

**Estudio Analítico de la Ejecución del Plan de Mantenimiento de la Alesadora CNC DN DBC110 utilizada en la reparación de Equipos Amarillos de la Empresa ABC localizada en la ciudad de Soledad.**



Vanessa Aurora Bello Lozano  
Euclides Rueda Quintero  
Mayo, 2023

Universidad Antonio Nariño  
Barranquilla.

**Estudio Analítico de la Ejecución del Plan de Mantenimiento de la Alesadora CNC DN DBC110 utilizada en la reparación de Equipos Amarillos de la Empresa ABC localizada en la ciudad de Soledad.**

Vanessa Aurora Bello Lozano  
Código 23582019061  
Euclides Rueda Quintero  
Código 235820122150  
Mayo, 2023

Universidad Antonio Nariño  
Barranquilla

**Notas del autor**

Vanessa Aurora Bello Lozano, Facultad de Ingeniería Industrial,  
Universidad Antonio Nariño, Barranquilla.

## NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

---

Cumple con los requisitos para optar al título de

---

---

Firma del Tutor

---

Firma Jurado

---

Firma Jurado

Puerto Colombia, Mayo 2023.

## Contenido

Pág.

|   |    |
|---|----|
| Resumen.....  | i  |
| Introducción .....  | 3  |
| Línea de Investigación .....  | 4  |
| 1. Definición del Problema .....  | 5  |
| 1.1. Antecedentes y Descripción del Problema .....  | 5  |
| 1.2. Formulación del problema .....   | 6  |
| 1.3. Objetivos .....  | 6  |
| 1.3.1. General .....  | 6  |
| 1.3.2. Específicos .....  | 6  |
| 1.4. Justificación .....  | 7  |
| 2. Marco Referencial.....   | 9  |
| 2.1. Antecedentes .....   | 9  |
| 2.2. Marco Teórico.....   | 13 |
| 2.2.1. Mantenimiento .....  | 15 |
| 2.2.2. Tipos de Mantenimiento .....   | 16 |
| 2.2.3. Mantenimiento Correctivo .....   | 14 |
| 2.2.4. Mantenimiento Preventivo.....  | 15 |
| 2.2.5. Análisis de Criticidad.....  | 18 |
| 2.2.6. Disponibilidad.....  | 18 |
| 2.2.7. Indicadores .....  | 24 |
| 2.2.8. Metodología AMEF .....   | 19 |
| 2.2.9. Alesadora CNC DN .....   | 26 |
| 2.3. Marco Conceptual .....   | 34 |
| 3. MARCO METODOLÓGICO.....  | 36 |
| 3.1. Tipo y Enfoques de Investigación.....  | 36 |
| 3.2. Recolección y Análisis de Datos.....   | 36 |
| 3.3. Fases y Actividades Metodológicas.....   | 36 |
| 3.3.1. Fase 1 .....   | 37 |
| 3.3.2. Fase 2 .....   | 37 |
| 3.3.3. Fase 3 .....   | 37 |
| 4. REVISIÓN DE RESULTADOS.....  | 39 |
| 4.1. Recopilar información sobre el proceso actual y secciones fundamentales de la Alesadora CNC DN DBC110 en la empresa ABC teniendo en cuenta informaciones de fuentes primarias, planes y registros de mantenimiento.. ..... | 39 |
| 4.1.1. Programa de Mantenimiento Actual .....   | 28 |
| 4.1.2. Estado Plan de Mantenimiento .....   | 31 |
| 4.1.3. Actividades de Mantenimiento .....   | 31 |
| 4.1.4. Procedimientos de Mantenimiento .....  | 32 |

|  |    |
|--|----|
| 4.2. Realizar una recopilación de la información para el diagnóstico que permita identificar fallas en los planes de mantenimiento de la Alesadora CNC DN DBC110.  | 42 |
| 4.2.1. Análisis de fallas .....  | 23 |
| 4.2.2. Sistema Hombre – Maquina.....   | 16 |
| 4.2.3. Herramientas para realizar análisis de falla en componentes mecánicos .....   | 48 |
| 4.3. Aplicación de la herramienta AMEF como base para la ejecución de un Estudio Analítico que proporcione estrategias que permitan mejorar la eficiencia de la ejecución del Plan de Mantenimiento de la Alesadora CNC DN DBC110..... | 47 |
| 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....  | 54 |
| 5.1. Conclusiones .....  | 54 |
| 5.2. Recomendaciones .....   | 54 |
| 6. Lista de Referencias .....  | 57 |

## Índice de Figuras

|   | Pág. |
|---|------|
| Ilustración 1 Evolución del Mantenimiento.....  | 14   |
| Ilustración 2 Evolución de TPM y otras tácticas .....                                 | 16   |
| Ilustración 3 Representación esquemática del sistema hombre – máquina .....           | 17   |
| Ilustración 4 Cómo calcular tu productividad OEE .....                                | 19   |
| Ilustración 5 Los siete pasos según el AMEF.....                                      | 20   |
| Ilustración 6 Los tres AMEF más comunes.....  | 20   |
| Ilustración 7 Aplicaciones del AMEF.....  | 20   |
| Ilustración 8 Tabla de Severidad AMEF .....   | 21   |
| Ilustración 9 Tabla de Ocurrencia AMEF.....   | 22   |
| Ilustración 10 Tabla de Detección AMEF .....  | 23   |
| Ilustración 11 Estructura sistémica, organizacional y funcional de mantenimiento..... | 25   |
| Ilustración 12 Comparación de los tipos de Mantenimiento .....                        | 26   |
| Ilustración 13 Alesadora CNC DN .....   | 27   |
| Ilustración 14 Características de la Alesadora CNC DN .....                           | 27   |
| Ilustración 19 Curva de la bañera. ....   | 33   |
| Ilustración 20 Curva de Bañera Convencional. ....                                     | 33   |
| Ilustración 15 Formato Chequeo Alesadora CNC .....                                    | 43   |

## Índice de Tablas

|   | Pág. |
|---|------|
| Tabla 1 Programa de Mantenimiento Actual Alesadora CNC DN DBC110.....     | 29   |
| Tabla 2 Total Parámetros de Inspección. ....                              | 44   |
| Tabla 3 Tabla General de Datos.....                                       | 45   |
| Tabla 4 Total porcentual de los Parámetros de Inspección.....             | 45   |
| Tabla 5 Tabla AMEF Criterio: Severidad de Efecto Definido (Proceso). .... | 48   |
| Tabla 6 Tabla AMEF Ocurrencia: Probabilidad de que pase. ....             | 49   |
| Tabla 7 Tabla AMEF Oportunidad de Detección. ....                         | 49   |
| Tabla 8 Tabla AMEF Resultado de las Acciones .....                        | 51   |
| Tabla 9 Comparativo de NPR .....  | 52   |
| Tabla 10 Porcentaje Estratégico de Disminución del NPR .....              | 53   |

*(Dedicatoria)*

*A mi Dios, por darme la fuerza de seguir adelante en los momentos más difíciles.*

*A mi esposo y mi familia por el apoyo en todo momento cuando más lo necesite, me impulsaban a continuar con su amor y su paciencia.*

*Vanessa Aurora Bello Lozano*

*A todos mis seres queridos los cuales me apoyaron incondicionalmente, su apoyo en las noches duras que me tocaron, cada vez que me sentía cansado ahí estaban dándome ánimos para continuar.*

*Euclides Rueda Quintero*

## *Agradecimientos*

*Quiero agradecer a todos los profesores que colocaron su granito de arena apoyándome a lo largo de mi carrera, los cuales me hicieron ver que la UAN es mi segundo hogar, ahí con la contribución de muchos pude realizar mi sueño.*

*Vanessa Aurora Bello Lozano*

*Quiero agradecer como primera media al cuerpo docente de la Universidad Antonio Nariño, con su entusiasmo, dedicación y anécdotas pudieron hacer que este sueño se volviera un hecho. Gracias a todas las personas que me aportaron a empujarme a continuar sin descanso.*

*Euclides Rueda Quintero*

## **Resumen**

Como primera media en el primer objetivo al recopilar la información sobre el proceso actual y secciones fundamentales de la Alesadora CNC DN DBC110, se tuvo en cuenta la información de fuentes primarias, planes y registros de mantenimiento, dando claridad al enfoque de la investigación. Sin embargo, al continuar con segundo objetivo nos llevó a realizar un diagnóstico permitiendo identificar fallas en su plan de mantenimiento, gracias a la información recolectada, se logró verificar con la lista de chequeo los Parámetros de Inspección durante unos 103 días se encontraban fallando.

Por otro lado, al ejecutar el desarrollo del tercer objetivo, al momento de crearlo con apoyo de Microsoft Excel la herramienta AMEF donde se separó por tipo, esto permitió realizar el análisis de la información, además de la creación de estrategias para el mejoramiento o creación de un nuevo plan de mantenimiento para la Alesadora CNC DN DBC110.

Palabras clave: Confiabilidad, Fallas de Mantenimiento, Metodología AMEF, Planes de Mantenimiento.

## Abstract

As a first half in the first objective when collecting information about the current process and fundamental sections of the DN DBC110 CNC Boring Machine, information from primary sources, plans and maintenance records were taken into account, giving clarity to the research approach. However, by continuing with the second objective, it led us to carry out a diagnosis allowing to identify failures in its maintenance plan, thanks to the information collected, it was possible to verify with the checklist the Inspection Parameters for about 103 days they were failing.

On the other hand, when executing the development of the third objective, when creating it with the support of Microsoft Excel, the FMEA tool where it was separated by type, this allowed the analysis of the information, in addition to the creation of strategies for the improvement or creation of a new maintenance plan for the DN DBC110 CNC Boring Machine.

**Keywords:** Reliability, Maintenance Failures, AMEF Methodology, Maintenance Plans. Reliability, Maintenance Failures, AMEF Methodology, Maintenance Plans.

## **Introducción**

En toda industria la existencia del mantenimiento prevalece y enmarca la productividad de la misma, sin embargo, el cuidado de los equipos es crucial para soportar tal dura tarea; de tal manera que el impacto del mantenimiento sobre la empresa ABC al equipo Alesadora CNC DN DBC110 si no es realizado con efectividad y confiabilidad, afectaría la razón de ser de la misma. Ella se dedica a la fabricación de piezas complejas apoya los procesos de las industrias aeronáutica o componentes de maquinaria especiales. La competitividad día a día que enfrentan las empresas en el mercado su principal afectación se enfoca en la disminución de la productividad por problemas internos en la manutención del equipo.

Con su enfoque de estudio mixto, Se permitió una orientación, desde lo general hacia lo particular; desde el punto de vista cualitativo se enfocó en las descripciones que se tienen de los fallos y exploratoria, por ser una investigación neta de campo y el lugar es donde se encuentra el equipo. Todo esto nos llevó a la ejecución de los objetivos en el diagnóstico e identificación de las fallas bajo la herramienta AMEF. Lo anterior hizo posible realizar un análisis y proponer la actualización del plan de mantenimiento del equipo.

## **Línea de Investigación**

Gestión de la Productividad, la Competitividad y la Innovación.

# 1. Definición del Problema

## 1.1. Antecedentes y Descripción del Problema

Teniendo en cuenta el impacto que tiene el mantenimiento sobre la empresa ABC al equipo Alesadora CNC DN DBC110 si no es realizado con efectividad y confiabilidad, puede este afectar la productividad de la misma, llamado también mandrilado cuya operación trabaja cambiando dentro de un agujero su dimensión a piezas metálicas, es utilizada para laborar bajo exigencias y precisión; su esquema presenta una innovación mecánica y electrónica. Por su tiempo de trabajo ese debe poseer un plan de mantenimiento robusto, ya que su utilización son más de 12 horas diarias. Por ende, dentro de los principios básicos operativos del equipo es necesario programar rutinas de mantenimiento o mejorar el que se encuentra previniendo detenciones del equipo a futuro.

Sin embargo, el equipo al ser parte de la familia industrial está encaminado al incremento de la productividad, y de gran impacto cuando esta esta Down ya que su fabricación de piezas complejas apoya los procesos de las industrias aeronáutica o componentes de maquinaria especiales. Adicionalmente si en algunas empresas que manejan maquinaria de equipo amarillo no cuentan con un buen sistema basados en procesos para la fabricación o reconstrucción de sus piezas, su impacto provocaría un caos dentro de esta, afectando el todo el tema de la productividad.

Hoy en día hay maquinarias como el CNC que presentan grandes oportunidades a las empresas que las manejan, contemplando que al ser capaces de innovar y seguirle el paso a la evolución tecnológica, reciben un beneficio de forma casi inmediata. Así mismo, es visible su adaptabilidad a esos cambios, teniendo en cuenta que estas se adapten y se modernicen a un nivel más alto y tecnológico, optimizando sus procesos mejorando su capacidad de respuesta y su rentabilidad. Basados en la anterior información se debe tener en cuenta que la empresa ABC no posee estandarizado sus procedimientos en

mantenimiento aplicado al equipo Alesadora CNC DN DBC110, en los últimos años se viene presentando fallas por el tiempo de utilización, y dicha información no está debidamente documentada y conservada, para toma de decisiones sobre el equipo.

## **1.2. Formulación del problema**

Teniendo en cuenta todo lo desarrollado en los antecedentes para poder llegar a ese análisis debemos documentar bien como son los actuales procesos de los planes de mantenimiento utilizados a Equipos Alesadora CNC DN DBC110 en la Empresa ABC. Por lo tanto, se debe responder la siguiente interrogante:

¿El estudio analítico propuesto en el presente proyecto de grado proporciona estrategias que permitan mejorar la eficiencia de la ejecución del Plan de Mantenimiento de la Alesadora CNC DN DBC110 utilizada en la reparación de Equipos Amarillos de la Empresa ABC localizada en la ciudad de Soledad?

## **1.3. Objetivos**

General

Desarrollar un estudio Analítico de la Ejecución del Plan de Mantenimiento de la Alesadora CNC DN DBC110 utilizada en la reparación de Equipos Amarillos de la Empresa ABC localizada en la ciudad de Soledad para mejorar la eficiencia del plan de mantenimiento.

