

Mantenimiento Productivo Confiable (MPC): una propuesta metodológica para la gestión del mantenimiento industrial en la planta de zapatería del Batallón de Intendencia No.1 “Las Juanas”

Jaime Jeanpierre Bernal Olarte

Proyecto presentado para optar al título de Magíster en Ingeniería, con énfasis en Ingeniería
Mecánica

Asesora: María Andrea Ramírez Morales, Magíster (MSc) Ingeniería de Mantenimiento y en
Ingeniería Industrial.

Universidad ECCI
Maestría en Ingeniería - Énfasis mecánica
Bogotá
2021

Citar/How to cite	[1] BERNAL OLARTE, J. J. (2021). <i>Mantenimiento Productivo Confiable (MPC): una propuesta metodológica para la gestión del mantenimiento industrial en la planta de zapatería del Batallón de Intendencia No.1 “Las Juanas”</i> . [Tesis de maestría, ECCI].
Referencia/Reference	[1] Bernal Olarte, Jaime Jeanpierre. “Mantenimiento Productivo Confiable (MPC): una propuesta metodológica para la gestión del mantenimiento industrial en la planta de zapatería del Batallón de Intendencia No.1 “Las Juanas”” (Trabajo de grado Maestría en ingeniería con énfasis en mecánica), Facultad de ingenierías, Universidad ECCI, Bogotá, 2021.
Estilo/Style: IEEE. (2014)	

Maestría en Ingeniería con énfasis en mecánica.

Línea de investigación: procesos de producción

Biblioteca Universidad ECCI



Biblioteca Digital (Repositorio)
<https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/126>

Universidad ECCI

Universidad ECCI - <https://www.ecci.edu.co>

Bogotá - <https://www.ecci.edu.co/es/Bogota>

Medellín - <https://www.ecci.edu.co/es/Medellin>

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a la memoria de mi querida Yoya, Rosa Rangel Rivera, Madre de la mujer que amo y madre mía también, siempre estarás presente en nuestras vidas y tu amor nunca se acabará; y a todas las familias y personas que han tenido que sufrir las desgracias de la pandemia.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mí querida esposa y compañera de vida Marilyn Daniela Duran Rangel por ser incondicional y valiente en el transcurrir de la vida siendo apoyo inquebrantable para quienes ama, te amo.

A mis padres Jaime Bernal y Nancy M. Olarte y a mis hermanos Eisenhower y Lisdenny por siempre confiar y por todo su apoyo en cada paso de mi vida profesional y personal.

A la Universidad ECCI y a mi querida profesora María Andrea Ramírez Morales por toda su disposición y conocimiento para con el desarrollo de la investigación.

Al Batallón de Intendencia No.1 “Las Juanas”, especialmente al señor Teniente Coronel Julio Cesar Ramírez Nieto por brindarme la oportunidad de aportar conocimiento a la academia y al glorioso Ejército Nacional de Colombia.

RESUMEN

El presente trabajo de grado, tiene como fin desarrollar una nueva metodología para la gestión del mantenimiento industrial denominada “Mantenimiento Productivo Confiable – MPC”; que integrará diferentes elementos metodológicos utilizados a nivel mundial para la gestión del mantenimiento industrial, abordando la gerencia del mantenimiento desde el enfoque de la confiabilidad y la productividad total; incluyendo elementos de las metodologías Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) y Mantenimiento Productivo Total (TPM).

Esta es una propuesta metodológica innovadora, que estudia y planifica cada una de las aristas de la producción industrial; ampliando la cobertura y la aplicabilidad de los programas para el gerenciamiento de mantenimiento industrial de las empresas. Adicionalmente, se busca presentar un ejemplo práctico de aplicación de la metodología Mantenimiento Productivo Confiable (MPC); para el caso real de las cinco plantas de producción del Batallón de Intendencia No.1 “Las Juanas” del Ejército Nacional de Colombia, en donde trabajo como Ingeniero de Mantenimiento.

De igual manera, en este trabajo se estructuran herramientas para la gerencia del mantenimiento industrial como análisis de modos y efectos de falla; análisis de criticidad de maquinaria; tasa de falla; análisis de Pareto; y estudios estadísticos; entre otros instrumentos de gerencia de ingeniería.

Palabras clave: Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), mantenimiento productivo total (TPM), mantenimiento preventivo (MP), mantenimiento correctivo (MC), análisis de modos y efectos de falla AMEF, disponibilidad, confiabilidad y productividad.

ABSTRACT

The purpose of this degree work is to develop a new methodology for industrial maintenance management called "Reliable Productive Maintenance - RPM"; which will integrate different methodological elements used worldwide for industrial maintenance management, approaching maintenance management from the reliability and total productivity approach; including elements of the Reliability Centered Maintenance (RCM) and Total Productive Maintenance (TPM) methodologies.

This is an innovative methodological proposal, which studies and plans each of the edges of industrial production, expanding the coverage and applicability of the programs for the industrial maintenance management of the companies. Additionally, it seeks to present a practical example of application of the methodology Reliable Productive Maintenance (RPM); for the real case of the five production plants of the Quartermaster Battalion No.1 "Las Juanas" of the National Army of Colombia, where I work as a Maintenance Engineer.

Likewise, in this work, tools for industrial maintenance management are structured, such as failure modes and effects analysis; machinery criticality analysis; failure rate; Pareto analysis; and statistical studies; among other engineering management instruments.

Keywords: Reliability Centered Maintenance (RCM), Total Productive Maintenance (TPM), Preventive Maintenance (PM), Corrective Maintenance (CM), Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), Availability, Reliability and Productivity.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
I. INTRODUCCIÓN.....	12
II. OBJETIVOS	13
A. OBJETIVO GENERAL	13
B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
III. ALCANCE.....	13
IV. MARCO NORMATIVO	14
A. NORMAS SAE J-1011 Y SAE J-1012.....	14
B. NORMA SAE J 1739 (CHRYSLER CORPORATION, FORD MOTOR COMPANY, GENERAL MOTORS CORPORATION, 1995).....	15
C. NORMA ISO 14224 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1999).....	16
V. MARCO TEÓRICO.....	17
A. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO ENFOCADA EN LA CONFIABILIDAD Y LA PRODUCTIVIDAD.....	18
B. FUNDAMENTOS PRÁCTICOS DE IMPLEMENTACIÓN DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO ENFOCADA EN LA CONFIABILIDAD Y LA PRODUCTIVIDAD.....	19
C. ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO ENFOCADA EN LA CONFIABILIDAD Y LA PRODUCTIVIDAD.....	20
D. GENERALIDADES DEL MANTENIMIENTO.....	22
1) Mantenimiento productivo total	22
2) Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)	28
a) ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS POTENCIALES (AMEF).....	31

VI. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA MANTENIMIENTO PRODUCTIVO CONFIABLE MPC PARA LA PLANTA DE ZAPATERÍA DEL BATALLÓN DE INTENDENCIA No.1 “Las Juanas”.	33
A. PASO 1. METODOLOGÍA MPC: DEFINICIÓN Y MARCO CONTEXTUAL DE LA EMPRESA.	36
1) DEFINICIÓN PASO 1. METODOLOGÍA MPC: DEFINICIÓN Y MARCO CONTEXTUAL DE LA EMPRESA.	36
2) APLICACIÓN PASO 1. METODOLOGÍA MPC: DEFINICIÓN Y MARCO CONTEXTUAL PLANTA DE ZAPATERÍA BATALLÓN DE INTENDENCIA No.1 “Las Juanas”.	37
B. PASO 2. METODOLOGÍA MPC: COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL Y PROSPECTIVA	42
1) DEFINICIÓN PASO 2. METODOLOGÍA MPC: COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL Y PROSPECTIVA.	42
2) APLICACIÓN PASO 2. METODOLOGÍA MPC: COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL Y PROSPECTIVA PLANTA DE ZAPATERÍA BATALLÓN DE INTENDENCIA No.1 “Las Juanas”.	43
C. METODOLOGÍA MPC: VIGILANCIA TECNOLÓGICA.	47
1) Definición paso 3. Metodología MPC: vigilancia tecnológica	47
2) Aplicación Paso 3. Metodología MPC: vigilancia tecnológica planta de zapatería BATALLÓN DE INTENDENCIA No.1 “Las Juanas”.	47
D. PASO 4. METODOLOGÍA MPC: PLANEACIÓN ESTRATÉGICA.	52
1) Definición paso 4. Metodología MPC: planeación estratégica	52
2) Aplicación paso 4. Metodología MPC: planeación estratégica planta de zapatería Batallón De Intendencia No.1 “Las Juanas”.	52
E. PASO 5. METODOLOGÍA MPC: AUDITORÍA DE MANTENIMIENTO.	57
1) Definición paso 5. Metodología MPC: auditoría de mantenimiento.	57
2) Aplicación paso 5. Metodología MPC: auditoría de mantenimiento planta de zapatería Batallón de Intendencia No. 1 “Las Juanas”.	59

F. PASO 6. METODOLOGÍA MPC: ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS Y ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA.	61
1) Definición paso 6. Metodología MPC: análisis de criticidad de equipos y análisis de modos y efectos de falla	61
MATRIZ GENERAL DE CRITICIDAD.....	63
2) Aplicación paso 6. Metodología MPC: análisis de criticidad de equipos y análisis de modos y efectos de falla planta de zapatería batallón de intendencia No.1 “Las Juanas”. ...	66
G. PASO 7. METODOLOGÍA MPC: FORMACION, CAPACITACIÓN Y MANTENIMIENTO AUTÓNOMO.....	70
1) Definición paso 7. Metodología MPC: formación, capacitación y mantenimiento autónomo.	70
2) Aplicación paso 7. Metodología MPC: formación, capacitación y mantenimiento autónomo planta de zapatería Batallón de Intendencia No.1 “Las Juanas”.	70
H. PASO 8. METODOLOGÍA MPC: ANÁLISIS ESTADÍSTICOS	73
1) Definición paso 7. Metodología MPC: análisis estadísticos	73
2) Aplicación paso 8. Metodología MPC: análisis estadísticos aplicados en la planta de zapatería del batallón de intendencia No.1 “Las Juanas”.....	74
I. PASO 9. METODOLOGÍA MPC: MEJORA CONTINUA	80
J. PASO 10. METODOLOGÍA MPC: ANÁLISIS ECONÓMICO.....	83
VII. CONCLUSIONES	85
REFERENCIAS.....	867

