 26, 2022



- ROJO: Torno
- AMARILLO: Dobladora
- VERDE: Fresadora
- Azul: Ranuradora + Roscadora
- Rosada: Cortadora

## Anexo 5

*Ficha tecnica elaborada como formato de seguimiento*

<b>FICHA TÉCNICA DE EQUIPO</b>					
<b>INFORMACION GENERAL</b>					
<b>Realizado Por:</b>	Acosta Beltrán		<b>Fecha:</b>	16 - 04 - 2022	
<b>Versión:</b>	2		<b>Código:</b>	MAN-0001	
<b>ESPECIFICACIONES</b>					
EQUIPO:					
SERVICIO:			CODIGO:		
FECHA DE ADQUISICIÓN:			FECHA DE ARRANQUE:		
PLANOS DE REFERENCIA:			CATALOGO:		
			FABRICANTE:		
TRABAJO CONTINUO _____ INTERMITENTE _____					
<b>CONDICIONES DE OPERACIÓN</b>					
MARCA:		MODELO:		SERIE:	
POTENCIA:		N° DE CILINDROS:		INYECCION:	
<b>ACCESORIOS DE LA MAQUINA</b>					
<b>MOTOR DE ARRANQUE</b>					
MARCA		MODELO		TIPO	
SERIE		VOLTAJE			
<b>GENERADOR</b>					
MARCA		MODELO		TIPO	
SERIE		VOLTAJE		AMPERAJE	
<b>BOMBA</b>					
MARCA		MODELO		SERIAL	
CAUDAL		BANDAS			

## Anexo 6

### Cuadro de actividades de mantenimiento

CUADRO ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO					
<b>Elaborado por:</b>		Acosta Beltrán	<b>Fecha:</b>	16 - 04 - 2022	
<b>Versión:</b>		1	<b>Cod:</b>	MAN-0002	
<b>Equipo:</b>					
Actividades de Lubricación					
Partes a Lubricar	Método	Lubricante	Frecuencia	Tiempo	Nota
Actividades Eléctricas					
Trabajos a Ejecutar			Frecuencia	Tiempo	Nota
Actividades Mecánicas					
Trabajos a Ejecutar			Frecuencia	Tiempo	Nota

**Anexo 7**  
Orden de trabajo

<b>ORDEN DE TRABAJO</b>				
<b>Realizado Por:</b>	Acosta Beltrán	<b>Fecha:</b>	16 - 04 - 2022	
<b>Versión:</b>	1	<b>Código:</b>	MAN-0003	
<b>ORDEN DE TRABAJO</b>				
<b>MANTENIMIENTO ORDEN DE TRABAJO N°</b>			<b>FECHA REQUERIDA</b>	
<b>EQUIPO</b>	<b>DESCRIPCION DEL EQUIPO</b>	<b>DIA: MES: AÑO: HORA:</b>		
			<b>EMERGENCIA</b>	
<b>SOLICITADA POR:</b>			<b>SI</b>	<b>NO</b>
<b>FECHA ELABORACION DE LA ORDEN: DIA: MES: AÑO: HORA:</b>				
<b>TRABAJO SOLICITADO:</b>				
<b>CAUSA</b>				
<b>ACCION TOMADA:</b>				
<b>CODIGO TRAB</b>	<b>EJECUTOR</b>	<b>FECHA</b>	<b>HRS. PROG.</b>	<b>HRS. REALES</b>
<b>OBSERVACIONES</b>				
<b>FECHA DE TERMINACIÓN</b>			<b>APROBO</b>	
<b>FIRMA JEFE DE MANTENIMIENTO</b>				