Específicos

Recopilar información sobre el proceso actual y secciones fundamentales de la Alesadora CNC DN DBC110 en la empresa ABC teniendo en cuenta informaciones de fuentes primarias, planes y registros de mantenimiento.

Realizar una recopilación de información para el diagnóstico que permita identificar fallas en los planes de mantenimiento de la Alesadora CNC DN DBC110.

Aplicar la herramienta AMEF para el diseño de un estudio analítico dirigido a mejorar la eficiencia de la ejecución del Plan de Mantenimiento de la Alesadora CNC DN DBC110 utilizada en la reparación de Equipos Amarillos de la Empresa ABC localizada en la ciudad de Soledad.

#### **1.4. Justificación**

Si bien es cierto, el éxito que hoy en día tienen las empresas depende fundamentalmente del mantenimiento que realizan a los equipos, la forma correcta de poder desarrollarlo que demuestran primero la calidad que la cantidad, exponiendo que no solo es el conocimiento o la experiencia, si no las estrategias que van evolucionando a medida que todo avanza dándole una permanencia en el mercado. Basados en lo anterior y conociendo que este tipo de maquinaria las Alesadora CNC DN DBC sirven para poder disminuir tiempos y costos en la adquisición de ciertos componentes que utilizan equipos para no quedarse Down, por ende, la importancia que se debe tener cuando se implementa planes de mantenimiento.

Sin embargo, para apoyar este control dentro de las actividades de mantenimiento debemos usar herramientas ofimáticas las cuales apoyan e impulsan a la empresa ABC, a estar actualizada y tomar decisiones bajo su modelo actual e impactando su cultura de una forma integral, con cambios para que pueda ser óptima. La importancia de esta investigación para la Universidad Antonio Nariño radica en que trata el tema “Estudio Analítico de la Ejecución del Plan de Mantenimiento de la Alesadora CNC DN DBC110

utilizada en la reparación de Equipos Amarillos”, donde esa se enmarca en la línea de investigación de innovación y mejoramiento a la competitividad empresarial de la empresa ABC. Además, dicho trabajo servirá como apoyo a nuevas investigaciones o ponencias con respecto al tema.

## 2. Marco Referencial

Antes de estudiar lo referente a la investigación debemos conocer un poco de su historia, basado en otras investigaciones las cuales nos servirán como base soportando la actual. Dentro de este capítulo encontraremos antecedentes, marco teórico y conceptual.

### 2.1. Antecedentes

Dentro de este apartado se plasman estudios se plasman estudios que soportan la necesidad de desarrollo de técnicas de gestión de mantenimiento y de la competitividad para el aumento de la eficiencia de las organizaciones, haciendo participe información de distintos investigadores a nivel internacional, nacional, regional y local.

#### Antecedentes internacionales

Cabe resaltar que la publicación de la Universidad del Zulia donde sus investigadores manifiestan que las *“empresas manufactureras se enfrentan cada día a un panorama altamente competitivo en el cual la innovación constituye un factor esencial hacia la consolidación de sus planes en el mercado, su productividad, eficiencia y prosperidad”* (Navarro & Hernández, 2020). Dicho panorama hace que estas empresas para ser más competitivas tengan que estar a la vanguardia de lo que exige el mercado.

De acuerdo con la publicación de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez donde su investigador manifiesta que *“la industria de manufactura se ha caracterizado por la temprana adopción de tecnologías que le permiten obtener mejoras en términos de productividad y reducción de costos”* (Arriola, 2022). Hace referencia a las investigaciones que ellas han realizado, buscando sostenerse y mantener su nicho de mercado, que a un futuro ellas a mediano plazo deberían tener un mejor control de sus procesos con la nueva tecnología que han adoptado.

Al respecto, dentro de la investigación presentada por la Universidad Continental, donde su investigador manifiesta que *“el objetivo del gerenciamiento de las actividades de mantenimiento engloba todas las acciones, medidas y administración de recursos, tendientes a mejorar, conservar y restaurar la función específica (fiabilidad) de los activos”* (Santos, 2022). Demostrando que las acciones que tome mantenimiento en s área impacten directamente a la empresa.

Además, basados en la publicación de la Universidad Continental, donde su investigador expresa que un *“plan de mantenimiento determinado es la base fundamental para la ejecución de las actividades de mantenimiento en cualquier equipo, estas pueden desarrollarse de acuerdo a las nuevas experiencias adquiridas”* (Pachao, 2022). Se debe tener en cuenta todo los factores que puedan influir en el equipo, para poder realizar dicho mantenimiento a la perfección.

#### Antecedentes nacionales

Basados en la investigación publicada por la Universidad EAFIT donde su investigador expresa que *“sigue existiendo una estructura y tradición productiva que permite crear a una industria moderna, es posible mediante el apalancamiento que ofrece la tecnología”* (Ramírez, 2020). Sabiendo que hoy en día las empresas para la agilidad y rapidez que crece el mercado, deben buscar la forma de seguirle sus pasos, por ende las transacciones digitales son las que pueden cumplir en parte ese requerimiento.

Sin embargo, la publicación realizada por la Universidad Católica de Colombia donde su investigador manifiesta que *“la cuarta revolución industrial ha generado grandes beneficios en diferentes sectores de la industria. Uno de ellos es en el sector manufacturero debido a que la implementación de las nuevas tecnologías, ha impactado en la optimización de los procesos”* (Pacheco, 2020). Teniendo en cuenta que esos procesos han madurado con el nuevo ingreso tecnológico al mercado, sabiendo que este ha

demostrado en gran parte la seguridad y confianza que las empresas necesitan en el momento de realizar algún movimiento.

Cabe resaltar que la Universidad Tecnológica de Antioquia en su publicación sus investigadores hacen referencia a que *“la industria 4.0 permite integrar procesos y áreas en una organización, influyendo hacia la transformación digital del sistema productivo de las empresas, y de esta forma generar valor para ser más competitivos en el mercado”* (León & Prieto, 2021). Ese valor hace referencia a que el mercado busca a las empresas que puedan ofrecerle una buena calidad a un mejor costo, dentro de un tiempo record, por ende la competitividad de estas empresas se basa en la astucia al momento de negociar dichos términos y enamorar a ese cliente potencial.

De igual manera, la publicación que realiza la Universidad Tecnológica de Santander donde sus investigadores expresan que con *“la implementación de herramientas tecnológicas avanzadas, beneficia la producción en las fábricas, gracias al nuevo modelo de organización y de control de la cadena de valor a través del ciclo de vida del producto y de los sistemas de fabricación”* (García & Arias, 2021). Siendo estos los más importantes dentro de la empresa, siguiéndolo las áreas de recursos humanos y financieros; el primero por el apoyo que brinda en el momento de estar involucrados directamente en el proceso y el segundo al momento de desarrollar los movimientos necesarios para poder gestionar los recursos para la prestación del servicio o la construcción de un producto.

Otra forma de contribuir es con la publicación de la Universidad Militar Nueva Granada donde su investigador expresa que al *“promover el uso de nuevas tecnologías disruptivas, que faciliten el avance y desarrollo tecnológico, sobre la visión de la producción industrial del futuro”* (Ruiz, 2021). Mostrarían que dicha empresa ha tenido un avance tecnológico, gracias a la implementación de nuevas herramientas en distintas áreas de esta.

Antecedentes regionales

Además de la publicación realizada por la Universidad Santo Tomas donde su investigador expresa que *“con la implementación de esta nueva industria las empresas ofrecen una nueva oferta de valor a sus clientes, se fundamenta en la innovación y marketing en el desarrollo de las compañías de bienes y servicios en el mundo digital”* (Pico, 2021). Con estas nuevas estrategias reforzando las áreas antes mencionadas, las empresas pueden ampliar su nicho de mercado, es decir, no habría barreras cuando estas se sumergen en el mundo tecnológico desafiando el mañana.

Por otra parte, publicación de la Universidad Libre donde sus investigadores comentan que plan de Mantenimiento *“adecuado brinde con el desarrollo de herramientas necesarias para la manipulación y adecuación de las maquinas al proceso, al igual que las acciones de mantenimiento Preventivo y Predictivo, garantizando la disponibilidad de los equipos, evitando fallas críticas”* (López & Perea, 2019). De esta forma al llevar un control de las acciones de cada equipo podemos enfocarnos en una cultura organizacional de buenas prácticas en el mantenimiento.

De igual manera, la publicación de la Universidad Libre donde sus investigadores manifiestan que para cambiar *“el paradigma de realizarle intervenciones a los activos físicos de una empresa solo cuando este deja de cumplir su estándar de función principal, se da la necesidad de iniciar con una filosofía de mantenimiento basado en la prevención de fallas”* (Rodriguez & Moreno, 2021). Esto nos lleva a que el mantenimiento debe evolucionar cada día con las necesidades de la empresa demande.

Otra forma de contribuir, es el aporte que realiza el investigador dentro de la publicación de la Universidad Libre donde comenta que *“desde el inicio de la industrialización se ha concebido el mantenimiento como parte esencial en el buen desempeño de las maquinas; con los avances tecnológicos han surgidos distintas maneras de gestionar las actividades destinadas a esto”* (Rocha, 2018). Por ello se debe tener en cuenta que cada máquina tiene un cuidado especial.

## Antecedentes locales

De acuerdo con la publicación de la Universidad donde sus investigadores expresan que para un buen mantenimiento se debe tener en cuenta que *“un diagnóstico pone en contexto la situación actual del área de mantenimiento e identifica las oportunidades de mejora; un análisis de información, con el cual se evalúa el área de mantenimiento y se establecen los aspectos a mejorar”* (Lozano & Ortiz, 2022). Siempre se deben realizar diagnósticos rutinarios para identificar nuevas oportunidades.

Según el estudio publicado por la Universidad donde sus investigadores expresan que *“los sistemas de gestión de mantenimiento son ampliamente implementados en el sector industrial con el fin del sostenimiento de cada elemento de máquina de lo cual permite garantizar la continuidad de la actividad operativa al reducir los índices de fallas”* (Pretel & Pérez, 2022). Esto nos da una idea de la importancia que tiene el realizar un buen mantenimiento.

De igual manera, la publicación de la Universidad Antonio Nariño donde sus investigadores manifiestan que *“con el desarrollo de esta metodología de Confiabilidad se busca fortalecer el Plan de Mantenimiento Preventivo existente”* (Fren & Howard, 2022). Con esta metodología podemos dar fe de un buen mantenimiento.

## **2.2.Marco Teórico**

Dentro de este punto se coloca información recopilada de diferentes fuentes como libros, revistas, documentos como referencias de las teorías y herramientas aplicables al desarrollo del proyecto.

### Niveles de Mantenimiento Industrial

Los niveles de mantenimiento empresarial se enfocan en cuatro fundamentales: “*Mantenimiento correctivo, Mantenimiento predictivo, Mantenimiento preventivo, Mantenimiento Productivo Total (TPM)*” (Kalpakjian & Schmid, 2008). Basados en estos, se debe tener en cuenta, algo que llamamos confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, dentro de la operatividad del equipo su parte táctica y estratégica. Permitiendo a las organizaciones tener más de un tipo de mantenimiento, como estrategia que le permita a esta un mejoramiento continuo, bajo un solo lenguaje.

Ilustración 1 Evolución del Mantenimiento

| Etapa | Sucede aproximadamente | Producción - Manufactura  |                                   | Mantenimiento e ingeniería de fábricas |   |
|-------|------------------------|---|-----------------------------------|--|---|
|       |                        | Orientación hacia...  | Necesidad específica              | Orientación hacia...                   | Objetivo que pretende                                 |
| I     | antes de 1950          | el producto   | generar el producto               | hacer acciones correctivas             | reparar fallos imprevistos                            |
| II    | entre 1950 y 1959      | la producción   | estructurar un sistema productivo | aplicar acciones planeadas             | prevenir, predecir y reparar fallos                   |
| III   | entre 1960 y 1980      | la productividad  | optimizar la producción           | establecer tácticas de mantenimiento   | gestar y operar bajo un sistema organizado            |
| IV    | entre 1981 y 1995      | la competitividad   | mejorar índices mundiales         | implementar una estrategia             | medir costos, CMD, compararse, predecir índices, etc. |
| V     | entre 1996 y 2003      | la innovación tecnológica   |                                   |  |   |
| VI    | desde 2004             | Gestión y operación integral de activos en forma coordinada entre ambas dependencias anticiparse a las necesidades de los equipos y de los clientes de mantenimientos - Predicciones - Pronósticos - Gestión de activos |                                   |  |   |

Fuente 1 (Mora, 2009).

### Mantenimiento Correctivo

En cuanto a este tipo de mantenimiento, “*comprende un grupo de tareas de índole técnica cuyo propósito es corregir los fallos que sobrevienen en el funcionamiento de la maquinaria*” (Mora, 2009). Dentro del contexto integral del mismo, el cual permite que se cree un manejo entre el concepto y su enfoque para encontrar el equilibrio perfecto, de la situación presentada.

### Mantenimiento Preventivo

Cabe exponer que el mantenimiento preventivo *“es el acto de realizar actividades de mantenimiento programadas regularmente para ayudar a prevenir posibles fallos en el futuro”* (Díaz, 2021). Donde este se enfoca a la sostenibilidad de la función principal del equipo, conservándolo en buenas condiciones a través del tiempo.