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1. Mapa de empatía, Fuente: Business Model Generation.	37
Fig. 2. Distribución Procesos Planta Zapatería BAINT.	38
Fig. 3. Proceso productivo planta de zapatería BAINT.	39
Fig. 4. Distribución BAINT.	40
Fig. 5. Mapa de Empatía de la planta de Zapatería BAINT.	41
Fig. 6. Análisis bibliográfico de temas relacionados con el contexto de “botas militares”.	48
Fig. 7. Análisis bibliográfico de temas relacionados con el contexto de “mantenimiento de maquinaria”	49
Fig. 8. Mapa de densidad de los temas de investigación más representativos en el área de mantenimiento de maquinaria.	50
Fig. 9. Mapa de resultados auditoría de mantenimiento.	60
Fig. 10. Matriz de criticidad.	64
Fig. 11. Matriz de criticidad planta de zapatería BAINT.	67
Fig. 12. Registro fotográfico Capacitación, Formación y Mantenimiento autónomo planta de zapatería BAINT.	72
Fig. 13. Resultados anova de un solo factor: gancho durkopp; gancho brother, gancho juki y gancho pfaff.	78
Fig. 14. Diagrama de Pareto fallas de maquinaria planta de zapatería BAINT.	80

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Comparativo RCM / ISO 14224 [3]	16
Tabla 2. Directrices básicas del TPM, Fuente: Iluis cuastrecasas, TPM “hacia la competitividad a través de la eficiencia de los equipos de producción”.	24
Tabla 3. Pasos del mantenimiento autónomo	26
Tabla 4. Árbol de las competencias de la planta de zapatería batallón de intendencia No. 1 “Las Juanas”.	44
Tabla 5. Evaluación de factores de cambio planta de zapatería batallón de intendencia No. 1 “Las Juanas”.	45
Tabla 6. Patentes relacionadas a temas de botas militares.	51
Tabla 7. Metodología diagnóstica de mantenimiento.	57
Tabla 8 Codificación de maquinaria planta de zapatería BAINTE	59
Tabla 9. Ponderaciones de los parámetros del análisis de criticidad.	62
Tabla 10. Análisis de modos y efectos de falla A.M.E.F.	68
Tabla 11. Tasa de Falla Gancho Maquinaria Planta Zapatería BAINTE.	75
Tabla 12 Presupuesto diseño e implementación metodología MPC planta de zapatería BAINTE	82

I. INTRODUCCIÓN

La gestión del mantenimiento industrial a nivel mundial avanza con pasos agigantados, y día a día; toma más importancia en las organizaciones la implementación de metodologías de mantenimiento que han permitido evidenciar y cuantificar los beneficios de los programas de mantenimiento preventivo en empresas industriales de carácter público y privado.

Los exitosos resultados obtenidos hasta el momento en empresas de producción industrial, con la implementación de planes y metodologías de mantenimiento; ha dejado como consecuencia, entre otras, la focalización de la atención empresarial en sus departamentos de mantenimiento con el fin de obtener mayor disponibilidad en sus equipos de producción y poder alcanzar altos estándares de productividad, confiabilidad y seguridad para sus trabajadores y para el medio ambiente.

El desarrollo del Capítulo 8 del presente documento, pretende dar solución integral a los objetivos específicos planteados en el desarrollo de este trabajo de grado; y es la columna vertebral de este documento. En este segmento, se aborda el desarrollo teórico de la metodología MPC y realiza su implementación práctica de cada paso en la planta de zapatería del Batallón de Intendencia No.1 “Las Juanas”.

Como se menciona en el resumen de ese documento, esta es una propuesta metodológica para la gestión del mantenimiento industrial; producto del análisis de los programas de mantenimiento implementados en diferentes empresas nacionales e internacionales, las herramientas adquiridas en la maestría en ingeniería de la Universidad ECCI, y lo observado en mi ejercicio como Ingeniero de Mantenimiento; germinando en la necesidad de elaborar una metodología para el gerenciamiento del mantenimiento industrial, cuyos objetivos estén enfocados tanto en los recursos físicos como en los recursos humanos contribuyendo a aumentar la confiabilidad y productividad de las empresas.

II. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Diseñar una propuesta metodológica para la gestión integral del mantenimiento industrial denominada “*Mantenimiento Productivo Confiable – MPC*”, aplicada a la planta de Zapatería del Batallón de Intendencia No.1 “Las Juanas”.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diseñar una propuesta metodológica para la gestión del mantenimiento industrial denominada “*Mantenimiento Productivo Confiable – MPC*”.
2. Estructurar un programa de mantenimiento basado en la metodología de “*Mantenimiento Productivo Confiable – MPC*” para la gestión del mantenimiento industrial en la planta de Zapatería del Batallón de Intendencia No.1 “Las Juanas”.
3. Elaborar herramientas complementarias para la gestión del “*Mantenimiento Productivo Confiable – MPC*” en el Batallón de Intendencia No.1 “Las Juanas”; como análisis de modos y efectos de falla, análisis de criticidad de maquinaria, tasa de falla, análisis de Pareto, estudios estadísticos e instrumentos de gerencia de ingeniería.

III. ALCANCE

El desarrollo de este trabajo de grado; pretende aportar a la academia y la sociedad, una herramienta para el gerenciamiento del mantenimiento en plantas de producción industrial, mediante la estructuración de una metodología de mantenimiento denominada “Mantenimiento Productivo Confiable – MPC”.

De igual manera, este trabajo estructura un programa de mantenimiento basado en la metodología “Mantenimiento Productivo Confiable – MPC”; aplicada como caso práctico, a la planta de Zapatería del Batallón de Intendencia N.1 “Las Juanas”. Se presenta de manera general, la estructura la metodología MPC y muestra su implementación práctica; elaborando durante este proceso, herramientas complementarias para la gestión del mantenimiento; como el análisis de modos y efectos de falla AMEF; el análisis de criticidad de maquinaria; tasa de falla; análisis de Pareto y estudios estadísticos entre otros instrumentos de gerencia de ingeniería.

En términos generales, este proyecto de grado, busca dar a los lectores una nueva metodología para el gerenciamiento del mantenimiento industrial, que puede convertirse en una herramienta útil e innovadora la para la ingeniería de mantenimiento aplicable a cualquier empresa.

IV. MARCO NORMATIVO

A. NORMAS SAE J-1011 Y SAE J-1012.

La Sociedad Americana de Estandarización – SAE, invitó formalmente a un grupo de representantes de la aviación, de la armada y comunidades áreas para que le ayudaran a desarrollar una norma para programas de mantenimiento. A fines de 1997, a este grupo se le unió un número de representantes principales del RCM provenientes de la industria comercial. Pero no fue sino hasta febrero 1999, que el subcomité SAE RCM terminó su trabajo sobre la norma; ese mismo año la norma fue aprobada por la Junta de Normas Técnicas de la SAE y el Consejo Aeroespacial de la SAE.

Las Normas SAE J-1011 [1] y SAE J-1012 [2], son las dos normas que hacen referencia al RCM; la Norma SAE JA1011 es una norma dirigida a las empresas que quieran administrar de manera responsable sus activos y no presenta propiamente un proceso RCM estándar. Su título es: “Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad”. Este documento tiene como objetivo ser una herramienta que sirva para evaluar procesos que pretendan

ser RCM, apoyando dicha evaluación, por medio de la especificación de las características y criterios mínimos comparativos que un proceso debe cumplir para ser considerado como RCM.

La norma SAE J-1012, establece una guía estándar para el mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM, dando claros aportes a lo establecido la norma SAE JA 1011 (1999), ampliando y profundizando acerca de los criterios y conceptos que en ella se explican, sin intentar ser un manual o una guía de procedimientos para realizar el RCM. Ésta norma proporciona políticas que deben ser implementadas para manejar los modos de falla que puedan causar fallas funcionales de cualquier activo físico dentro de su propio contexto operacional.

B. NORMA SAE J 1739 (CHRYSLER CORPORATION, FORD MOTOR COMPANY, GENERAL MOTORS CORPORATION, 1995)

Esta es una herramienta para la determinación de las funciones, fallas funcionales, causas y efectos de un fallo de un elemento en su contexto operativo, la norma describe el AMEF (Análisis de Modos y Efectos de Fallas Potenciales) y da una orientación general en la aplicación de la técnica, proporcionando algunas claves para su diseño y aplicación ayudando con la terminología, requisitos, tablas de información, clasificación y hojas de trabajo. También nos aporta las obligaciones y las recomendaciones que se deben seguir con el fin de llevar a cabo el análisis y su posterior implementación.

La norma SAE J 1739 describe y aclara tres grandes grupos de actividades que deben realizarse en el análisis AMEF:

- Reorganizar y evaluar las fallas potenciales de la maquina critica.
- Identificar las acciones para eliminar o reducir la posibilidad de que la falla potencial ocurra.
- Documentar el proceso.

C. NORMA ISO 14224 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1999)

Esta es una norma fundamentada en un estándar internacional relacionado con la recopilación de datos para la gestión del mantenimiento de equipos, entre otras características estructura la forma en que se debe manejar la información de la gestión del mantenimiento industrial de manera confiable pues su aplicación al equipo en estudio permitirá jerarquizar, clasificar, y estandarizar de manera segura el manejo de datos de confiabilidad y mantenimiento de la máquina.

Esta norma está encaminada a evitar los problemas originados por el mal manejo de la información y presenta la forma que bajo estándares de confiabilidad debe ser recolectada y registrada dicha información relacionada con el mantenimiento de los activos de la empresa, se conoce como la norma de la gestión de los datos del mantenimiento.