### Mantenimiento Productivo Total

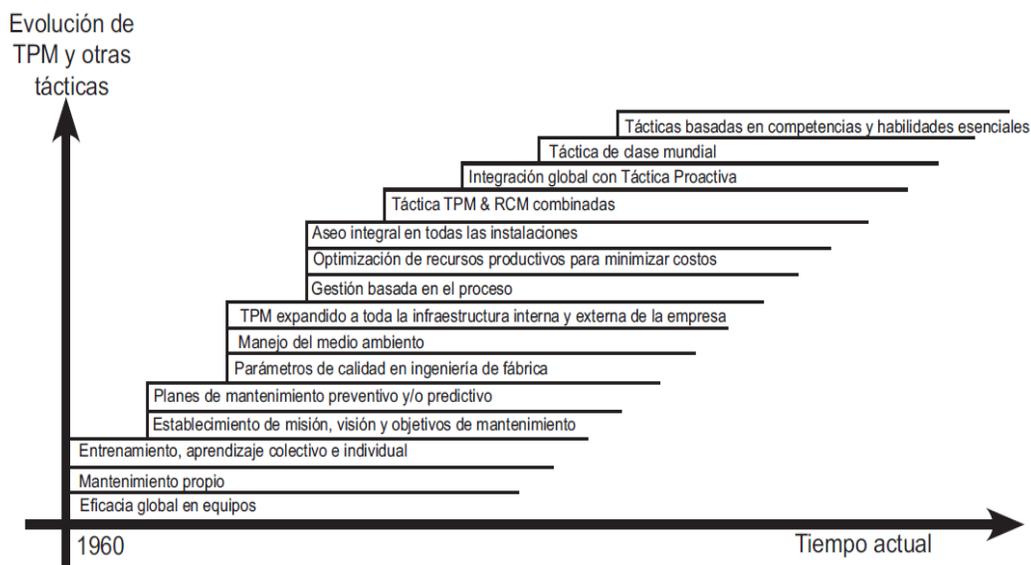
Para explicar el funcionamiento del TPM, es importante tener en cuenta que el mantenimiento busca *“el cumplimiento de normas y técnicas establecidas para la conservación de la maquinaria e instalaciones de una planta industrial, para que proporcione mejor rendimiento en el mayor tiempo posible”* (Mora, 2009).

A través de la historia el TPM se ha vuelto más fuerte, siendo este indispensable en el ámbito profesional, específicamente en el área de mantenimiento y producción. Sin este sería difícil para las empresas poder competir, gracias a las decisiones que se toman por causa de su intervención, porque permite entender desde un enfoque diferente los equipos, pudiendo así por medio de este controlar la productividad explotándola al máximo.

Cabe resaltar que este tipo de mantenimiento *“es un sistema de mejora continua, que se centra en el mantenimiento y funcionamiento de los equipos. El TPM se basa en la idea de que todos los empleados deben participar en el mantenimiento de su propio entorno de trabajo”* (Mora, 2009). Por cada equipo se deben crear rutas donde se dan prioridades a puntos estratégicos los cuales se han identificado a través de los años, para la recolecta de la información, análisis y evaluación del sistema como tal. Ante esto la organización ha

alcanzado un grado de excelencia y madurez, adoptando una postura organizada y estructurada en su crecimiento.

Ilustración 2 Evolución de TPM y otras tácticas

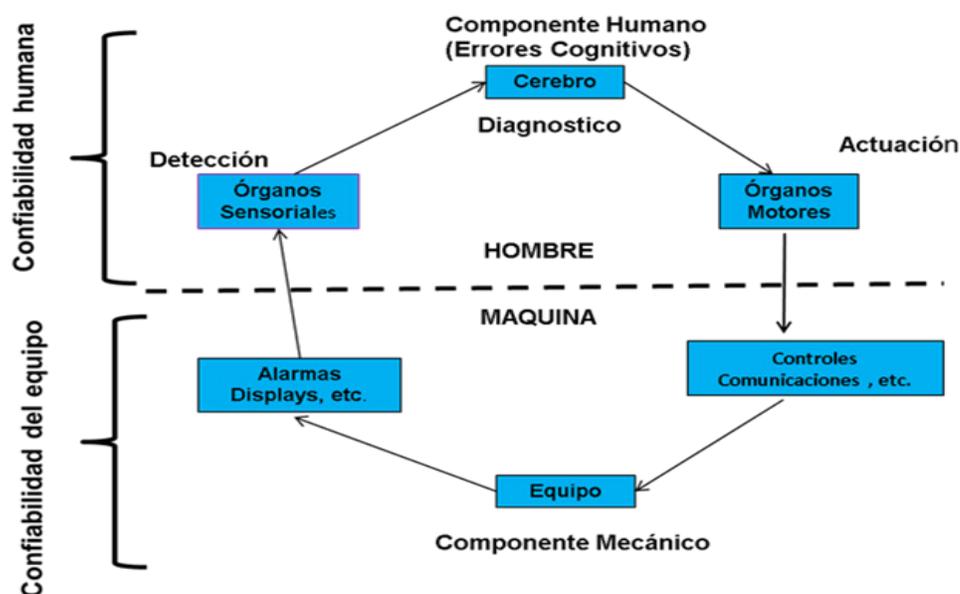


Fuente 2 (Mora, 2009)

Es importante resaltar que en la gestión de activos fijos, ellos tienden a tener una afectación, que impacta de manera directa la productividad de la empresa, para ello al ejecutar diagnósticos a los aspectos eléctricos, mecánicos y de medición, se puede reforzar el plan de mantenimiento de ese equipo. *“Al efectuar de manera congruente las estrategias en mantenimiento se logra percibir de manera positiva el mejoramiento y agilidad en los procesos operacionales de la planta, generando así un costo muy por debajo de lo estipulado”* (González & Andrade, 2021).

Es implementado cuando se destaca que el hombre se integra a la parte tecnológica del equipo, formándose con unidad con el sistema. Este además puede tener interacciones que se producen entre los dos, el componente humano interpreta y reacciona con el equipo para dar los resultados después de su actuación. Haciendo notar la interacción continua entre los dos componentes mecánico y humano; desarrollando funciones que son identificados bajo parámetros establecidos.

Ilustración 3 Representación esquemática del sistema hombre – máquina



Fuente 3 (predictiva, 2022)

Sin embargo, “*un diagnóstico del estado presente de la empresa demuestra que una deficiente gestión de procesos, la falta en la gestión de trabajos estandarizados y la medición incorrecta son responsables de especificaciones inexactas y/o deficiente calidad del producto*” (Chombo, 2022). Teniendo en cuenta que los sistemas creados por el ser humano, deben satisfacer la necesidad funcional básica del equipo, de ahí la importancia

de analizar todas las fallas de los equipos. Por ende, la importancia que tiene un plan de mantenimiento en las empresas asegura que ella pueda continuar, alargando su vida en el mercado, por ello a la hora de realizar las inspecciones se debe coordinar con planeación la organización de los ajustes a los planes de mantenimiento; con el fin de que a futuro no aparezca un fallo crucial en el equipo y poder garantizar la fiabilidad de este.

Al hablar de estrategias, ellas nacen de la organización de información que fueron identificadas de forma oportuna en las inspecciones, estas se pueden alinear tanto los tiempos como a los empleados en esas actividades, en ellos los resultados se traducen en la disminución de los costos de mantenimiento. Por ello, el papel que juega la organización de los planes de mantenimiento al equipo. Antes de conocer la herramienta de análisis AMEF (Análisis de modo y efecto de falla) utilizada para detectar fallas en máquinas es indispensable entender definiciones como criticidad y disponibilidad.

#### Análisis de Criticidad

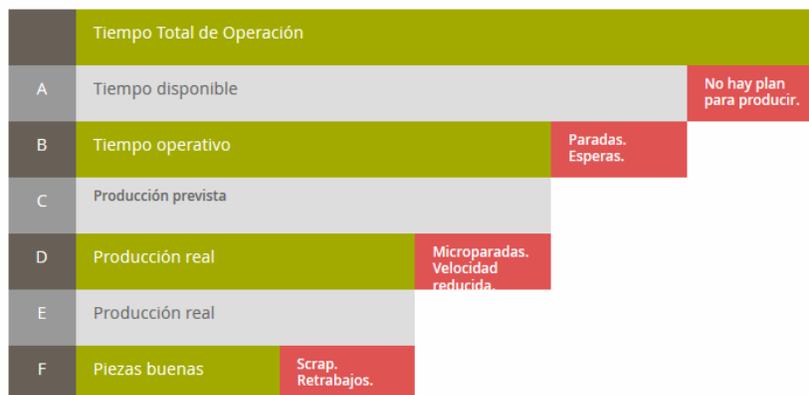
Como primera medida *“la criticidad es el nivel de impacto e importancia que tiene una máquina, equipo o dispositivo en los procesos de una organización”* (Diaz, 2021). En este punto la organización ha desarrollado y alcanzado una integridad capaz de unir todos los niveles jerárquicos de la misma, permitiendo crear mejores prácticas con el fin de poder disminuir dicho impacto.

#### Disponibilidad

Recordemos que la disponibilidad es *“la probabilidad de que un sistema realice la función para la que fue planificado, en un momento determinado y bajo condiciones operativas y ambientales establecidas”* (Alfalla & Garcia, 2009). Asociado al cálculo OEE a más bien la eficiencia General de los equipos (Overall Equipment Effectiveness), se

convierte en un indicador principal para la producción, asociado al tiempo total de operación. Por otro lado, enfocada en la confiabilidad la criticidad como método es el instrumento en el proceso, en cambio la disponibilidad es de vital importancia al mantenimiento como indicador evalúa el comportamiento del equipo; basado en ello, las dos hacen parte de la optimización del mantenimiento mostrando el control que se tiene dentro del mismo.

Ilustración 4 Cómo calcular tu productividad OEE



Fuente 4 (doeet.com, 2021)

### Metodología AMEF

Con respecto al “*modo de falla y el análisis de falla crítica (AMEF) es un método para evaluar un sistema, proceso, diseño o servicio defectuoso. Es una excelente herramienta para desarrollar la creatividad*” (Chombo, 2022). La cual se puede modelar bajo escenarios sencillos como Microsoft Excel, siguiendo su estructura a través de los pasos:

Ilustración 5 Los siete pasos según el AMEF



Fuente 5 (Chombo, 2022).

Ilustración 6 Los tres AMEF más comunes.



Fuente 6 (leansolutions, 2022)

Ilustración 7 Aplicaciones del AMEF

| Tipo de AMEF                       | Pregunta clave   |
|------------------------------------|--|
| Sistema o concepto                 | ¿Cómo puede fallar el sistema, en términos de interacción con otros sistemas?  |
| Diseño o producto                  | ¿Cómo puede fallar la funcionalidad del producto y como puede afectar la seguridad del usuario?  |
| Proceso (manufactura o servicios)  | ¿Cómo puede fallar la operación? (atrasos en fechas de entrega, calidad) y ¿cómo se pueden presentar accidentes con los empleados de este proceso? |
| Proyectos                          | ¿Cómo pueden fallar las distintas etapas del proceso y sus conexiones?   |
| Seguridad                          | ¿Cómo se pueden presentar accidentes en el proceso actual o uno nuevo?   |
| Mantenimiento (maquinas y equipos) | ¿Cómo puede fallar funcionalmente la maquina o no cumplir con las especificaciones de calidad?   |
| Software                           | ¿Cómo pueden fallar las funciones del software?  |

Fuente 7 (leansolutions, 2022)

Ilustración 8 Tabla de Severidad AMEF

| ASQ (American Society for Quality) |  |   |
|------------------------------------|--|---|
| Clasificación                      | Efecto                                 | Criterio: Severidad de Efecto Definido (proceso)  |
| 10                                 | <b>Critico</b><br>Peligroso: Sin Aviso | Puede poner en peligro al operador. Modo de fallas afectan la operación segura y/o involucra la no conformidad con regulaciones gubernamentales. La falla ocurrirá SIN AVISO.   |
| 9                                  | <b>Critico</b><br>Peligroso: Con Aviso | Puede poner en peligro al operador. Modo de fallas afecta la operación segura y/o involucra la no conformidad con regulaciones gubernamentales. La falla ocurrirá CON AVISO.  |
| 8                                  | <b>Muy Alto</b>                        | Interrupción mayor a la línea de producción. 100% del producto probablemente sea desechado. Ítem inoperable, pérdida de su función primaria. Cliente muy insatisfecho.  |
| 7                                  | <b>Alto</b>                            | Interrupción menor a la línea de producción. Producto probablemente deba ser clasificada y una porción (menor al 100%) desechada. Ítem operable, pero a un nivel reducido de rendimiento. Cliente insatisfecho.                                   |
| 6                                  | <b>Moderado</b>                        | Interrupción menor a la línea de producción. Una porción (menor al 100%) probablemente deba ser desechada (no clasificada). Ítem operable, pero algunos ítems de confort/ conveniencia inoperables. Clientes experimentan incomodidad.            |
| 5                                  | <b>Bajo</b>                            | Interrupción menor a la línea de producción. 100% del producto probablemente sea retrabajado. Ítem operable, pero algunos ítems de confort/ conveniencia operables a un nivel reducido de rendimiento. Cliente experimenta alguna insatisfacción. |
| 4                                  | <b>Muy Bajo</b>                        | Interrupción menor a la línea de producción. El producto probablemente deba ser clasificado y una porción (menor al 100%) retrabajada. Defecto percibido por la mayoría de los clientes.  |
| 3                                  | <b>Pequeño</b>                         | Interrupción menor a la línea de producción. Una porción (menor al 100%) del producto probablemente deba ser retrabajada en línea pero fuera de la estación de trabajo. Defecto es percibido por el cliente promedio.                             |
| 2                                  | <b>Muy Pequeño</b>                     | Interrupción menor a la línea de producción. Una porción (menor al 100%) del producto probablemente deba ser retrabajada en la línea y en la estación de trabajo. Defecto es percibido solo por clientes expertos.                                |
| 1                                  | <b>Ninguno</b>                         | Ningún efecto.  |

Fuente 8 (leansolutions, 2022)