Tabla 1. Comparativo RCM / ISO 14224 [3]

RCM	Norma ISO 14224 y método de detección.
¿Será evidente a los operadores este modo de falla actuado por si solo en circunstancias normales?	Observación: Controles rutinarios o casuales del operado por medio de los sentidos (ruidos, olores, humos, apariencia.) Monitoreo continuo: Fallas reveladas durante un monitoreo continuo de condición de equipos para un predefinido modo de falla, ya sea manual o automáticamente (termografías, análisis de vibraciones y aceites, muestreo.)
¿Es técnicamente factible y merece la pena una tarea a condición?	Monitoreo periódico: Monitoreo continuo: Fallas reveladas durante un monitoreo programado de condición de equipos para un predefinido modo de falla, ya sea manual o automáticamente (termografías, análisis de vibraciones y aceites, muestreo.) Inspección: Falla descubierta durante una inspección planificada (inspección visual, ensayos no destructivos)
¿Es técnicamente factible y merece la pena una tarea de reacondicionamiento cíclico?	Mantenimiento preventivo: Falla descubierta durante el mantenimiento preventivo, reemplazo o reparación mayor de equipos, mientras se ejecutaba el programa mantenimiento preventivo

¿Es técnicamente factible y merece la pena una tarea de sustitución cíclica?

¿Es técnicamente factible y merece la pena una tarea de búsqueda de fallos?

No hacer mantenimiento si no tiene consecuencias.

Realizar rediseño

Mantenimiento preventivo: Falla descubierta durante el mantenimiento preventivo, reemplazo o reparación mayor de equipos, mientras se ejecutaba el programa mantenimiento preventivo

Ensayo en funcionamiento: Falla descubierta durante la activación de una función y comparando la respuesta con un estándar predefinido.

Mantenimiento correctivo: Falla observable durante el mantenimiento correctivo

Otros: Otros métodos de observación.

En el caso de esta investigación la aplicación de esta norma permitirá identificar los métodos comunes de detección y manejo de fallas y la clasificación sistemática de equipos en grupos genéricos, basándose en factores comunes como ubicación, uso, sistema y subsistema.

V. MARCO TEÓRICO

La ingeniería de mantenimiento es la combinación de actividades mediante las cuales se busca la confiabilidad hacia un equipo o un sistema, manteniendo su operatividad para realizar las funciones designadas; este gerenciamiento requiere la aplicación de metodologías y estrategias que combinen acciones técnicas y administrativas necesarias para garantizar la disponibilidad y mantenibilidad de los activos industriales.

Los exitosos resultados obtenidos hasta el momento en empresas de todo el mundo con la implementación de planes de mantenimiento preventivos enfocados en confiabilidad y productividad han dejado como consecuencia, entre otras, la focalización de la atención empresarial en sus departamentos de mantenimiento con el fin de obtener mayor disponibilidad en sus equipos de producción bajo patrones de rendimiento y funcionamiento esperados para los mismos, y así poder alcanzar altos estándares de productividad, rendimiento, seguridad para sus trabajadores y para el medio ambiente.

Son muchos los beneficios que se pueden conseguir con el diseño y la implementación de un programa para el gerenciamiento de mantenimiento industrial de cualquier empresa, evidenciando grandes beneficios como, por ejemplo [4]:

- Integrar al colaborador como parte fundamental del proceso de mantenimiento y de producción.
- Mejorar la comprensión del funcionamiento de los equipos y sistemas para aumentar la seguridad e integridad ambiental
- Alargar la vida útil de los componentes.
- Motivar al personal y mejorar el trabajo en equipo.
- Determinar acciones que permitan garantizar una alta disponibilidad y confiabilidad de planta.
- Beneficios económicos y de bienestar laboral.

Este trabajo es el producto del análisis de programas de mantenimiento implementados en diferentes empresas nacionales e internacionales; revisadas a nivel teórico en la literatura existente. De este análisis, surge de la necesidad de estudiar las metodologías y programas de mantenimiento industrial cuyo objetivo se enfoque tanto en los recursos físicos, como en los recursos humanos. El desarrollo de este documento, se fundamenta en la revisión bibliográfica del mantenimiento industrial; teniendo como eje central el estudio de las metodologías de mantenimiento implementadas a nivel global desde el punto de vista de la confiabilidad y la productividad.

A. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO ENFOCADA EN LA CONFIABILIDAD Y LA PRODUCTIVIDAD.

Son muchos y muy diversos los textos relacionados con la gerencia del mantenimiento industrial, enfocada en la confiabilidad y la productividad; en el caso de la industria aeronáutica, en donde hace más de 30 años; se aplican metodologías de mantenimiento industrial enfocadas en la confiabilidad; el análisis RCM efectuado para el avión Estadounidense S-3A [5], el cual precisamente es uno de los primeros informes (1986) respecto a la aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad RCM en el sector aeronáutico.

Existen autores, cuyos libros son ampliamente citados en el estudio de la gerencia de mantenimiento centrado en confiabilidad y en la productividad; y su legado perdura, gracias a que se encuentra muy bien fundamentados; desde el punto de vista teórico, teniendo en cuenta todos los componentes de la gestión de mantenimiento industrial. De manera general, estos textos ofrecen información referente a las distintas herramientas metodológicas usadas en la gestión del mantenimiento industrial; en cada una de las diferentes etapas de la gestión del mantenimiento aplicando técnicas y herramientas metodológicas para su consecución.

Dentro de los autores más importantes en la investigación y documentación de metodologías de mantenimiento centrado en confiabilidad y en la productividad; se encuentran los libros de August [6], Nieri [7], Moubrey [8], Gulati [9], Regan [10], Sifont [11] y Smith [12]; quienes muestran los conceptos básicos de la gestión de mantenimiento, y clarifican los métodos de gerenciamiento e ingeniería del mantenimiento centrado en confiabilidad; ilustrando desde las definiciones básicas hasta su implementación a nivel industrial mediante un software o sistema de gestión.

Las empresas estatales y privadas, han aportado en gran medida al desarrollo y globalización de las metodologías de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM y el mantenimiento productivo total, convirtiéndose en documentos de referencia para cualquier ingeniero de mantenimiento tal es el caso de la NASA [13] con su guía de implementación RCM, o Ford [14] que a través de su reporte muestra una investigación detallada del mantenimiento del automóvil y donde se realiza un estudio de las fallas potenciales en los diferentes sistemas, así mismo realiza un Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF a cada uno de los subsistemas principales del vehículo.

B. FUNDAMENTOS PRÁCTICOS DE IMPLEMENTACIÓN DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO ENFOCADA EN LA CONFIABILIDAD Y LA PRODUCTIVIDAD.

El desarrollo de este segmento del marco teórico, comprende el estudio de la literatura referente a los trabajos de aplicación metodológica para la gestión de mantenimiento industrial con el enfoque del mantenimiento centrado en la confiabilidad y el mantenimiento enfocado en la productividad. Este es una de las partes que más presenta resultados en las búsquedas de literatura referente a la implementación de metodología de mantenimiento. Por otra parte, es de resaltar que existen

trabajos de aplicación cuidadosamente desarrollados que aportan de manera significativa al desarrollo de la ingeniería de mantenimiento a nivel global.

De manera particular existen ejemplos de aplicación de metodologías como es el caso de Andraws [15], Backlund [16], Cruzado [17], Lopez [18], Martinez [19] y Ruda[20], cuyos trabajos abarcan un programa de mantenimiento preventivo RCM enfocado en las turbinas eólicas, una central hidroeléctrica, un sistema de bombeo, un sistema de ventilación, una ladrillera y un sistema alimentador respectivamente y en donde se da un manejo detallado y minucioso de los modos de falla de cada uno de los componentes estudiados.

Otras investigaciones que aportan a la revisión literaria es el de Ardila [21] y Gabbar [22]; quienes dan una revisión general al estado del arte de la gerencia del mantenimiento; de manera particular, el texto aborda la implementación de metodologías para la gestión del mantenimiento industrial apoyados en sistemas Computarizados de Gestión del Mantenimiento (Computerized Maintenance Management Systems – CMMS)

También se encuentran diversos trabajos de aplicación de las metodologías de mantenimiento RCM y TPM; como por ejemplo, un estudio de aplicación en la industria de Nicaragua [23], estudios en la industria manufacturera de las partes de refrigeración y sistemas de aire acondicionado [24], implementación un programa de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM aplicado a una empresa minera de Chile [25] en cuyos resultados se evidencia la mejoría en la gestión del mantenimiento industrial de las empresas y se establecen indicadores de gestión que permiten cuantificar el impacto económico de la productividad y confiabilidad de la maquinaria.

C. ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO ENFOCADA EN LA CONFIABILIDAD Y LA PRODUCTIVIDAD.

En esta sección, se muestran estudios complementarios a las metodologías de mantenimiento industrial centradas en confiabilidad y productividad, este bloque tiene en cuenta diversos estudios donde se evidencian análisis multicriterio para la toma de decisiones referente a la metodologías de mantenimiento, así por ejemplo se encuentran estudios comparativos entre los criterios e impactos las metodologías TPM y RCM [26],[27],[28], en donde se contemplan criterios operacionales generales aplicables a cualquier metodología para la gestión del mantenimiento

industrial y se convierte en una herramienta para poder identificar y determinar la metodología adecuada para la gestión de mantenimiento en una empresa y contexto operacional específico; así mismo, en estas investigaciones se evalúan los diferentes enfoques de mantenimiento más populares implementados en las empresas, es decir, las estrategias, políticas o filosofías, utilizando una metodología de evaluación difusa de toma de decisiones con criterios múltiples (MCDM), de igual modo en estas investigaciones se estudian de manera principal las metodologías de mantenimiento TPM y RCM mostrando su relación, sus objetivos, los fundamentos teóricos, las ventajas, las desventajas y su manera de aplicación en un plan de mantenimiento de cualquier tipo.. Así mismo, estudios relacionados con herramientas complementarias de las metodologías RCM y TPM; son por ejemplo detección de fallos tempranos por medio del uso de las técnicas de mantenimiento predictivo [29]; así mismo se presenta un estudio comparativo de las diferentes metodologías para el análisis de fallas [30] y la implementación de las dos metodologías RCM y TPM [31].