Ilustración 9 Tabla de Ocurrencia AMEF

| Ocurrencia (Probabilidad de que pase) |            |   |                  |                                |
|---------------------------------------|------------|---|------------------|--------------------------------|
| ASQ (American Society for Quality)    |            |   |                  |                                |
| Clasificación                         | Ocurrencia | Descripción   | Frecuencia       | Cpk (índice de capacidad real) |
| 10                                    | Muy Alta   | La falla del proceso es casi inevitable                                 | 1 en 2           | 0.33                           |
| 9                                     |            |   | 1 en 3           | 0.51                           |
| 8                                     | Alta       | Procesos similares han presentado fallas                                | 1 en 8           | 0.67                           |
| 7                                     |            |   | 1 en 20          |                                |
| 6                                     | Moderada   | Muy pocas fallas ocasionales asociadas a procesos similares             | 1 en 80          | 0.83                           |
| 5                                     |            |   | 1 en 400         | 1.00                           |
| 4                                     |            |   | 1 en 2,000       | 1.17                           |
| 3                                     | Baja       | Pocas fallas asociadas con procesos similares                           | 1 en 15,000      | 1.33                           |
| 2                                     |            |   | 1 en 150,000     | 1.5                            |
| 1                                     | Remota     | Falla es improbable. Fallas nunca asociadas con procesos casi idénticos | < 1 en 1,500,000 | > 1.67                         |

Fuente 9 (leansolutions, 2022)

Ilustración 10 Tabla de Detección AMEF

| Detección                          |                           |  |   |
|------------------------------------|---------------------------|--|---|
| ASQ (American Society for Quality) |                           |  |   |
| Clasificación                      | Probabilidad de detección | Oportunidad de detección                                   | Criterio:<br>Probabilidad de detección por control de procesos  |
| 10                                 | Casi Imposible            | Sin oportunidad de detección                               | no hay controles en el proceso capaz de detectar o prevenir la causa potencial de falla                                   |
| 9                                  | Muy Remota                | Es probable que no se detecte en ninguna etapa del proceso | Hay una probabilidad muy remota de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla   |
| 8                                  | Remota                    | Detección de problemas después del proceso                 | Hay una probabilidad remota de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla       |
| 7                                  | Muy Baja                  | Detección de problemas en la fuente                        | Hay una probabilidad muy Baja de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla     |
| 6                                  | Baja                      | Detección de problemas después del proceso                 | Hay una probabilidad Baja de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla         |
| 5                                  | Moderada                  | Detección de problemas en la fuente                        | Hay probabilidad moderada de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla         |
| 4                                  | Altamente Moderada        | Detección de problemas después del proceso                 | Hay una probabilidad muy moderada de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla |
| 3                                  | Moderada                  | Detección de problemas en la fuente                        | Hay una probabilidad moderada de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla     |
| 2                                  | Muy Alta                  | Detección de errores y/o prevención de problemas           | Hay muy alta probabilidad de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla         |
| 1                                  | Casi Seguro               | Proceso a prueba de errores                                | Es casi seguro que el control de proceso es capaz de detectar o de prevenir la causa potencial del modo de falla          |

Fuente 10 (leansolutions, 2022)

### Análisis de fallas

Cabe recordar que cuando un sistema falla se deben aplicar estrategias avanzadas asociadas a la astucia humana, donde el conocimiento autorregulado que este aporta a la actividad provoca la acción de toma de decisión para poder atender la situación y resolverla. Sabemos que el plan de mantenimiento es proyectado en base a la función y operatividad del equipo, donde este es capaz de demostrar su restablecimiento de forma inmediata. Con los avances en el mantenimiento reconocen que *“el AMEF como herramienta permite identificar y mejorar fallas de productos, procesos y sistemas, posee un enfoque proactivo. También evalúa y clasifica los efectos, causas y elementos de*

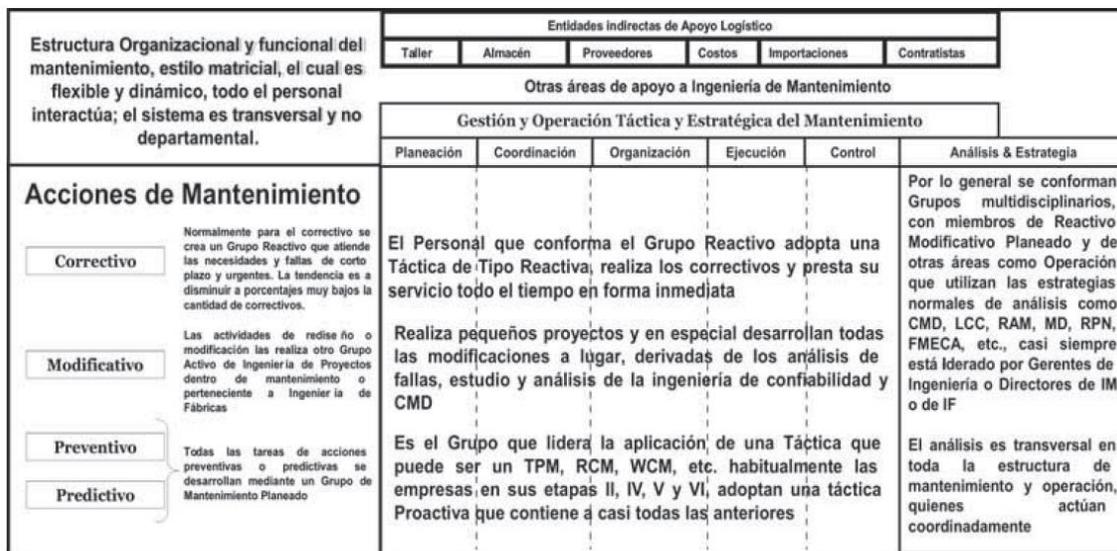
*identificación para obtener un documento preventivo”* (Astudillo & Criollo, 2022). Dándole a este la confiabilidad dentro de unas condiciones de operatividad normales.

Cuando definimos el análisis de fallas nos vamos a la determinación de las tendencias y porque su bajo rendimiento. Por ende, al ampliar dicho conocimiento se define como la actividad que se realiza para el descubrimiento y eliminación del problema desde su raíz, realizada por etapas hasta su terminación completa.

### Indicadores

Es de saber que *“son un conjunto de informaciones que demuestran cómo está funcionando el sector. Con ellos, es posible medir y optimizar procesos, para que sean aún más eficientes”* (Diaz, 2021). Llamados también KPI’s son esenciales para una gestión eficaz, como indicador de rendimiento, siendo métrica mide la acción del mismo, dentro del tiempo determinado planificado o no. *“podemos destacar como principales KPIs: downtime; backlog; MTBF; MTTR; OEE; PMP (planned maintenance percentage/tasa de mantenimiento planificado) y tasa de cumplimiento de mantenimiento preventivo”* (Mora, 2009).

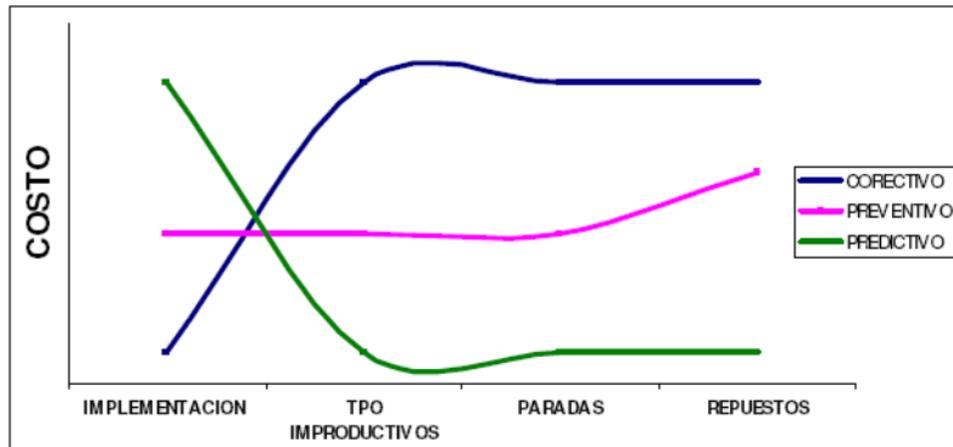
Ilustración 11 Estructura sistémica, organizacional y funcional de mantenimiento.



Fuente 11 (Mora, 2009)

La ilustración 11, muestra las acciones mantenimiento que deben asegurarse en los planes de mantenimiento en empresas de fabricación, además se plantea la metodología adecuada a cada tipo de mantenimiento.

Ilustración 12 Comparación de los tipos de Mantenimiento



Fuente 12 (Montoya, 2017)

La ilustración 12. Muestra los costos que produce la falta de mantenimiento en los equipos, asociados a los tipos de mantenimiento.

Alesadora CNC DN

Cabe resaltar que esta máquina es *“útil para trabajar superficies cilíndricas interiores paralelas en piezas de gran volumen o de difícil manipuleo”* (mecanizado, 2022). Al poseer un equipo como este las empresas pueden disminuir sus costos, pero teniendo un buen plan de mantenimiento el incremento de la productividad es lo que se busca en realidad. Por tal razón el enfoque de buscar una mejora continua dentro del proceso del equipo y poder anticiparnos a las fallas, creando las buenas prácticas operativas del funcionamiento y rendimiento de este, con buena calidad; aumentando la confiabilidad del equipo.

### Ilustración 13 Alesadora CNC DN



Figura 1 (mecanizado, 2022)

### Ilustración 14 Características de la Alesadora CNC DN

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| <b>Sistema de control</b>      | CNC  |
| <b>Orientación del husillo</b> | horizontal                                     |
| <b>Otras características</b>   | 4 ejes   |
| <b>Carrera X</b>               | 2.500 mm, 3.000 mm, 4.000 mm (98 in)           |
| <b>Carrera Y</b>               | 2.000 mm, 2.500 mm (79 in)                     |
| <b>Carrera Z</b>               | 1.500 mm, 1.600 mm, 2.000 mm (59 in)           |
| <b>Potencia</b>                | Máx.: 26 kW (35,35015 hp)<br>Mín.: 0 kW (0 hp) |

Figura 2 (mecanizado, 2022)

Cabe resaltar que uno de los propósitos que *“ofrece gran flexibilidad para mecanizado de distintos tipos de piezas, con excelentes niveles de potencia, rapidez de movimientos y precisión. Pueden ser equipados con torre portaherramientas de indexación automática, que proporciona una significativa reducción en el tiempo de mecanizado”* (Lozano & Ortiz, 2022). A este conjunto de máquinas y herramientas, permite el diseño desde lo mecánico a nuevas formas que harán parte de un gran conjunto de piezas las cuales podrán hacer funcionar un sistema. Para ello se debe realizar un determinado seguimiento al plan de mantenimiento del equipo principal, para que realice las funciones adecuadas para las que fue creado.

#### Programa de Mantenimiento Actual

Las empresas cuando hablan de un *“plan de mantenimiento basado en cualquier estrategia es muy eficaz para el incremento de indicadores de mantenimiento, así mismo es aplicable para todos los equipos”* (Chombo, 2022). Deben realizar un minucioso análisis de las afectaciones que tendrá sobre toda la productividad empresarial. Teniendo en cuenta que estas máquinas, obligan al área de mantenimiento a adoptar diferentes estrategias para mantener al equipo en condiciones óptimas para su funcionamiento; con el plan de mantenimiento adecuado la empresa podrá mejorar la disponibilidad de los activos que se benefician de ella.

Tabla 1 Promedio de tiempos y frecuencias de mantenimiento en máquinas Alesadoras referencia CNC DN DBC110 en el sector industrial de Puerto Colombia.

| <b>Tipo</b>           | <b>Actividad</b>                    | <b>Tarea</b>   | <b>Frecuencia</b> | <b>Tiempo Min</b> |
|-----------------------|-------------------------------------|--|-------------------|-------------------|
| Diagnostico Eléctrico | Inspección Equipo en Detención      | Verificar condición de cableado interno                          | Trimestral        | 5                 |
| Diagnostico Eléctrico | Inspección Equipo en Detención      | Comprobar conexiones en caja principal                           | Anual             | 5                 |
| Diagnostico Eléctrico | Tarea Sistemática                   | Realizar limpieza caja de conexión                               | Anual             | 30                |
| Diagnostico Eléctrico | Tarea Sistemática                   | Comprobar Conexiones y reapetrar si es necesario                 | Anual             | 15                |
| Diagnostico Eléctrico | Tarea Sistemática                   | Comprobar resistencia puesta a tierra                            | Anual             | 15                |
| Diagnostico Eléctrico | Inspección Equipo en Detención      | Megar cableado de alimentación                                   | Anual             | 60                |
| Diagnóstico Eléctrico | Lectura de Parámetros               | Tomar nota de lecturas de corriente                              | Diaria            | 1                 |
| Diagnostico General   | Inspección Equipo en Detención      | Realizar inspección visual del equipo                            | Diaria            | 30                |
| Diagnóstico General   | Tarea Sistemática                   | Realizar limpieza del sitio                                      | Diaria            | 30                |
| Diagnóstico Mecánico  | Inspección Equipo en funcionamiento | Verificar nivel lubricantes                                      | Mensual           | 15                |
| Diagnóstico Mecánico  | Verificar Funcionamiento            | Poner en marcha el equipo verificando su correcto funcionamiento | Mensual           | 5                 |
| Diagnóstico Mecánico  | Verificar Funcionamiento            | Comprobar su operatividad  | Anual             | 30                |
| Diagnóstico Mecánico  | Verificar Funcionamiento            | Comprobar Arranque   | Anual             | 10                |
| Diagnóstico Mecánico  | Inspección Equipo en funcionamiento | Verificar parada Emergencia                                      | Anual             | 5                 |
| Diagnóstico Mecánico  | Inspección Equipo en Detención      | Verificar estado y fijación de plato                             | Anual             | 5                 |
| Diagnóstico Mecánico  | Inspección Equipo en Detención      | Verificar cubiertas de Seguridad                                 | Anual             | 5                 |
| Diagnóstico Mecánico  | Medición equipo en Marcha           | Medir nivel de ruido   | Anual             | 1                 |