Igualmente se presentan estudios estadísticos y encuestas relacionadas con el estado actual de los sistemas de gestión de mantenimiento industrial de las empresas manufactureras a nivel mundial, como el caso de Bokrantz [32] quien realiza una investigación a través de un estudio de encuesta en 70 empresas manufactureras suecas. De manera similar, Machado [33] realiza una encuesta a 54 empresas manufactureras del sector textil brasileiro. Finalmente; es importante mencionar, el trabajo desarrollado por Wang [34]; quien muestra algunos criterios que deberían tenerse en cuenta para la selección de la estrategia óptima de mantenimiento, como por ejemplo; la seguridad, los costos y la confiabilidad entre otras.

De manera general el estado del arte permite evidenciar que existen muchas opciones de investigación referente a las metodologías para el gerenciamiento del mantenimiento industrial teniendo como referencia principal el mantenimiento centrado en confiabilidad RCM y el mantenimiento productivo total TPM; producto de este análisis se identifica la latente necesidad de estudiar las metodologías y programas de mantenimiento industrial cuyo objetivo se enfoque tanto en los recursos físicos, como en los recursos humanos, es decir, que no se centre únicamente en la implementación de una metodología clásicamente definida sino que por el contrario tome elementos de diferentes herramientas de gestión que permitan mejorar el desarrollo la gerencia del mantenimiento industrial en una empresa.

Además, es importante recalcar que son muchas las herramientas que pueden complementar la implementación una metodología de mantenimiento preventivo; como por ejemplo; los estudios comparativos, estudios de encuestas, análisis de modos y efectos de falla AMEF, el análisis de criticidad, el establecimiento de un numero prioritario de riesgo NPR y la jerarquización de fallas entre muchas otras herramientas existentes para la gestión del mantenimiento industrial.

D. GENERALIDADES DEL MANTENIMIENTO

El mantenimiento se define como la combinación de actividades mediante las cuales un equipo o un sistema se mantienen, conservan, o se restablece a un estado en el que puede realizar las funciones designadas.

La norma ISO 14224 [35], define el mantenimiento como una “combinación de acciones técnicas y administrativas (incluyendo la supervisión), cuyo fin es mantener o reparar el aparato, para que opere en un estado que le permita realizar las funciones requeridas”.

Para la Asociación Francesa de Normalización mediante su norma ANFOR NF X60-010, el mantenimiento se define como el “conjunto de acciones tendientes a mantener o reestablecer un bien a un estado específico que le permita asegurar el servicio determinado”. Según el ingeniero Gustavo Ruela Gómez [36] en su libro “Administración del mantenimiento”; existen tres reglas de oro del mantenimiento: simplificar al máximo; reducir los costos y minimizar el papeleo.

1) Mantenimiento productivo total

El mantenimiento productivo total, se basa en el principio fundamental de que toda persona cuyo trabajo tenga algo que ver con un equipo de producción, debe estar involucrada en su mantenimiento y administración con el fin de mantener a los equipos en un punto de máxima efectividad operativa. Esta filosofía de trabajo empresarial originaria de Japón; es parte fundamental del desarrollo de este trabajo de grado y se convierte en uno de los pilares de la metodología de Mantenimiento Productivo Confiable MPC desarrollada en este documento.

El desarrollo del mantenimiento productivo total se origina en Japón, y su principal exponente es el Doctor Seiichi Nakajima cuyo libro “Introducción al TPM (Mantenimiento Productivo Total)”

[36]; publicado por el Japan Institute for Plan Maintenance en el año 1984, fundamenta los principios teóricos y metodológicos de la metodología TPM, por lo que este texto es base fundamental del marco teórico que cimienta el desarrollo de esta investigación.

El TPM busca optimizar la efectividad del equipo, eliminar averías y promueve el mantenimiento autónomo o de primer escalón el cual es realizado directamente por los operarios a través de actividades del día a día que incluyen a todo el personal.

Este tipo de enfoque promueve las actividades en grupo a través de toda la organización para una mayor efectividad del equipo y el entrenamiento de los trabajadores para participar en la responsabilidad de la inspección de rutina, limpieza, mantenimiento y reparaciones menores, lo cual redundará en el incremento de la productividad y calidad de la empresa, optimizando el costo del ciclo de vida de los equipos y ampliando la base de los conocimientos y capacidades de cada empleado.

Según Seiichi Nakajima [37] el éxito del TPM radica en 3 características o actividades que son importantes: 1. Actividades para maximizar la efectividad del equipo, 2. Mantenimiento autónomo por los operarios y 3. Actividades de pequeños grupos de la compañía, de igual manera establece que una definición completa del TPM incluye cinco elementos.

1. El TPM contempla maximizar la efectividad del equipo (efectividad global)
2. El TPM establece un sistema completo de TPM para la vida entera del equipo.
3. El TPM se implementa por varios departamentos (Ingeniería, operaciones y mantenimiento)
4. El TPM incluye a cada empleado particular, desde la alta dirección hasta los trabajadores de planta.
5. El TPM se basa en la promoción del PM (Preventive Maintenance) a través de la dirección de la motivación y las actividades autónomas de pequeños grupos.

Según Nakajima la base del mantenimiento preventivo se fundamenta en hacer desaparecer los defectos, en especial los que pueden parecer ocultos e indetectables, para ello es importante eliminar los fallos o defectos ocultos manteniendo reguladas las condiciones básicas de limpieza, ajuste, lubricación y apretado de pernos. De igual modo, es importante que exista adherencia a procedimientos de operación aprobados, restaurar el deterioro, mejorar los puntos débiles del diseño y mejorar la operación y capacidad de mantenimiento.

El mantenimiento productivo o mantenimiento planificado; es la base de cualquier programa y filosofía de mantenimiento industrial, tal es el caso del mantenimiento productivo total (TPM) cuya propia metodología puede verse como la evolución del mantenimiento correctivo. El concepto de mantenimiento productivo (PM) hace referencia a que el objetivo del Mantenimiento no es solo mantener los equipos sino mejorar la calidad mediante modificaciones de diseño que mejoren la fiabilidad y la mantenibilidad de los equipos.

Según Lluís Cuastrecasas en su libro TPM “Hacia la competitividad a través de la eficiencia de los equipos de producción” [38] existen 5 directrices básicas del TPM teniendo en cuenta objetivos empresariales y objetivos para los equipos de producción.

Tabla 2. Directrices básicas del TPM, Fuente: lluis cuastrecasas, TPM “hacia la competitividad a través de la eficiencia de los equipos de producción”.

DIRECTRICES BÁSICAS DEL TPM	
OBJETIVOS EMPRESARIALES	OBJETIVOS PARA LOS EQUIPOS
1. Producción oportuna y efectiva.	1. Evitar degradación de los equipos debido a averías, aumento de producción o de calidad.
2. Adecuación flexible a las tendencias de la demanda.	2. Evitar degradación de los equipos debido a la operatividad continua con cargas elevadas.
3. Reducción de costos.	3. Reducir equipos con defectos debido a deficiencias en el proceso productivo.
4. Calidad total.	4. Mejorar el conocimiento de los operarios y sus máquinas.
5. Eficiencia energética.	5. Aumentar la satisfacción operativa de los equipos.

En el año 1996 el Ingeniero Takutaro Suzuki y entonces presidente del JIPM Instituto Japonés de Mantenimiento de Plantas público su libro “TPM in Process Industries” [39] en donde se evidencian los beneficios de la implementación de la metodología resultando en mejoras dramáticas en calidad, costo de producción y entrega de productos. Entre otros conceptos fundamentales se evidencian la estructuración de los 8 Pilares del TPM.

Los 8 pilares de TPM indican una ruta a seguir para lograr los objetivos de eliminar o reducir las pérdidas: como son Paradas programadas, Ajustes de la producción, Fallos de los equipos, Fallos

de los procesos, Pérdidas de producción normales, Pérdidas de producción anormales, Defectos de calidad y Reprocesamiento. Los 8 pilares del mantenimiento TPM son:

- 1) Mejoras Enfocadas (Kobetsu Kaizen)
- 2) Mantenimiento Autónomo (Jishu Hozen)
- 3) Mantenimiento planificado
- 4) Mantenimiento de Calidad (Hinshitsu Hozen)
- 5) Prevención del mantenimiento
- 6) Actividades de departamentos administrativos y de apoyo
- 7) Formación y Adiestramiento
- 8) Gestión de Seguridad y Entorno

Primer Pilar – Mejoras Enfocadas o Kobetsu Kaizen: Las mejoras enfocadas permiten optimizar los recursos de la gerencia mediante la implementación de actividades desarrolladas con el propósito de mejorar la eficiencia global de los equipos, operaciones y del sistema en general. Estas mejoras son incrementales y sostenibles y se llevan a cabo a través de una metodología orientada al mantenimiento hacia sistemas de mejora y a la eliminación de las limitantes de los equipos.

Las mejoras enfocadas buscan encontrar una oportunidad de crecimiento dentro de la planta implementando herramientas estratégicas de gerencia de ingeniería a fin de disminuir las pérdidas.

Segundo Pilar – Mantenimiento Autónomo o Jishu Hozen: Este pilar de la metodología TPM es parte fundamental del desarrollo del presente trabajo de investigación pues en lo particular se identifica como un pilar principal de la metodología TPM que puede implementarse de manera practica en el desarrollo de la metodología Mantenimiento Preventivo Confiable MPC.

En este pilar se busca integrar el trabajo del operador con el de operario de mantenimiento como parte integral de la gestión del mantenimiento, en este sentido busca brindar herramientas para que el operador esté listo para hacer algunos mantenimientos básicos, procedimientos operativos y actividades rutinarias de reporte de fallas entre otras de mantenimiento.