|                      |                                     |  |            |     |
|----------------------|-------------------------------------|--|------------|-----|
| Diagnóstico Mecánico | Inspección Equipo en Detención      | Comprobar sujeción de elementos internos                 | Anual      | 20  |
| Diagnóstico Mecánico | Inspección Equipo en Detención      | Verificar presencia de Corrosión interna                 | Anual      | 20  |
| Diagnóstico Mecánico | Inspección Equipo en Detención      | Comprobar funcionamiento apertura y cierre de válvulas   | Anual      | 15  |
| Diagnóstico Mecánico | Inspección Equipo en Detención      | Verificar Holguras de elementos                          | Anual      | 240 |
| Diagnóstico Mecánico | Inspección Equipo en Detención      | Realizar Limpieza a componentes internos                 | Anual      | 480 |
| Diagnóstico Mecánico | Inspección Equipo en Detención      | Comprobar alineaciones                                   | Anual      | 240 |
| Diagnóstico Mecánico | Inspección Equipo en Detención      | Verificar nivel a elementos rotativos                    | Anual      | 480 |
| Diagnóstico Mecánico | Inspección Equipo en Detención      | Comprobar estado de guías e apoyo                        | Anual      | 15  |
| Diagnóstico Mecánico | Inspección Equipo en Detención      | Verificar estado de Rodamientos                          | Anual      | 10  |
| Diagnóstico Mecánico | Inspección Equipo en Detención      | Comprobar funcionamiento apertura y cierre mecánicos     | Anual      | 10  |
| Diagnóstico Mecánico | Sustitución de Componentes          | Verificar estado de componentes de desgaste y sustituir  | Anual      | 240 |
| Diagnóstico Mecánico | Tarea Sistemática                   | Realizar limpieza mecánica con disolvente, agua y trapos | Anual      | 120 |
| Diagnóstico Mecánico | Tarea Sistemática                   | Verificar estado de carcasa exterior e interior          | Anual      | 60  |
| Diagnóstico Mecánico | Inspección Equipo en funcionamiento | Verificar estado de filtros                              | Trimestral | 60  |
| Diagnóstico Mecánico | Inspección Equipo en funcionamiento | Realizar Termografía                                     | Trimestral | 50  |
| Diagnóstico Mecánico | Inspección Equipo en funcionamiento | Verificar estado visual del aceite                       | Mensual    | 10  |
| Diagnóstico Mecánico | Tarea Sistemática                   | Toma muestra de aceite para estudio                      | Trimestral | 10  |
| Diagnostico Medición | Inspección Equipo en funcionamiento | Realizar análisis de vibración                           | Trimestral | 60  |
| Diagnostico Medición | Inspección Equipo en funcionamiento | Realizar análisis termografico                           | Trimestral | 30  |

|                      |                                     |   |            |    |
|----------------------|-------------------------------------|---|------------|----|
| Diagnostico Medición | Inspección Equipo en funcionamiento | Realizar inspección por ultrasonido           | Trimestral | 30 |
| Diagnóstico Medición | Lectura de Parámetros               | Comprobar Detención                           | Anual      | 10 |
| Diagnóstico Medición | Lectura de Parámetros               | Verificar Temperatura en puntos seleccionados | Mensual    | 5  |

Fuente 13 Elaboración Propia con información suministrada por la empresa

### Estado Plan de Mantenimiento

Sin embargo, debido a *“las fallas constantes que se tiene en los sistemas hidráulicos, transmisión y eléctricos y los tiempos prolongados de reparación cuando se presenta una falla no planificada”* (Mosquera, 2022). Demuestra que el estado del plan de mantenimiento debe ser verificado constantemente para poder depurar todas esas fallas que están relacionadas, por consiguiente las acciones que desarrolle el personal de mantenimiento en el área de planeación con la programación de esas tareas de forma diaria, mensual y anual, podrán llevar a una óptima condición del equipo.

### Actividades de Mantenimiento

Con el fin de poder desarrollar una buena gestión del mantenimiento de equipos se debe tener en cuenta las actividades de este, teniendo en cuenta que *“la improductividad de la máquina en reparación genera pérdidas considerables para la empresa debido a la ausencia de un plan de mantenimiento con la finalidad de velar por el óptimo funcionamiento, disponibilidad y confiabilidad de las máquinas”* (Santana, 2022).

Cuando se desarrolla un buen plan de mantenimiento se deben desarrollar actividades básicas de forma diaria, donde se desarrollan tareas como limpieza retirando partículas las cuales pueden afectar el funcionamiento inicial o durante el funcionamiento del equipo, facilitando que el sistema pueda estar ventilado. Otro tipo de actividades es la

limpieza e inspección del sistema eléctrico como el motor, conexiones e incluso tableros de mando.

Sin embargo, una de las principales inspecciones es medir el sistema de lubricación, inspeccionando que no presente fugas, su cantidad debe ser la recomendada por el fabricante. Por parte de piezas cuando el equipo esté en funcionamiento inspeccionar si este produce ruidos ajenos a él, incluso si hay presencia de vibraciones extrañas en el equipo, cuando se detecta se debe detener para realizar una inspección más detallada con seguridad.

### Procedimientos de Mantenimiento

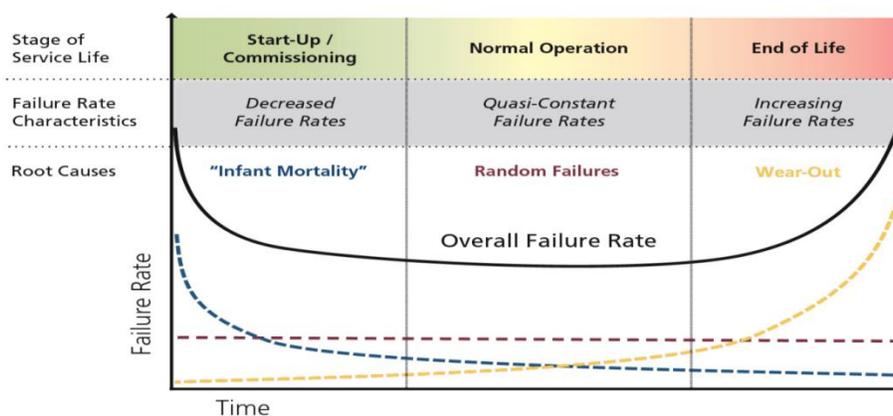
Dentro de los procedimientos de Mantenimiento se debe tener en cuenta *“la deficiencia de paradas no planificadas y reparaciones prolongadas de este equipo, llevando consigo la baja disponibilidad mecánica y por ende demoras operativas en cuanto a su producción”* (Mosquera, 2022). Esto se traduce en pérdidas económicas por cada hora de detención del equipo, por ello se debe garantizar el rendimiento del equipo con una buena estrategia integral.

Por otra parte, cuando se definen tareas al personal se debe tener en cuenta el tiempo de ejecución, ya que el conjunto de estas tareas determinara la reparación final del equipo. Cuando se detallan bien los procedimientos de mantenimiento el tiempo es detallado minuciosamente, al ser programado se puede decir que es un mantenimiento basado en el tiempo; donde su enfoque apunta a disminuir gastos a través de inspecciones rutinarias. Su principal beneficio es garantizar el rendimiento reduciendo su tiempo inactivo.

Curva de la bañera

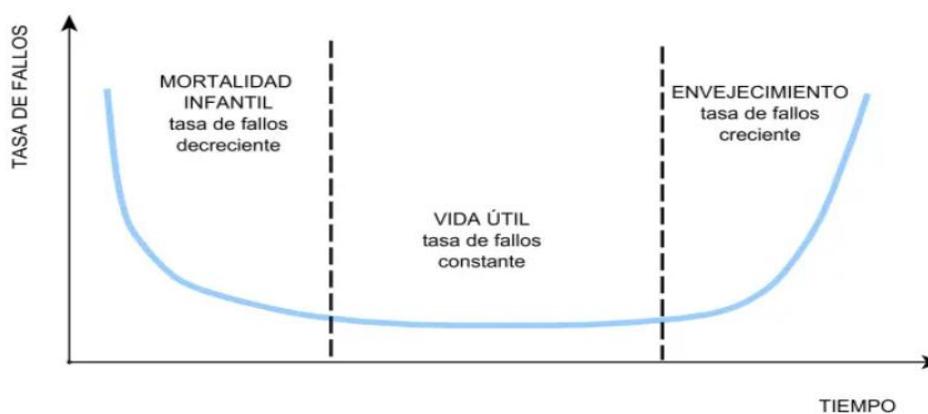
Cabe resaltar que esta “función representa la probabilidad de que un determinado activo falle a lo largo del tiempo y nos permite distinguir claramente tres fases distintas en el ciclo de vida del activo” (Astudillo & Criollo, 2022).

Ilustración 15 Curva de la bañera.



Fuente 14 (Chombo, 2022)

Ilustración 16 Curva de Bañera Convencional.



Fuente 15 (Chombo, 2022)

### 2.3. Marco Conceptual

En este apartado se incluirán definiciones de términos técnicos o de las palabras claves que servirán para el entendimiento y crecimiento del léxico del lector y del investigador.

*“Concepto del MCC. nos permite la identificación de todas las actividades y tareas de mantenimiento preventivo con sus respectivas frecuencias a los equipos más importantes y sensibles en la operación de la organización” (Diaz, 2021).*

*“Cronograma de Mantenimiento. Sirven para concretar o ejecutar una planificación de mantenimiento” (renovetec.com, 2022).*

*“Plan de Mantenimiento. Es el conjunto de tareas de mantenimiento programado, agrupadas o no siguiendo algún tipo de criterio, y que incluye a una serie de equipos de la planta, que habitualmente no son todos” (renovetec.com, 2022).*

*“MTBF. Es el tiempo medio entre cada ocurrencia de una parada específica por fallo (o avería) de un proceso, o en otras palabras, la inversa de la frecuencia con que ocurre cada parada” (edinn.com, 2022).*

*“MTTR. Es el acrónimo de las palabras inglesas Medium Time To Repair, o tiempo medio hasta haber reparado la avería” (edinn.com, 2022).*

*“Efectos de falla. Una vez se tienen todos los modos de falla identificados, se relacionan los efectos de falla asociados. Este efecto de falla debe consistir en una descripción de correlación entre los sistemas y el efecto que esto genera en el componente”*

*“Fallas funcionales o estados de falla. Las fallas funcionales o estados de falla identifican todos los estados indeseables del sistema. Se debe identificar tempranamente que los*

*estados de falla están directamente relacionados con las funciones deseadas” (Diaz, 2021).*

*“Frecuencia de fallas. Numero de fallas que se repite en un evento considerando como una falla dentro de un periodo de tiempo” (Mosquera, 2022).*

*“Mantenimiento. Varios autores lo definen como el conjunto de actividades necesarias, enfocadas a conservar y preservar el estado óptimo operativo de los equipos, herramientas y todos los activos físicos que se encuentren dentro de la organización” (Diaz, 2021).*

*“Modos de falla. Los modos de falla se definen como la potencial causa por la cual una maquina puede llegar a su fallo” (Chombo, 2022).*

*“Patrones de falla en función del tiempo. En relación con los patrones de falla, se cree que la probabilidad de ocurrencia de una falla está determinada por el tiempo de uso y por la vejez del equipo” (Fren & Howard, 2022).*

### **3. MARCO METODOLÓGICO**

Dentro del marco metodológico se especificó el conjunto de pasos, técnicas y procedimientos que se emplean para formular y resolver problemas, este proceso a seguir dará cumplimiento a dichos objetivos y su enfoque orientado a cómo lograr alcanzar el objetivo general.

#### **3.1. Tipo y Enfoques de Investigación**

Si bien es cierto, dicha investigación su enfoque será hacia un estudio mixto, el cual permite a ella una orientación, desde lo general hacia lo particular evaluándose; desde el punto cuantitativo, al desarrollarse como actividad de campo, en este se desarrollará la captura de información de la cantidad de horas de uso y su número de fallas. Sin embargo, desde el punto de vista cualitativo se enfocará en las descripciones que se tienen de los fallos. Además, el tipo de investigación será exploratoria, por ser una investigación neta de campo y el lugar es donde se encuentra el equipo.

#### **3.2. Recolección y Análisis de Datos**

Para el desarrollo del análisis de la información y manejo de la misma desde su recolección se hace necesario utilizar herramientas como Microsoft Excel, por el manejo de la cantidad de datos y su fácil manejo.

#### **3.3. Fases y Actividades Metodológicas**

Por lo general con la representación escrita de la distribución de los objetivos específicos, donde estos representan fase dentro de la investigación. En ellos se debe señalar actividades que conlleven al cumplimiento de estos, apuntándole al Objetivo general.

### Fase 1

Recopilar información sobre el proceso actual y secciones fundamentales de la Alesadora CNC DN DBC110 en la empresa ABC: teniendo en cuenta informaciones de fuentes primarias, planes y registros de mantenimiento: Por medio de encuesta al personal técnico que maneja el equipo. Donde sus preguntas cerradas darán a conocer el proceso teniendo en cuenta que su acceso es de carácter restringido. Se organizarán las respuestas en un formulario de Google Forms, el cual será base para nuestro estudio. También se procede en la búsqueda de información mediante registros históricos de la máquina los cuales provee la empresa.

### Fase 2

Realizar una recopilación de información para el diagnóstico que permita identificar fallas en los planes de mantenimiento de la Alesadora CNC DN DBC110: Con la recopilación de la información se hará un diagnóstico que permita identificar fallas en los planes de mantenimiento de la Alesadora CNC DN DBC110, es necesario utilizar el estudio diagnóstico donde su contenido se basa en el análisis de la lista de chequeo la cual contiene 16 puntos de análisis, el formato está compuesto de las siguientes casillas (Aspecto de estudio, cumple, no cumple, observaciones adicionales, entre otros), se encuentra en formato de Excel. Este formato diligenciado se encuentra disponible en anexos /pág. 65 del proyecto.