Como metodología específica de mantenimiento autónomo, el Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM) recomienda el siguiente procedimiento:

TABLA 3. PASOS DEL MANTENIMIENTO AUTÓNOMO

Etapa	Nombre	Descripción
1	Limpieza inicial (limpieza profunda).	Eliminación de suciedad, escapes, polvo, identificación de fugas y ajustes menores.
2	Acciones correctivas en la fuente.	Evitar que el equipo se ensucie nuevamente, facilitar su acceso, inspección y limpieza inicial; reducir el tiempo empleado en la limpieza profunda.
3	Preparación de estándares de inspección.	Se diseñan y aplican estándares provisionales para mantener los procesos de limpieza, lubricación y ajuste. Una vez validados se establecerán en forma definitiva.
4	Inspección general.	Entrenamiento para la inspección haciendo uso de manuales, eliminación de pequeñas averías y mayor conocimiento del equipo a través de la verificación.
5	Inspección autónoma.	Formulación e implantación de procedimientos de control autónomo.
6	Estandarización.	Estandarización de los elementos a ser controlados. Elaboración de estándares de registro de datos, controles a herramientas, moldes, medidas de producto, patrones de calidad, etc. Elaboración de procedimientos operativos estándar.
7	Control autónomo pleno.	Aplicación de estándares
		Aplicación de políticas establecidas por la dirección de la empresa. Empleo de tableros de gestión visual (Andon), tablas MTBF y tableros Kaizen.

Nota: tomado de <http://mx.geocities.com/simatpm/mautonomo.html>

Tercer Pilar – Mantenimiento Planificado: El mantenimiento planificado es la base de cualquier programa de mantenimiento y establece actividades necesarias para prevenir los fallos básicos de un equipo y asegurar que este funcione correctamente evitando cualquier interrupción o pérdida no programada, de igual modo este pilar también es parte fundamental de la metodología TPM. El mantenimiento planificado es aquel que se fundamenta en la recolección de datos y excelente análisis de indicadores que permitan planear los mantenimientos preventivos que logren disminuir los costos e incrementar la disponibilidad de la maquinaria. Este tercer pilar del TPM corresponde al mejoramiento incremental y sostenible de los equipos, instalaciones y el sistema en general, con el propósito de lograr el objetivo de cero averías mediante las intervenciones preventivas de mantenimiento.

Cuarto Pilar – Mantenimiento De Calidad o Hinshitsu Hozen: Este pilar hace referencia al análisis de mantenimiento preventivo para identificar los factores del equipo que pueden generar defectos de calidad y establecer rangos estándar para los factores del equipo que pueden generar defectos de calidad y determinar sus respectivos procesos de medición.

El mantenimiento de calidad permite definir la producción en términos del impacto de la maquinaria en la misma, además de las tolerancias con se puede trabajar y cuantos defectos surgen en cada proceso. Los defectos surgen por un problema de la Máquina, por un problema del Material, por un problema del Método o Mano de obra que se conoce como 3M. En el mantenimiento de calidad es muy importante contar con herramientas y tecnología adecuada, que van desde técnicas de control de calidad, hasta instrumentos precisos de medición y predicción.

El Japan Institute of Plant Maintenance propone nueve etapas para el desarrollo del mantenimiento de calidad, estas son:

- Etapa 1: Identificación de la situación actual del equipo.
- Etapa 2: Investigación de la forma como se generan los defectos.
- Etapa 3: Identificación, análisis y reporte de causas y efectos en materiales, máquinas y mano de obra (3M).
- Etapa 4: Estudiar las acciones correctivas.
- Etapa 5: Estudiar las condiciones del equipo para unidades no defectuosas.
- Etapa 6: Realizar eventos de mejora enfocada aplicada a las 3M.
- Etapa 7: Definir estándares de las 3M.
- Etapa 8: Reforzar los métodos de inspección.
- Etapa 9: Valorar los estándares utilizados.

Quinto Pilar – Prevención del Mantenimiento: El objetivo de este pilar busca reducir los costos de mantenimiento de los equipos a partir del diseño efectivo de los mismos, estas actividades de mejora se realizan durante la fase de diseño, construcción y puesta a punto de los equipos. Este pilar se orienta hacia la planificación e investigación sobre las nuevas máquinas que pueden ser utilizadas o el rediseñar de los procesos.

Las técnicas de prevención de mantenimiento se fundamentan en la teoría de la confiabilidad que se explicará más adelante en el capítulo relacionado al mantenimiento centrado en confiabilidad RCM.

Sexto pilar – Actividades de departamentos administrativos y de apoyo: este pilar está enfocado en incrementar la productividad desde los departamentos administrativos, quitando procesos que

no generen valor al producto final, para ello se debe aplicar mapa de cadena de valor transaccional y encontrar oportunidades de mejora en tiempos y errores.

Séptimo Pilar – Formación y adiestramiento: la formación debe ser polivalente, de acuerdo a lo que necesita la planta y la organización, muchos de los desperdicios se deben a que las personas no están bien adiestradas, por ello la planificación de la formación de las personas deben salir de las oportunidades encontradas en el desempeño de los empleados y operarios. El pilar de educación y entrenamiento se enfoca en garantizar el desarrollo de las competencias del personal, teniendo en cuenta los objetivos de la organización.

El pilar de educación y entrenamiento tiene como prioridades el desarrollo de personas competentes en términos de equipamiento, actividades analíticas avanzadas de mantenimiento; establecimiento de centros de entrenamiento en actividades de mantenimiento, promoción de especialistas, líderes de programas de mantenimiento autónomo, alistamiento, predicción, prevención, desarrollo de habilidades y participación.

Octavo Pilar – Gestión de Seguridad y Entorno: Todo programa y metodología de mantenimiento industrial debe tener como eje fundamental la prevención y la seguridad de los operarios y el medio ambiente, en este sentido este pilar se refiere a disminuir el impacto a medio ambiente y minimizar el riesgo en funcionamiento del equipo.

Este pilar del TPM busca evitar los accidentes de trabajo, cero accidentes y cero contaminaciones mediante una buena gestión del mantenimiento se contribuye también al bienestar de todos los trabajadores. Un buen mantenimiento de los equipos y edificios puede ayudar a reducir el riesgo de accidente y afectaciones ambientales, en este sentido se deben realizar estudios de operatividad combinados con estudios de prevención de accidente. Todos los estudios de tiempos y movimientos deben tener su análisis de riesgos de seguridad.

2) *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)*

El mantenimiento centrado en confiabilidad RCM (Reliability Centered Maintenance) es una metodología de análisis sistemática, documentada que puede se puede utilizar en cualquier proceso

industrial que quiera desarrollar un plan eficiente de mantenimiento, que permita evaluar cada equipo o sistema y sus posibles fallas funcionales dirigiendo sus esfuerzos a mantener la función de los equipos más que los equipos mismos, por tal motivo en palabras de Pérez Jaramillo [40] el RCM es un proceso utilizado para determinar lo que debe hacerse para asegurar que todo activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su actual contexto operacional. Al igual que la filosofía TPM explicada anteriormente, esta filosofía de mantenimiento centrado en confiabilidad se estudia a detalle pues también es parte fundamental del desarrollo de este proyecto de investigación. El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM – Reliability Centered Maintenance) no solo permite identificar factores determinantes para garantizar que un equipo realice lo que sus usuarios quieren en su contexto operacional, sino que aborda también el análisis de aspectos relacionados con el impacto sobre la seguridad de las personas, el medio ambiente y la calidad del producto.

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM provee un metodología aplicable a los equipos críticos de una empresa con el fin de mejorar el manejo de las fallas, éste consiste en identificar los lineamientos que deben aplicarse a la gestión de los modos de fallo que podrían causar el fracaso funcional de todos los elementos físicos que los afectan, también busca clasificar todas las fallas del activo en estudio basándose en la forma en que suceden, sus efectos, y sus consecuencias; separando además las fallas ocultas de las evidentes y jerarquizando la importancia que tiene cada modo de falla, a fin de establecer las tareas proactivas que deberían realizarse para solucionarlos. El proceso RCM se fundamenta en la filosofía del mantenimiento proactivo, esta técnica se basa en la identificación de las causas que originan las fallas en equipos, componentes e instalaciones industriales, implementando soluciones mediante el desarrollo de tareas proactivas para el manejo de cada modo de falla y la reducción de sus consecuencias, justificadas en los costos directos e indirectos de realizarlas.

El desarrollo de este trabajo en su eje de confiabilidad se centra mayormente en el texto de Jhon. Moubray, Reliability Centered Maintenance RCM II y es parte fundamental del marco teórico de la presente investigación. El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM describe las acciones que se deben tomar para manejar la falla de la siguiente manera [41].

Tareas proactivas: Estas se llevan a cabo antes de que ocurra la falla, con el objetivo de prevenir que el componente llegue a un estado de falla, estas tareas abarcan lo que comúnmente se denomina mantenimiento predictivo y preventivo; aunque para efectos del proceso RCM se utilizan los términos de reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica, y mantenimiento a condición. Cada tarea proactiva es diseñada para prevenir un modo de falla, teniendo en cuenta la factibilidad económica de realizarla o no.

Acciones a falta de: Esta trata con el estado de falla, y son elegidas cuando nos es posible identificar una tarea proactiva efectiva. Las acciones a falta de, incluyen las búsquedas de las fallas, el rediseño, y mantenimiento a rotura.

Según el ingeniero mecánico John Moubray en su libro Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, el proceso RCM formula siete preguntas acerca del activo o sistema que se intenta revisar, este es el fundamento metodológico del proceso RCM y se basa en la resolución de las siete (7) preguntas relacionadas a continuación.

- I. ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
- II. ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
- III. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
- IV. ¿Qué sucede cuando ocurre la falla?
- V. ¿En qué sentido es importante la falla?
- VI. ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
- VII. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

Esta metodológica RCM determina los activos críticos, y esclarece cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados dentro de su actual contexto operacional, utilizando el término falla funcional o estado de falla para describir estados de falla y llama a los eventos que causaron el estado de falla como “modos de falla”, pues es más preciso definir la falla como la pérdida de una función en lugar de decir que ha fallado el activo completamente, todo esto permite entender el estado de falla del activo, la manera en que se da, brindándonos la posibilidad de tomar medidas de mantenimiento sobre la misma, según Moubray “una falla funcional se define como la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario”.

a) ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS POTENCIALES (AMEF)

El Análisis de modos y efectos de fallas potenciales AMEF, es un proceso analítico y sistemático para la identificación de las fallas, estandarizado por la norma SAE J1739, y se realiza con el propósito de buscar e identificar los posibles modos de falla causantes de cada falla funcional, y determinar los efectos de falla asociados con cada modo de falla.

Este es un elemento fundamental de la metodología de Mantenimiento Preventivo Centrado en Confiabilidad RCM y es una herramienta que se aplica de manera integral en la presente investigación en la metodología de Mantenimiento Preventivo Confiable MPC producto de este trabajo de grado. Con el desarrollo de esta etapa se quiere dar respuesta a la manera en que ocurren las fallas de los activos y cuáles son las causas de las fallas funcionales. Esta fase podría considerarse una de las más importantes, si no la más importante del proceso RCM, convirtiéndose en la mejor fuente de información acerca del funcionamiento de los activos de una empresa.

Un modo de falla es la manera en que los eventos desencadenados generan la falla del activo, es la manera específica y precisa de la forma en que el activo falló, es por eso que se hace necesario la identificación de estos modos de falla, registrando toda la información en una hoja RCM en donde se debe especificar el listado de fallas funcionales junto con los posibles modos de falla que pudieron causar cada falla funcional. Entendidos los modos de falla se ejecutan las tareas de mantenimiento necesarias para solucionarlos, de manera que se establezcan las formas en la que debería ser manejado el modo de falla en búsqueda de su reparación. Estos modos de falla deben ser encasillados en los seis diferentes patrones de falla, que muestran la probabilidad condicional de la falla con relación a la edad operacional del elemento de la máquina. Identificar los modos de falla es la base del mantenimiento proactivo.

El efecto de falla describe lo que pasa cuando ocurre un modo de falla, con base a evidencias de la falla, daños físicos, y un análisis para establecer si la falla podría afectar las operaciones, la seguridad y el medio ambiente. Es necesario describir los efectos de falla de forma clara, como, por ejemplo, indicando si la falla va acompañada de efectos físicos, si genera algún riesgo para la salud del operario, y su tiempo de reparación estimado para mantenerlo. Además de describir el efecto ocasionado por la falla, los efectos de falla deben referir los procedimientos necesarios para reparar la falla.

El fin último del proceso RCM trata de dar respuesta al sentido e importancia de las fallas, para lo cual se debe analizar todas las funciones asociadas a los modos de falla y sus efectos, estableciendo de qué manera afecta cada falla el desarrollo normal de la empresa, en otras palabras, se debe establecer las consecuencias que tienen las fallas en la producción, la calidad, el servicio, los costos y la seguridad tanto de operarios, así como del medio ambiente. Las consecuencias de falla determinan los esfuerzos que deben hacerse desde el departamento de mantenimiento para eliminar, evitar o por lo menos reducir la tasa de falla de maquinaria.

El producto del análisis de las consecuencias de falla aclara las tareas proactivas necesarias que deben ejecutarse para solucionar el modo de falla, determinando las tareas proactivas necesarias para solucionarla en el contexto de su viabilidad técnica, dejando como resultado la determinación de si merece la pena ser realizada una tarea proactiva. Según Moubray, una tarea proactiva merece la pena si reduce las consecuencias del modo de falla asociado a un grado tal que justifique los costos directos e indirectos de hacerla”, si después del análisis de las consecuencias no es posible encontrar una tarea proactiva adecuada, se debe indicar que la acción “a falta de” debería realizarse.

Finalmente, debe tenerse en cuenta que una falla tiene consecuencias significativas, y es de vital importancia tratar de prevenirlas. Por otro lado, si las consecuencias no son significativas, entonces no merece la pena hacer cualquier tipo de mantenimiento sistemático que no sea el de las rutinas básicas de lubricación y servicio. Por esta razón en este punto del proceso del RCM, es necesario preguntar si cada falla tiene consecuencias significativas. Si no es así, la decisión normal a falta de ellas es un mantenimiento que no sea sistemático, sí por el contrario fuese así, el paso siguiente sería preguntar qué tareas sistemáticas proactivas se deben de realizar. Sin embargo, el proceso de selección de las tareas proactivas no puede ser revisado significativamente sin considerar primero el modo de falla, sus efectos y sus consecuencias.

El mantenimiento RCM formula estrategias para el manejo de fallas y la administración de los activos de la empresa y busca integrar todos los procesos de decisión para el manejo de todos y cada uno de los modos de falla registrados durante el proceso, detallando y determinando las tareas de rutina y las acciones con el fin de asegurar la mantenibilidad del equipo.

La aplicación del proceso RCM a una planta industrial, conduce a una comprensión precisa de sus funciones y la forma en que se debe enfrentar el mantenimiento para asegurar que estas preserven

su funcionalidad a lo largo de tiempo. La implementación del RCM debe hacer a los equipos más seguros y confiables reduciendo costos directos e indirectos, mejorando la calidad del producto y cumpliendo las normas de seguridad y medio ambiente. También está asociado a beneficios humanos, como mejora en la relación entre distintas áreas de la empresa, fundamentalmente un mejor entendimiento entre mantenimiento y operaciones. El proceso de implementación RCM tiene como objetivo final establecer formalmente las recomendaciones rutinarias (previamente aprobadas por el personal de la planta) que se deben llevar a cabo para asegurar de manera confiable que el activo va a continuar haciendo lo que sus usuarios quieren que haga, describiendo de forma clara y concisa las tareas proactivas a realizarse.

VI. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA MANTENIMIENTO PRODUCTIVO CONFIABLE MPC PARA LA PLANTA DE ZAPATERÍA DEL BATALLÓN DE INTENDENCIA NO.1 “LAS JUANAS”.

El desarrollo de este capítulo pretende diseñar e implementar la estructura metodológica del programa “Mantenimiento Productivo Confiable” MPC para la planta de zapatería del Batallón de Intendencia No.1 “Las Juanas”, esta herramienta es aplicable a cualquier departamento de mantenimiento industrial de empresas públicas y privadas.

Durante este capítulo se pretende dar solución integral a los objetivos específicos planteados en el desarrollo de esta investigación y es columna vertebral de este documento, así pues, este segmento aborda el desarrollo teórico metodológico y realiza la implementación práctica de cada fase aplicada de manera práctica a la planta de zapatería del Batallón de Intendencia No.1 “Las Juanas”; para ello este capítulo discrimina el paso a paso metodológico del Mantenimiento Productivo Confiable MPC y su implementación práctica.

Esta estructura metodológica integra diversos factores relacionados en el marco teórico del presente trabajo, teniendo como eje central el análisis de los programas de mantenimiento implementados en diferentes empresas nacionales e internacionales bajo metodologías de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM y mantenimiento productivo total TPM, de igual modo integra diferentes herramientas de gerencia de ingeniería adquiridas en la maestría en

ingeniería de la Universidad ECCI y a nivel práctico en el ejercicio como Ingeniero de Mantenimiento.

El desarrollo de esta metodología denominada “Mantenimiento Productivo Confiable” MPC busca ser una alternativa práctica para los gerentes de mantenimiento de cualquier empresa industrial y genera un paso a paso que permitirá aplicar un programa de mantenimiento preventivo que integra elementos gerenciales y técnicos enfocados en dar una nueva perspectiva holística de la gerencia del mantenimiento industrial.

Como primera medida se establecen las bases de la metodología que están enfocadas en entender el contexto operacional propio de la empresa objeto del programa de mantenimiento MPC, de igual modo se hace un estudio exhaustivo del entorno de competitividad empresarial y su prospectiva definiendo las capacidades de la empresa y las estrategias que puedan generar ventajas competitivas a nivel regional y mundial.

Consecutivamente la metodología de Mantenimiento Productivo Confiable MPC se centra en realizar estudios de vigilancia tecnológica que captan información del exterior y de la propia organización, sobre ciencia y tecnología que sirvan para tomar decisiones con menor riesgo y poder anticiparse a los cambios.

Como tercer bloque temático, la metodología de Mantenimiento Productivo Confiable MPC aborda el estudio de la planeación estratégica empresarial desde el compromiso de toda la organización en la búsqueda conjunta de los objetivos estratégicos generando valor en cada uno de los procesos internos, en este segmento se establecen y jerarquizan todas las partes interesadas en la organización mediante matrices y estudios relacionados a los Stakeholders, análisis externo PESTEL y la estructuración de la matriz y estrategias DOFA.

El cuarto segmento de la metodología de “Mantenimiento Productivo Confiable” MPC se enfoca en el análisis directo del mantenimiento industrial de la organización, teniendo como primer objetivo establecer una auditoría de mantenimiento que permita dar luces del estado actual de la empresa; de igual modo en este punto se deben realizar una codificación de los activos basados en una clasificación taxonómica y un análisis de criticidad de maquinaria y análisis de modos y efectos de falla de cada componente incluido en la tasa falla de cada máquina industrial de la planta. La metodología de Mantenimiento Productivo Confiable MPC se enfoca en la implementación de estrategias que propendan la integración del operario de producción como el

nivel más básico del mantenimiento generando estrategias de formación, capacitación y mantenimiento autónomo.

La metodología de Mantenimiento Productivo Confiable MPC concluye con el desarrollo de herramientas estadísticas que pueden ayudar al gerente de mantenimiento en la toma diaria de decisiones y la implementación de acciones de mejora continua por medio de estrategias que permitan a la empresa minimizar las fallas de maquinaria, disminuir costos e incrementar la productividad y confiabilidad de la empresa de forma permanente.