### Fase 3

Aplicación de la herramienta AMEF como base para la ejecución de un Estudio Analítico que proporcione estrategias que permitan mejorar la eficiencia de la ejecución del Plan de Mantenimiento de la Alesadora CNC DN DBC110: El estudio analítico y el diseño estrategias de mejoramiento será el producto final entregado para hacer mejoras dentro del

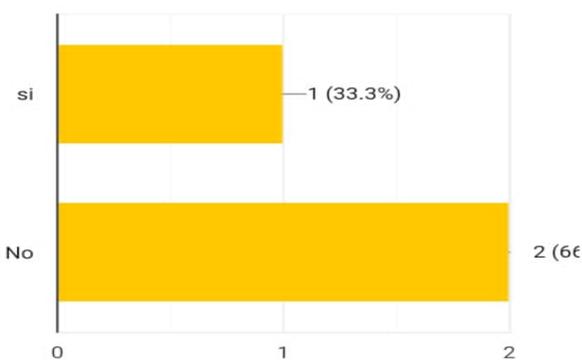
plan de mantenimiento actual para la Alesadora CNC DN DBC110: El formato AMEF permitirá realizar un análisis teniendo en cuenta las partes de la máquina, modos, efectos, causas de fallas, los cuales consecuentemente son ponderados, teniendo en cuenta las necesidades observadas. Mediante la aplicación de la fórmula Número prioritario de Riesgo (NPR) cuyas variables de análisis son severidad, ocurrencia y detección se establece en términos numéricos la prioridad con la que debe atacarse cada modo de falla identificado y la pieza que es afectada. Luego se procede en el diseño de estrategias para mitigar esas fallas.

## 4. REVISIÓN DE RESULTADOS

### 4.1. Recopilar información sobre el proceso actual y secciones fundamentales de la Alesadora CNC DN DBC110 en la empresa ABC teniendo en cuenta informaciones de fuentes primarias, planes y registros de mantenimiento.

Cabe resaltar que la recolección de la información juega un papel importante dentro de la administración de datos y el método que se utilice para su análisis dependerá del investigador, sabemos que hay diferentes maneras de recolectar la información con el diseño de una encuesta se logró argumentar con las personas que son las que están directamente involucradas en el proceso, falencias al mismo. Es notable que algunos de los técnicos por su experiencia puedan notar solo por intuición la presencia de una falla, o simplemente por el comportamiento del equipo.

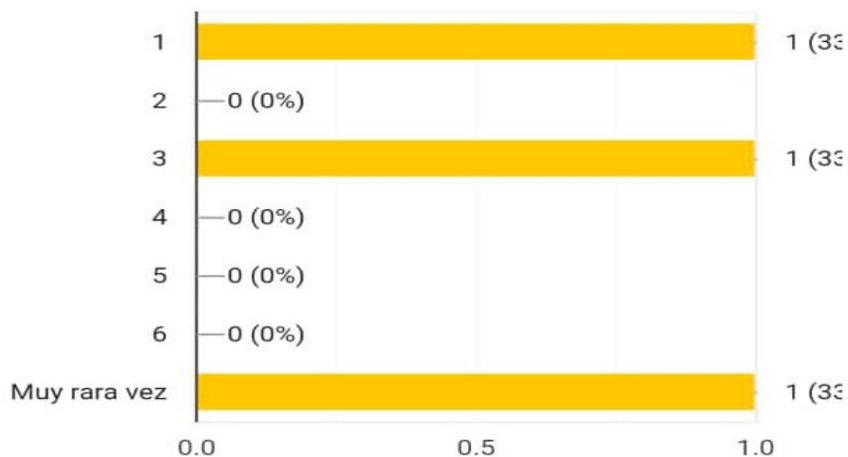
Ilustración 17 Ha presenciado fallas frecuentes en el equipo



Fuente 16 Elaboración Propia

Sin embargo, el simple hecho de notar esas fallas y atendidas a tiempo puede hacer que la afectación al proceso sea mínima. Por ende, las afectaciones mientras el equipo funciona y presenta fallas puede causar daños al material que se está trabajando.

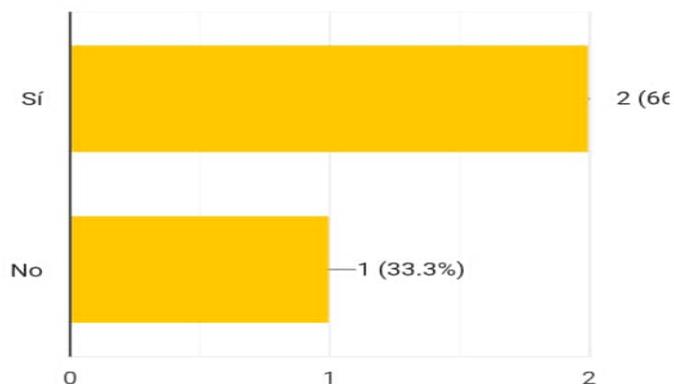
Ilustración 18 ¿Cuál ha sido la frecuencia diaria de fallas que se ha presentado mientras se labora en el equipo?



Fuente 17 Elaboración Propia

A veces, son notorias las fallas que produce el equipo y en su trayectoria o ejecución, el técnico las ve notar, en ocasiones ellas son ocultas, pero muestran síntomas los cuales se debe aprender a identificar.

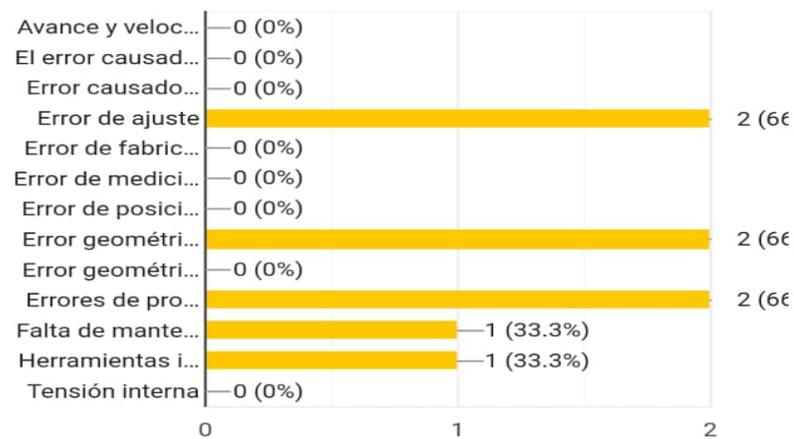
Ilustración 19 ¿Dentro de esas fallas usted ha identificado algún error que la pueda haber ocasionado?



Fuente 18 Elaboración Propia

Quiere decir que esas fallas ocultas se les pueden realizar seguimiento hasta encontrar su origen. Por tanto, con la aplicabilidad de herramientas de apoyo con el AMEF se puede llevar un control y saber su clasificación hasta llegar a la causa raíz del problema.

Ilustración 20 Selecciona de la lista el de error que pudo haber presentado



Fuente 19 Elaboración Propia

#### **4.2. Realizar una recopilación de información para el diagnóstico que permita identificar fallas en los planes de mantenimiento de la Alesadora CNC DN DBC110.**

Llama la atención que dentro de la planeación del mantenimiento de equipos se debe medir también los problemas que a veces suceden por la mala gestión o el manejo de información que no permite el desarrollo de ciertas actividades, provocando falencias dentro del proceso, cuando vemos un error mecánico en el equipo podemos decir que es una desviación dentro de sus parámetros, por ello, con el fin de poder recopilar la información concerniente al manejo de ciertas actividades de apoyo a la ejecución del plan de mantenimiento del equipo se opta por realizar un chequeo de ciertas pautas que pueden ocasionar tiempos adicionales a este.

Con el diseño de un formato el cual servirá como herramienta de captura de información se puede diagnosticar que tipo de fallas puede afectar la ejecución del plan de mantenimiento, dicho formato comprendido por 16 puntos de análisis, cumplen con los estándares necesarios para ayudar a mejorar la eficiencia productiva en el proceso, bajo un monitoreo continuo de estas actividades se diagnosticaran soluciones a dichos inconvenientes.

Cabe resaltar que las empresas dentro de su grupo de trabajo del área de mantenimiento buscan optimizar o mejorar los procesos actuales, por ende las exigencias del cumplimiento del mercado hacen que esta presione cada día por sus entregas omitiendo algunos detalles que a futuro se puedan convertir en fallas. Dentro de las pautas que se plantean en el formato se enfoca al cuidado del equipo en limpieza como la metodología de las 5s y en seguridad del trabajador, haciendo que esta combinación hombre maquina puedan desempeñarse como uno solo.

## Ilustración 21 Formato Chequeo Alesadora CNC

**FORMATO CHEQUEO ALESADORA CNC**

Zona: \_\_\_\_\_

Riesgo: \_\_\_\_\_

Inspección: \_\_\_\_\_

| <b>Parametros de Inspección</b>   | <b>Estado</b> |
|---|---------------|
| 1. ¿El equipo cuenta con guardas y barreras y estas se encuentran en buen estado?   | _____         |
| 2. ¿El área se encuentra despejada y libre de obstáculos?   | _____         |
| 3. ¿Funciona adecuadamente el interruptor de parada de emergencia del sistema de ejes?  | _____         |
| 4. ¿Funciona adecuadamente la acción de magazine de herramientas?   | _____         |
| 5. ¿Funciona adecuadamente la acción del intercambio de herramientas?   | _____         |
| 6. ¿La alesadora se encuentra libre de fugas de aceite?   | _____         |
| 7. ¿La bomba de la unidad de lubricación funciona normalmente?  | _____         |
| 8. ¿La tubería de la unidad de servicio de aire se encuentra libre de fugas de aire?  | _____         |
| 9. ¿Se limpia y remueven viruta de la mesa de trabajo?  | _____         |
| 10. ¿Se realiza limpieza y lubricación de guardas (utilizar WD40, wyfall, Escb y Scotch brite)?   | _____         |
| 11. ¿Se realiza inspección general de fugas hidráulica y neumáticas en el sistema de lubricación de husillo?  | _____         |
| 12. ¿Se realiza limpieza de filtros y regillas extremos de gabinetes eléctricos y Chillers de refrigerante y aceite de lubricación utilizando la pistola de aire a presión? | _____         |
| 13. ¿Se verifica y ajusta el dispositivo de sujeción (mordaza) de equipo del cabezal de husillo?  | _____         |
| 14. ¿Se verifica y funciona adecuadamente la orientación de husillo?  | _____         |
| 15. ¿Se verifica y funciona adecuadamente los interruptores de paradas de emergencia?   | _____         |
| 16. ¿Se verifica funcionamiento adecuado de la luz de trabajo del equipo?   | _____         |

Firma tecnico responsable: \_\_\_\_\_

Fuente 20 Elaboración Propia

Dentro del periodo del 3 de Enero al 15 de Abril de 2023, se recolectaron en 103 días, aproximadamente 1648 datos, donde su distribución apunta a que para la primera pregunta de esos 103 días, 96 de estos cumplió con el objetivo, en cambio 7 días no.

Tabla 2 Total Parámetros de Inspección.

| Parámetros de Inspección  | SI  | NO | Total |
|---|-----|----|-------|
| 1. ¿El equipo cuenta con guardas y barreras y estas se encuentran en buen estado?   | 96  | 7  | 103   |
| 2. ¿El área se encuentra despejada y libre de obstáculos?   | 94  | 9  | 103   |
| 3. ¿Funciona adecuadamente el interruptor de parada de emergencia del sistema de ejes?  | 97  | 6  | 103   |
| 4. ¿Funciona adecuadamente la acción de magazine de herramientas?   | 97  | 6  | 103   |
| 5. ¿Funciona adecuadamente la acción del intercambio de herramientas?   | 93  | 10 | 103   |
| 6. ¿La Alesadora se encuentra libre de fugas de aceite?   | 99  | 4  | 103   |
| 7. ¿La bomba de la unidad de lubricación funciona normalmente?  | 93  | 10 | 103   |
| 8. ¿La tubería de la unidad de servicio de aire se encuentra libre de fugas de aire?  | 94  | 9  | 103   |
| 9. ¿Se limpia y remueven viruta de la mesa de trabajo?  | 103 | 0  | 103   |
| 10. ¿Se realiza limpieza y lubricación de guardas (utilizar WD40, wypall, Escb y Scotch britte)?  | 93  | 10 | 103   |
| 11. ¿Se realiza inspección general de fugas hidráulicas y neumáticas en el sistema de lubricación de husillo?   | 96  | 7  | 103   |
| 12. ¿Se realiza limpieza de filtros y rejillas extremos de gabinetes eléctricos y Chillers de refrigerante y aceite de lubricación utilizando la pistola de aire a presión? | 98  | 5  | 103   |
| 13. ¿Se verifica y ajusta el dispositivo de sujeción (mordaza) de equipo del cabezal de husillo?  | 95  | 8  | 103   |
| 14. ¿Se verifica y funciona adecuadamente la orientación de husillo?  | 98  | 5  | 103   |
| 15. ¿Se verifica y funciona adecuadamente los interruptores de paradas de emergencia?   | 96  | 7  | 103   |
| 16. ¿Se verifica funcionamiento adecuado de la luz de trabajo del equipo?   | 97  | 6  | 103   |

Fuente 21 Elaboración Propia

Tabla 3 Tabla General de Datos.

| SI   | NO  | Total | % SI  | % NO | % Total |
|------|-----|-------|-------|------|---------|
| 1539 | 109 | 1648  | 93,39 | 6,61 | 100,00  |

Fuente 22 Elaboración Propia

En la tabla 3. Se muestra el resumen de la información de los parámetros de inspección en el periodo de tres meses, se recolectaron aproximadamente 1648 datos, su distribución apunta a 6.61% no cumple con los parámetros exigidos. Esta información sirve para crear las estrategias más adelante en análisis de resultados.

Por otro lado, este equipo *“hace parte de una línea crítica de producción y es importante brindar una eficaz confiabilidad a la producción, por lo cual necesitan de un nuevo plan de mantenimiento que permita disminuir las posibles fallas aumentando así la disponibilidad de estos”* (Diaz, 2021). Estas fallas deben ser controladas a tiempo para que no incrementen los costos de la empresa o su pérdida productiva.

Tabla 4 Total porcentual de los Parámetros de Inspección.

| Parámetros de Inspección   | % SI  | % NO | % Total |
|--|-------|------|---------|
| 1. ¿El equipo cuenta con guardas y barreras y estas se encuentran en buen estado?      | 93,20 | 6,80 | 100,00  |
| 2. ¿El área se encuentra despejada y libre de obstáculos?                              | 91,26 | 8,74 | 100,00  |
| 3. ¿Funciona adecuadamente el interruptor de parada de emergencia del sistema de ejes? | 94,17 | 5,83 | 100,00  |
| 4. ¿Funciona adecuadamente la acción de magazine de herramientas?                      | 94,17 | 5,83 | 100,00  |
| 5. ¿Funciona adecuadamente la acción del intercambio de herramientas?                  | 90,29 | 9,71 | 100,00  |
| 6. ¿La Alesadora se encuentra libre de fugas de aceite?                                | 96,12 | 3,88 | 100,00  |
| 7. ¿La bomba de la unidad de lubricación funciona normalmente?                         | 90,29 | 9,71 | 100,00  |

|   |        |      |        |
|---|--------|------|--------|
| 8. ¿La tubería de la unidad de servicio de aire se encuentra libre de fugas de aire?  | 91,26  | 8,74 | 100,00 |
| 9. ¿Se limpia y remueven viruta de la mesa de trabajo?  | 100,00 | 0,00 | 100,00 |
| 10. ¿Se realiza limpieza y lubricación de guardas (utilizar WD40, wypall, Escb y Scotch britte)?  | 90,29  | 9,71 | 100,00 |
| 11. ¿Se realiza inspección general de fugas hidráulicas y neumáticas en el sistema de lubricación de husillo?   | 93,20  | 6,80 | 100,00 |
| 12. ¿Se realiza limpieza de filtros y rejillas extremos de gabinetes eléctricos y Chillers de refrigerante y aceite de lubricación utilizando la pistola de aire a presión? | 95,15  | 4,85 | 100,00 |
| 13. ¿Se verifica y ajusta el dispositivo de sujeción (mordaza) de equipo del cabezal de husillo?  | 92,23  | 7,77 | 100,00 |
| 14. ¿Se verifica y funciona adecuadamente la orientación de husillo?  | 95,15  | 4,85 | 100,00 |
| 15. ¿Se verifica y funciona adecuadamente los interruptores de paradas de emergencia?   | 93,20  | 6,80 | 100,00 |
| 16. ¿Se verifica funcionamiento adecuado de la luz de trabajo del equipo?   | 94,17  | 5,83 | 100,00 |

Fuente 23 Elaboración Propia

En la tabla 4. Se explica a nivel porcentual el cumplimiento que se tiene por cada pregunta, demostrado que en todas hay un mínimo de porcentaje de no cumplimiento.

Sin embargo, al tener buenos planes de mantenimiento donde estos puedan ser aprovechados para identificar con un diagnostico profundo y se puedan identificar fallas o posibles fallas para su futuro tratamiento; al organizarlas se pueden analizar encontrando la causa raíz de dicho problema, antes de que se pueda producir un fallo más grande en el equipo. Cuando aplicamos técnicas de observación y seguimiento se pueden encontrar situaciones que presenten prefallos, las cuales ayudarían a establecer estrategias o técnicas de mejora en los procesos.

### **4.3. Aplicación de la herramienta AMEF como base para la ejecución de un Estudio Analítico que proporcione estrategias que permitan mejorar la eficiencia de la ejecución del Plan de Mantenimiento de la Alesadora CNC DN DBC110:**

Además, la industria con su evolución coloca exigencia dentro de todos sus procesos, donde *“la importancia de instaurar el AMEF para la mejora de procesos buscando reducir los costos por retornos, reducir las quejas del consumidor, producir productos aceptables y confiables”* (Chombo, 2022). Esta se vuelve una necesidad dentro de área de mantenimiento y al ser aceptada de forma práctica podrá mostrar avances evolutivos en la planeación de las actividades para los equipos.

Es decir, que los estados que puede tener el mantenimiento se basan en las acciones que el incluye dentro de sus rutinas, cuando se trabaja con una confiabilidad en la información y se busca la forma de detectar fallas en los equipos, se comienza dar resultados de esa gestión, donde el hombre interviene constantemente para que dicho funcionamiento sea integro. En la antigüedad los mayores desafíos eran encontrar la raíz de la falla, pero con nuevos estudios pudieron ser controladas.

Al implementar un formato AMEF este permitirá realizar un análisis teniendo en cuenta las partes de la máquina, modos, efectos, causas de fallas, los cuales consecuentemente son ponderados, teniendo en cuenta las necesidades observadas. Mediante la aplicación de la fórmula Número prioritario de Riesgo (NPR) cuyas variables de análisis son severidad, ocurrencia y detección. En este se establece en términos numéricos la prioridad con la que debe atacarse cada modo de falla identificado y la pieza que es afectada. Luego se procede en el diseño de estrategias para mitigar esas fallas.

#### 4.3.1. Herramientas para realizar análisis de falla

Hoy en día las herramientas de “*análisis de falla se utilizan para su desarrollo de acuerdo a su respectivo propósito e impacto*” (predictiva, 2022). Bajo diferentes mecanismos estos se exponen a diferentes comportamientos con sus esfuerzos críticos, la inspección visual dentro de las actividades reconoce que las buenas técnicas implementadas por los técnicos apoyan a la gestión del Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF).

Dentro de la siguiente tabla encontraremos los tipos de AMEF, la aplicabilidad de este en el Mantenimiento (Máquinas y Equipos), Software y Seguridad, como los principales identificados en el proceso que desarrolla la Alesadora CNC. Basados en esos la gravedad de ellos se puede distribuir de la siguiente forma:

Tabla 5 Tabla AMEF Criterio: Severidad de Efecto Definido (Proceso).

| <b>Tipo de AMEF</b>                | <b>Descripción de la fase</b> | <b>Operación o función</b>    | <b>Modo/s potencial/es de fallo</b> | <b>Efecto/s potencial/es del fallo</b> | <b>Severidad</b> |
|------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|--|------------------|
| Mantenimiento (Máquinas y Equipos) | HUSILLO                       | Asegurar Material             | Mal montaje                         | Fuga de Aire (riesgo de accidente)     | 9                |
| Software                           | ATC MAGAZINE                  | Identificación de Herramienta | Bloqueo de Función                  | Reinicio del Sistema                   | 10               |
| Mantenimiento (Máquinas y Equipos) | HANDLE                        | Identificación de Herramienta | Desacople de Perilla                | Detección del Sistema                  | 8                |
| Seguridad                          | GUARDA                        | Protección                    | Desacople de Pieza                  | Detección del Sistema                  | 10               |
| Mantenimiento (Máquinas y Equipos) | PESTILLO                      | Asegurar material             | Mal montaje                         | Detección del Sistema                  | 9                |

Fuente 24 Elaboración Propia

Por otra parte, el grado de ocurrencia asociado a cada fase se menciona las causas potenciales que pueden producir el daño.

Tabla 6 Tabla AMEF Ocurrencia: Probabilidad de que pase.

| <b>Tipo de AMEF</b>                | <b>Descripción de la fase</b> | <b>Causa(s) potencial(es) del fallo(s)</b> | <b>Ocurrencia</b> |
|------------------------------------|-------------------------------|--|-------------------|
| Mantenimiento (Máquinas y Equipos) | HUSILLO                       | Inadecuada especificación                  | 6                 |
| Software                           | ATC MAGAZINE                  | Fallo de la máquina                        | 8                 |
| Mantenimiento (Máquinas y Equipos) | HANDLE                        | Fallo de la máquina                        | 5                 |
| Seguridad                          | GUARDA                        | Mala calidad del material                  | 8                 |
| Mantenimiento (Máquinas y Equipos) | PESTILLO                      | Mala calidad del material                  | 8                 |

Fuente 25 Elaboración Propia

Además, para poder determinar el NPR debemos sacar la detección que puede tener cada fase, donde el NPR sería la multiplicación de severidad por la ocurrencia y la detención. A estos podemos relacionar que acciones y recomendaciones se pueden exponer colocando el área que quedaría encargada de su responsabilidad.

Tabla 7 Tabla AMEF Oportunidad de Detección.

| <b>Tipo de AMEF</b> |  | <b>Detección</b> | <b>NPR (1)</b> |  |  |
|---------------------|--|------------------|----------------|--|--|
|---------------------|--|------------------|----------------|--|--|

|                                    | <b>Descripción de la fase</b> |   |     | <b>Acción(es) recomendada(s)</b> | <b>Área(s) / persona(s) responsable(s) y fecha de realización</b> |
|------------------------------------|-------------------------------|---|-----|----------------------------------|---|
| Mantenimiento (Máquinas y Equipos) | HUSILLO                       | 1 | 54  | Homologación por el proveedor    | Compras   |
| Software                           | ATC MAGAZINE                  | 4 | 320 | Cambio de material               | Calidad   |
| Mantenimiento (Máquinas y Equipos) | HANDLE                        | 3 | 120 | Cambio de material               | Calidad   |
| Seguridad                          | GUARDA                        | 6 | 480 | Mantenimiento preventivo         | Ingeniería  |
| Mantenimiento (Máquinas y Equipos) | PESTILLO                      | 7 | 504 | Mantenimiento preventivo         | Ingeniería  |

Fuente 26 Elaboración Propia

Teniendo en cuenta la información indicada dentro de la tabla 7, se observan 5 acciones o estrategias recomendadas para disminuir el indicador NPR. Estas estrategias se proponen de manera detallada a continuación:

Tabla 8 Acciones Recomendadas

| <b>Tipo de AMEF</b>                | <b>Acción(es) recomendada(s)</b> | <b>Área(s) / persona(s) responsable(s) y fecha de realización</b> | <b>Acciones Recomendadas</b>   |
|------------------------------------|----------------------------------|---|--|
| Mantenimiento (Máquinas y Equipos) | Homologación por el proveedor    | Compras   | Verificar con el proveedor la pieza de aseguramiento del material, ya que se tienen piezas de diferentes dimensiones y la base de aseguramiento no toma ciertos tamaños.   |
| Software                           | Cambio de material               | Calidad   | Verificar condición del material que se utiliza en el proceso con ciertos materiales bloquea el equipo. Identificar con el apoyo del proveedor otro tipo de herramienta que pueda cumplir la misma función con diferentes durezas de material. |
| Mantenimiento (Máquinas y Equipos) | Cambio de material               | Calidad   | Verificar condición del material que se utiliza en el proceso esta Desacopla la Perilla y bloquea el equipo. Identificar con el apoyo del proveedor otro tipo de herramienta que pueda cumplir la misma función.                               |
| Seguridad                          | Mantenimiento preventivo         | Ingeniería  | Diseñar planes de mantenimiento preventivo a las guardas de seguridad, ya que por movimiento del equipo presentan desacople, verificar si es factible el cambio de material.   |
| Mantenimiento (Máquinas y Equipos) | Mantenimiento preventivo         | Ingeniería  | Verificar la condición y desgaste de la pieza de apoyo (pestillo) utilizado en asegurar el material para el desbaste.  |

Fuente 27 Elaboración Propia

Sin embargo, al tener las recomendaciones de la tabla 8 debemos asociarlas a un plan de mantenimiento preventivo como lo muestra la tabla 9 .

Tabla 9 Mantenimientos Preventivos Sugeridos

| TIPO    | DETALLE   |
|---------|---|
| DIARIO  | "Cada día debe limpiar su máquina-herramienta. Igualmente, las partículas de suciedad deben ser sopladas con aire seco a presión. Debe prestarse atención a la cadena. Una partícula incrustada en la cadena puede causar problemas tales como colisiones. El husillo del eje Z debe ser lubricado con un lubricante basado en siliconas, no aero-sol. SI EL HUSILLO TIENE UN RECUBRIMIENTO DE TEFLON NO USE NINGÚN TIPO DE LUBRICANTE. Con sistemas de HUSILLO DE BOLAS, aceite o grasa de litio sería lo aceptable".  |
| SEMANAL | "De forma semanal la fresadora se debe limpiar a fondo. El filtro de la caja de control debe aspirarse, los restos de suciedad/viruta que se quedan en la cadena y en los raíles deben limpiarse. Todos los niveles de aceite se deben revisar y rellenar si es necesario. Con sistemas de HUSILLO DE BOLAS, aceite o grasa de litio es aceptable. Además deberían engrasarse todos los cojinetes (o patines) al menos dos veces al mes. Empujar la máquina levemente mientras se aplica presión en sentido contrario hará dos cosas: por una parte esto ayuda a engrasar los patinetes y por otra hará penetrar la grasa por todos los cojinetes". |
| MENSUAL | "Además de la limpieza diaria y semanal, los ejes y husillos X e Y deben limpiarse con un cepillo y un desengrasador. Un vez estén limpios, se aplican unas gotas de grasa de litio. Con los husillos Y y Z siga las instrucciones previamente mencionadas".  |

Fuente 28 Elaboración Propia

Además, al aplicar acciones implantadas a la severidad, Ocurrencia y Detección podemos obtener un nuevo NPR, menor que el anterior

Tabla 10 Tabla AMEF Resultado de las Acciones

| Tipo de AMEF | Descripción de la fase | Resultado de las acciones |           |            |           |         |
|--------------|------------------------|---------------------------|-----------|------------|-----------|---------|
|              |                        | Acciones implantadas      | Severidad | Ocurrencia | Detección | NPR (2) |

|                                    |              |    |   |   |   |     |
|------------------------------------|--------------|----|---|---|---|-----|
| Mantenimiento (Máquinas y Equipos) | HUSILLO      | SI | 9 | 2 | 1 | 18  |
| Software                           | ATC MAGAZINE | SI | 8 | 7 | 3 | 168 |
| Mantenimiento (Máquinas y Equipos) | HANDLE       | SI | 7 | 5 | 3 | 105 |
| Seguridad                          | GUARDA       | SI | 9 | 8 | 5 | 360 |
| Mantenimiento (Máquinas y Equipos) | PESTILLO     | SI | 8 | 7 | 7 | 392 |

Fuente 29 Elaboración Propia

### Estrategias a Implementar

Cabe resaltar la aplicabilidad de esta herramienta AMEF implementado a la Alesadora, con el apoyo de la información base (registros históricos), se analizan por medio de los NPR las fallas las cuales se comparan los dos NPR en la siguiente tabla.