Por último, se cierra el ciclo metodológico MPC haciendo hincapié en la mejora continua de los procesos teniendo como fundamento el reconocimiento de fallas y el establecimiento de planes de mejoramiento continuos y prácticos. De igual manera se establece un espacio para definir los recursos económicos mínimos que se requieren la implementación de la metodología MPC y los beneficios económicos que pueden obtenerse luego de su completa implementación en empresas tanto publicas como privadas.

De manera general la metodología de Mantenimiento Productivo Confiable MPC se divide en 9 pasos los cuales se describen a continuación.

PASO 1. DEFINICIÓN Y MARCO CONTEXTUAL DE LA EMPRESA.

PASO 2. COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL Y PROSPECTIVA.

PASO 3. VIGILANCIA TECNOLÓGICA.

PASO 4. PLANEACIÓN ESTRATÉGICA.

PASO 5. AUDITORÍA DE MANTENIMIENTO.

PASO 6. ANALISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS Y ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA.

PASO 7. CAPACITACIÓN Y MANTENIMIENTO AUTÓNOMO.

PASO 8. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.

PASO 9. MEJORA CONTINUA.

PASO 10. ANÁLISIS ECONÓMICO

Los 10 pasos metodológicos MPC anteriormente relacionados se abordan desde dos perspectivas, la primera desde el punto de vista teórico y metodológico que permiten entender y fundamentar la estructura metodológica MPC a desarrollar y una segunda perspectiva desde práctica determinada

a partir de la implementación de la metodología MPC en la planta de zapatería del Batallón de Intendencia No.1 “Las Juanas”.

A. PASO 1. METODOLOGÍA MPC: DEFINICIÓN Y MARCO CONTEXTUAL DE LA EMPRESA.

1) DEFINICIÓN PASO 1. METODOLOGÍA MPC: DEFINICIÓN Y MARCO CONTEXTUAL DE LA EMPRESA.

Entender el contexto operacional de cualquier planta de producción es la línea de partida para el desarrollo de cualquier programa de mantenimiento; esta es la primera etapa del Mantenimiento Productivo Confiable MPC y en la cual se debe definir y delimitar el marco contextual de la empresa o industria que se quiere intervenir, es decir, es el escenario físico o las condiciones temporales que dictaminan la situación general de la empresa y que describen el entorno general del trabajo investigativo. De forma general, este marco contextual puede contener aspectos técnicos, sociales, culturales, históricos y económicos que se consideren relevantes para hacer una aproximación al objeto del estudio.

El marco contextual influye en los objetivos generales y específicos del cualquier proyecto, según Hernández Sampieri [42] el marco contextual es una definición tradicional de espacio físico y temporal, así como las circunstancias que rodean un evento. La ubicación y la zona de influencia o de cobertura constituyen conceptos básicos que no deben faltar en la elaboración del marco contextual.

De manera general, en esta primera etapa del MPC se debe hacer una contextualización general de la empresa que va a ser intervenida en la estructuración de un programa de mantenimiento, de esta manera se busca establecer características espaciales, técnicas e ingenieriles del proceso productivo propio de cada compañía. Es importante realizar un censo de los recursos con los que cuenta actualmente la empresa, como son los activos fijos de maquinaria, instalaciones, redes, personal, líneas de manufactura y demás características propias de cada empresa.

De igual manera este primer paso de la metodología MPC dentro de la contextualización de la empresa también tiene en cuenta el cliente final de proceso productivo, para lo cual esta contextualización se complementa mediante la estructuración de un Mapa de Empatía; este Mapa de Empatía fue diseñado por Dave Gray, autor y fundador de XPLANE, una firma consultora que utiliza herramientas visuales para potenciar la visión estratégica de sus clientes y fue masificado gracias a Alex Osterwalder e Yves Pigneur que la incluyeron en su libro Business Model Generation [43]. Este mapa permite identificar el prototipo de cliente estándar de la organización dando a 6 respuesta a preguntas relacionadas con las percepciones y sentimientos del cliente objetivo de la empresa; estas preguntas son ¿Qué piensa y siente?, ¿Qué escucha?, ¿Qué hace?, ¿Qué ve?, ¿Cuáles son sus dolores?, ¿Cuáles son sus necesidades?

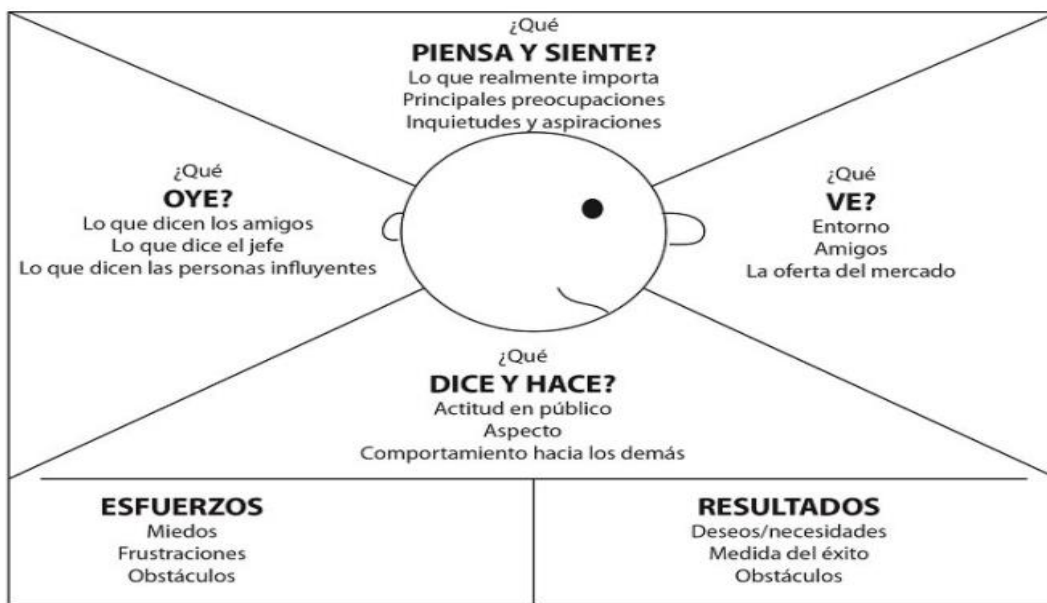


Fig. 1. Mapa de empatía, Fuente: Business Model Generation. [39]

2) APLICACIÓN PASO 1. METODOLOGÍA MPC: DEFINICIÓN Y MARCO CONTEXTUAL PLANTA DE ZAPATERÍA BATALLÓN DE INTENDENCIA No.1 “Las Juanas”.

El Batallón de Intendencia N.º 1 “Las Juanas”, es una Unidad Táctica Militar perteneciente a la Brigada logística No.1 del Ejército Nacional de Colombia; es denominada como la “Joya de la corona de la Logística Militar en Colombia” por su alta capacidad de producción y su trayectoria

de más de 93 años manufacturando el material de intendencia para garantizar la identidad de los más de 260.000 hombres y mujeres que actualmente integran las filas del Ejército Nacional de Colombia.

El Batallón de Intendencia N.º 1 “Las Juanas” de manera general está organizado como cualquier es que es una unidad 100% productiva en donde más del 95% de los trabajadores son Civiles contratados bajo la figura denominada Trabajadores Oficiales del Ejército nacional de Colombia. La planta de Zapatería del Batallón de Intendencia N.º 1 “Las Juanas” es la encargada de fabricar las botas de combate para los integrantes del Ejército Nacional de Colombia con una capacidad de producción de más de 2.000 pares de botas al día. La planta cuenta con 340 trabajadores oficiales y 170 máquinas industriales, está distribuida en cinco áreas en donde se llevan a cabo los principales procesos de manufactura para la elaboración de la bota militar las cuales son Corte, Troquel, Guarnición, Hormado y Suelas.

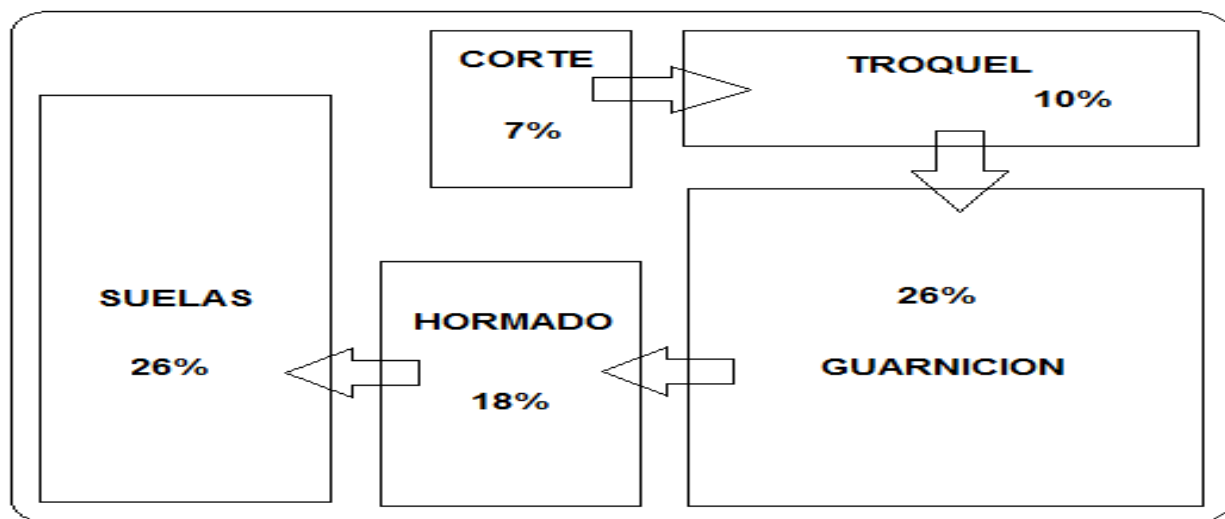


Fig. 2. Distribución Procesos Planta Zapatería BAIINT.