Tabla 11 Comparativo de NPR

| NPR (1) | Observación  | NPR (2) | Observación  |
|---------|--|---------|--|
| 54      | Severidad: 9 Crítico: Peligroso: Sin Aviso; Ocurrencia: 6 Moderada; Detección: 1 Casi Seguro     | 18      | Severidad: 9 Crítico: Peligroso: Sin Aviso; Ocurrencia: 2 Baja; Detección: 1 Casi Seguro |
| 320     | Severidad: 10 Crítico: Peligroso: Sin Aviso; Ocurrencia: 8 Alta; Detección: 4 Altamente Moderada | 168     | Severidad: 8 Muy Alto; Ocurrencia: 7 Alta; Detección: 3 Moderada                         |
| 120     | Severidad: 8 Muy Alto; Ocurrencia: 5 Moderada; Detección: 3 Moderada                             | 105     | Severidad: 7 Alto; Ocurrencia: 5 Moderada; Detección: 3 Moderada                         |
| 480     | Severidad: 10 Crítico: Peligroso: Sin Aviso; Ocurrencia: 8 Alta; Detección: 6 Baja               | 360     | Severidad: 9 Crítico: Peligroso: Sin Aviso; Ocurrencia: 8 Alta; Detección: 5 Moderada    |
| 504     | Severidad: 9 Crítico: Peligroso: Sin Aviso; Ocurrencia: 8 Alta; Detección: 7 Muy Baja            | 392     | Severidad: 8 Muy Alto; Ocurrencia: 7 Alta; Detección: 7 Muy Baja                         |

Fuente 30 Elaboración Propia

En la siguiente tabla se muestra el porcentaje de disminución que, al analizar la información del equipo, esta se puede clasificar de otra forma reduciendo así el análisis estratégico, atendiendo de forma adecuada a las fallas del equipo sin colocarlas como fallas

de alto tipo, sino fallas que pueden atenderse con un nivel menor a la que se reporta inicialmente.

Tabla 12 Porcentaje Estratégico de Disminución del NPR

| <b>Tipo de AMEF</b>                | <b>Descripción de la fase</b> | <b>NPR (1)</b> | <b>NPR (2)</b> | <b>% Estratégico de Disminución</b> |
|------------------------------------|-------------------------------|----------------|----------------|-------------------------------------|
| Mantenimiento (Máquinas y Equipos) | HUSILLO                       | 54             | 18             | 66,67                               |
| Software                           | ATC<br>MAGAZINE               | 320            | 168            | 47,50                               |
| Mantenimiento (Máquinas y Equipos) | HANDLE                        | 120            | 105            | 12,50                               |
| Seguridad                          | GUARDA                        | 480            | 360            | 25,00                               |
| Mantenimiento (Máquinas y Equipos) | PESTILLO                      | 504            | 392            | 22,22                               |

Fuente 31 Elaboración Propia

## **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. Conclusiones**

Cuando habla del desarrollo de un estudio analítico este nos lleva profundizar en lo que se requiere implementar como las acciones o estrategias que ayuden a la productividad empresarial, se busca que ellas sean implementadas desde un punto en específico de la empresa, en nuestro caso desde el área de Mantenimiento, ella se ha convertido en la columna principal de la organización; donde su destreza demuestra la coordinación que se tiene en las actividades desarrolladas de la misma. Sin embargo, se puede notar salvedades en ciertos procesos que llevan a una falla dentro del mismo. Por ende se deben aplicar acciones encaminadas a su corrección que puedan tomar el camino alcanzando sus objetivos. Herramientas con la AMEF nos llevan a poder identificar más afondo esas situaciones para que sea desarrollado de forma asertiva garantizando la ejecución de los procesos como tal. Diseñada en Microsoft Excel, pretende entregar beneficios al área de planeación los cuales sean aprovechados con el fin de no tener paradas Down y desperdicio de materiales por afectación de las fallas en el equipo.

### **5.2. Recomendaciones**

Es recomendable realizar estas actividades a diario alimentar la plantilla de Excel de AMEF con esto se pueden realizar controles en las fallas presentadas, aumentando la calidad de la producción con el buen funcionamiento del equipo y también su trato por parte del operador así mantenga su rendimiento con unas buenas prácticas de Mantenimiento. Además, se debe vigilar la seguridad del equipo, ya que este afecta también los costos por accidente. Además, con la combinación de estas herramientas y la implementación de unos KPI se comprenderá lo que ocurre y se pueda buscar acciones o estrategias de mejora al proceso.

## Anexos

### FORMATO CHEQUEO ALESADORA CNC

Zona: \_\_\_\_\_

Riesgo: \_\_\_\_\_

Inspección: \_\_\_\_\_

| Parametros de Inspección  | Estado |
|---|--------|
| 1. ¿El equipo cuenta con guardas y barreras y estas se encuentran en buen estado?   | _____  |
| 2. ¿El área se encuentra despejada y libre de obstáculos?   | _____  |
| 3. ¿Funciona adecuadamente el interruptor de parada de emergencia del sistema de ejes?  | _____  |
| 4. ¿Funciona adecuadamente la acción de magazine de herramientas?   | _____  |
| 5. ¿Funciona adecuadamente la acción del intercambio de herramientas?   | _____  |
| 6. ¿La alesadora se encuentra libre de fugas de aceite?   | _____  |
| 7. ¿La bomba de la unidad de lubricación funciona normalmente?  | _____  |
| 8. ¿La tubería de la unidad de servicio de aire se encuentra libre de fugas de aire?  | _____  |
| 9. ¿Se limpia y remueven viruta de la mesa de trabajo?  | _____  |
| 10. ¿Se realiza limpieza y lubricación de guardas (utilizar WD40, Wypall, Escb y Scotch brite)?   | _____  |
| 11. ¿Se realiza inspección general de fugas hidráulica y neumáticas en el sistema de lubricación de husillo?  | _____  |
| 12. ¿Se realiza limpieza de filtros y regillas extremos de gabinetes eléctricos y Chillers de refrigerante y aceite de lubricación utilizando la pistola de aire a presión? | _____  |
| 13. ¿Se verifica y ajusta el dispositivo de sujeción (mordaza) de equipo del cabezal de husillo?  | _____  |
| 14. ¿Se verifica y funciona adecuadamente la orientación de husillo?  | _____  |
| 15. ¿Se verifica y funciona adecuadamente los interruptores de paradas de emergencia?   | _____  |
| 16. ¿Se verifica funcionamiento adecuado de la luz de trabajo del equipo?   | _____  |

Firma tecnico responsable: \_\_\_\_\_

## 6. Lista de Referencias

- Alfalla, R., & Garcia, M. (2009). *Introducción a la Dirección de Operaciones Táctico-Operativa*. Madrid, España: Delta.
- Arriola, E. (2022). *La adopción de la Industria 4.0 en Ciudad Juárez y su impacto sobre las empresas de manufactura y sus trabajadores*. Ciudad Juárez Chihuahua, México: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
- Astudillo, R., & Criollo, S. (2022). *Análisis del modo y efectos de fallo (AMEF) para la empresa Tedasa S.A.* Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Barahona, A. (2021). *Plan de Mantenimiento para la Maquinaria Pesada en Funcionamiento de la Dirección para la Gestión del Riesgo y Desastre del Departamento del Meta*. Villavicencio, Colombia: Universidad Cooperativa de Colombia.
- Chombo, J. (2022). *Aplicación de la Metodología AMEF para la mejora de procesos en el área de servicios de pintado de la empresa IPCC 2021*. Lima – Perú: Universidad San Ignacio de Loyola.
- Diaz, H. (2021). *Optimización del plan de mantenimiento usando la metodología de Mantenimiento centrado en confiabilidad viviente (L-RCM) para los equipos de la flota de tractores orugas de Carbones del Cerrejón Limited*. Puerto Colombia, Colombia: Universidad Antonio Nariño.
- doeet.com. (2021). Obtenido de <https://doeet.com/como-calcular-tu-productividad-oe/#:~:text=0%20por%20Calidad,-,Disponibilidad,produciendo%20y%20no%20lo%20hizo>.
- edinn.com. (2022). Obtenido de <https://edinn.com/mtbf-mtr/#:~:text=El%20MTBF%20es%20el%20tiempo,hasta%20haber%20reparado%20la%20aver%C3%ADa>.
- Fren, A., & Howard, V. (2022). *Propuesta de Sistema de Mantenimiento basado en la metodología RCM para las plantas eléctricas tipo GPU del Grupo Aeronaval del Caribe*. Puerto Colombia, Barranquilla: Universidad Antonio Nariño.
- García, D., & Arias, Z. (2021). *Análisis sobre los beneficios en la implementación de las tecnologías 4,0 en fábricas de calzado en el último lustro en Colombia*. Bucaramanga, Colombia: Universidad Tecnológica de Santander.
- González, J., & Andrade, J. (2021). *Diseño de un Plan de Mantenimiento Preventivo Basado en la Metodología 5qs para los Equipos y Maquinaria de la Planta de Trituración Esgamo S.A.S.* Ibagué, Colombia: Universidad Antonio Nariño.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. (2008). *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. México: Pearson.
- leansolutions.co. (2022). Obtenido de <https://leansolutions.co/conceptos-lean/lean-manufacturing/amef-analisis-de-modo-y-efecto-de-falla/>
- León, N., & Prieto, L. (2021). *La Implementación de la Industria 4.0 en las Pymes de Medellín*. Medellín, Colombia: Universidad Tecnológica de Antioquia.

- López, H., & Perea, B. (2019). *Implementación de Mantenimiento Preventivo y Predictivo a los Equipos que Intervienen en el Proceso de Producción en la Empresa Equiaceros SAS*. Barranquilla, Colombia: Universidad Libre.
- Lozano, J., & Ortiz, Y. (2022). *Propuesta de Mejora del Sistema de Gestión de Mantenimiento en la Empresa Transportliquidos S.A.S*. Puerto Colombia, Barranquilla: Universidad Antonio Nariño.
- mecanizado.imocom.com.co*. (2022). Obtenido de <https://mecanizado.imocom.com.co/cnc/>
- Montoya, S. (2017). *Diseño de un Plan de Mantenimiento Preventivo para la Empresa Estructuras del Kafee*. Pereira, Risaralda: Universidad Tecnológica de Risaralda.
- Mora, A. (2009). *Mantenimiento: Planeación, Ejecución y Control*. México: Alfaomega.
- Mosquera, P. (2022). *Plan de mantenimiento mediante el análisis AMEF para incrementar la disponibilidad mecánica del scoop R1600H en la unidad minera Andaychagua*. Huancayo – Perú: Universidad Nacional del Centro de Perú.
- Navarro, M., & Hernández, L. (2020). Innovación en las micro, pequeñas y medianas empresas familiares del sector manufacturero del Atlántico-Colombia. *Revista de Ciencias Sociales (Ve)*, 124-144.
- Pachao, J. (2022). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo programado para mejorar la disponibilidad y confiabilidad de la flota de camiones 797F en el proyecto operaciones Mina Toquepala de la empresa Ferreyros S. A*. Arequipa, Perú: Universidad Continental.
- Pacheco, A. (2020). *Propuesta de Implementación de la Industrial 4.0 en el sector manufacturero de Bogotá*. Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia.
- Pico, L. (2021). *Impacto De La Industria 4.0 En Pequeñas y Medianas Empresas (PYMES) en Colombia*. Barranquilla, Colombia: Universidad Santo Tomás.
- predictiva21.com*. (2022). Obtenido de <https://predictiva21.com/analisis-falla-optimizacion-mantenimiento/>
- Pretel, R., & Pérez, J. (2022). *Implementación de un sistema de gestión del mantenimiento preventivo a la flota de camiones internacional 4300 de la empresa FL Colombia SAS*. Puerto Colombia, Barranquilla: Universidad Antonio Nariño.
- Ramírez, C. (2020). *Descripción de un marco de referencia para la implantación de industria 4.0 en la ciudad de Medellín a partir de las capacidades productivas existentes y potenciales y la validación de un instrumento de diagnóstico empresarial*. Medellín, Colombia: Universidad EAFIT.
- renovetec.com*. (2022). Obtenido de <http://www.renovetec.com/irim/sobre-mantenimiento/planes-de-mantenimiento/que-es-un-plan-de-mantenimiento>
- Rocha, J. (2018). *Diseño e Implementación del Plan de Mantenimiento Preventivo de los Equipos de la Empresa Granitos y Mármoles Acabados SAS*. Barranquilla, Colombia: Universidad Libre.
- Rodríguez, A., & Moreno, M. (2021). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para los equipos y maquinaria de la empresa Vidrios y Cristales Templados S.A.S*. Barranquilla, Colombia: Universidad Libre.

- Ruiz, E. (2021). *Diseño de un Modelo de Gestión de Proyectos con la Integración de Industria 4.0 para Mejorar la Productividad de la Industria Manufacturera en la Región Occidental de la Sabana de Bogotá*. Bogotá, Colombia: Universidad Militar Nueva Granada.
- Santana, B. (2022). *Elaboración de un plan de mantenimiento para la empresa Metalmecánica Indumetalsa S.A.S*. Bogotá, Colombia: Fundación Universitaria de América.
- Santos, J. (2022). *Plan de mantenimiento centrado en confiabilidad aplicado en el Área de Chancado de planta concentradora minera Mateas S. A. C. Arequipa*. Arequipa, Perú: Universidad Continental.