El proceso de fabricación de las botas de combate elaboradas por la planta de zapatería del Batallón de Intendencia No.1 “Las Juanas” es llevado a cabo en 5 etapas como se muestra en la figura de distribución de planta, en las dos primeras etapas de Corte y Troquel se realiza el corte de todas las piezas de cuero que componen la bota de combate, de igual modo en esta etapa se dejan listas todas las partes de cuero para su posterior costura en la etapa tres que corresponde al proceso de Guarnición en donde las piezas de cuero son unidas mediante maquinaria de costura; seguidamente la bota cocida adquiere su forma en la etapa cuatro de Hormado, en donde por medio de máquinas térmicas se da forma a la bota de combate y el cuero adquiere su forma final; por último en la etapa

cinco denominada Suelas se realiza la vulcanización de las suelas y se efectúa el pulido y empaque para su entrega al cliente final.

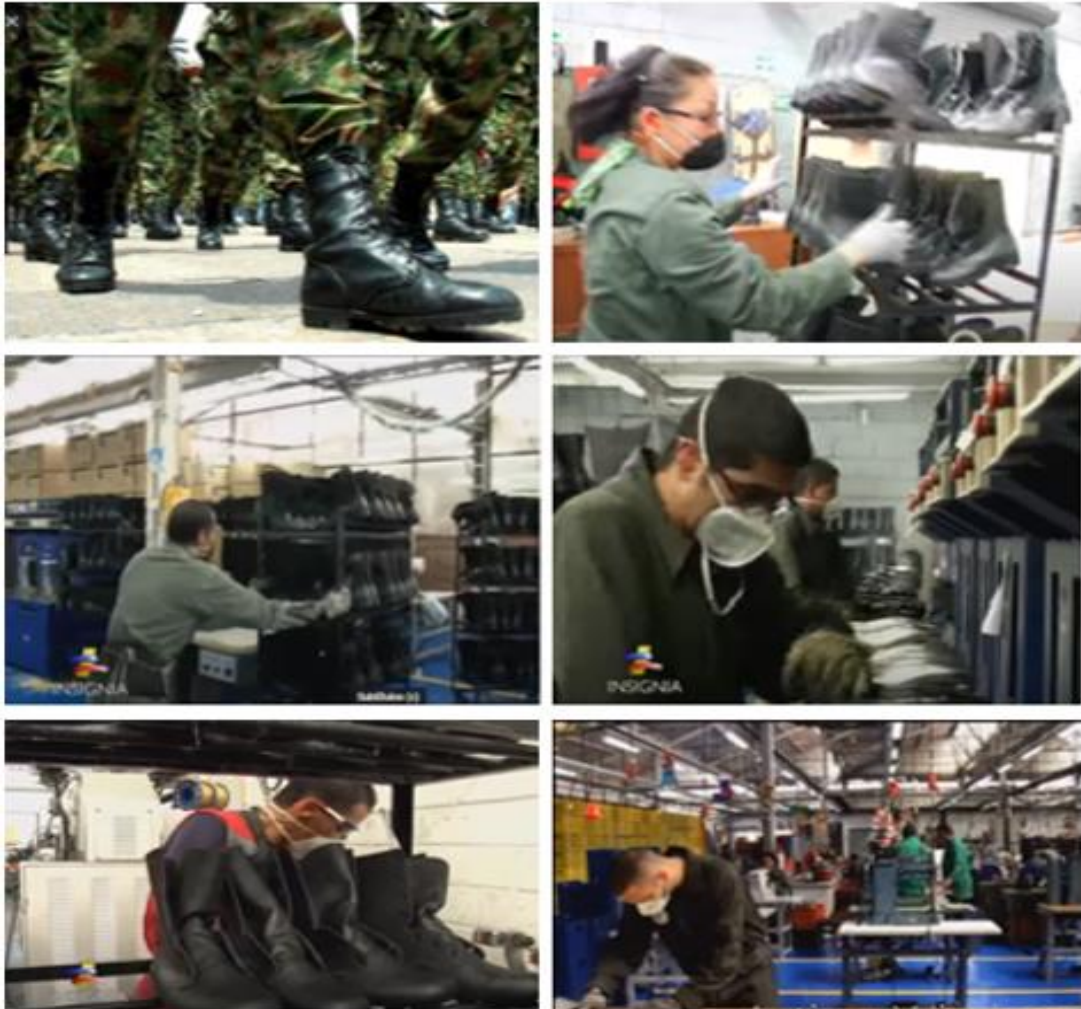


Fig. 3. Proceso productivo planta de zapatería BAIN.T.

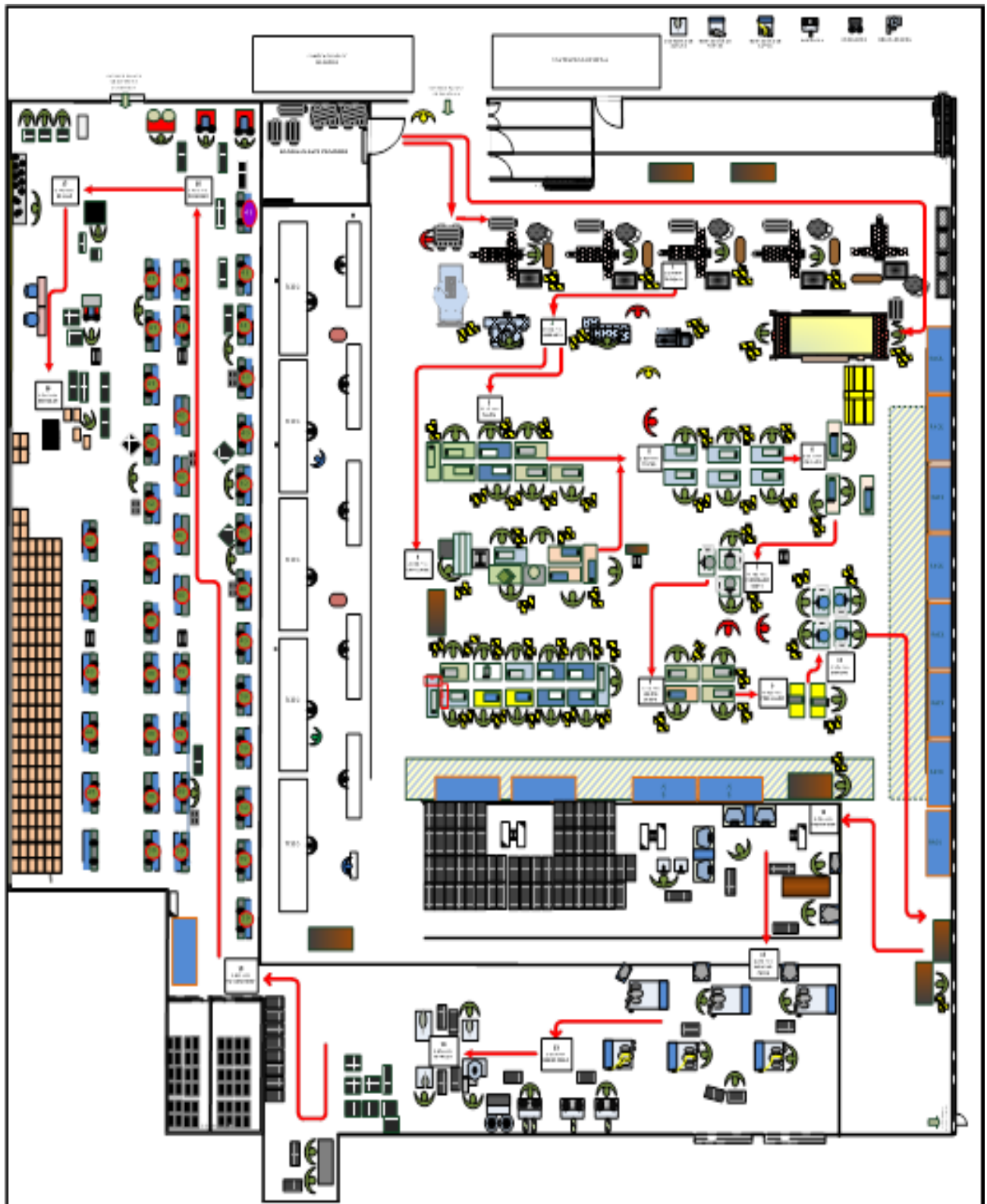


Fig. 4. Distribución BIAINT.

Para el desarrollo del Mapa de Empatía de la planta de Zapatería del Batallón de Intendencia No. 1 “Las Juanas”, se toma como referencia el soldado colombiano quien es el principal cliente de las botas de combate fabricadas por la planta de zapatería del batallón de Intendencia No.1 “Las Juanas”, para ello se toma como referencia un soldado colombiano entre los 18 y 35 años. Este mapa de empatía busca describir el cliente ideal de la empresa por medio de análisis de 6 aspectos, relacionados a los sentimientos del ser humano a partir de preguntas que ayudan a conocer el cliente y como relacionarse con él.



Fig. 5. Mapa de Empatía de la planta de Zapatería BAIN.T.

B. PASO 2. METODOLOGÍA MPC: COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL Y PROSPECTIVA

1) DEFINICIÓN PASO 2. METODOLOGÍA MPC: COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL Y PROSPECTIVA

Esta sección hace referencia al estudio de la Competitividad empresarial y Prospectiva como la solución a comprender la realidad de cualquier organización, y la forma correcta en prepararse para los cambios y riesgos a los que se puede ver enfrentada la organización. La competitividad empresarial se logra cuando se tiene un estudio prospectivo empresarial, teniendo en cuenta que la prospectiva de manera general es el estudio de las causas que aceleran la evolución del mundo y la previsión de las situaciones que se pueden anticipar y pronosticar con el objetivo de crear estrategias que permitan direccionar a la organización a superar los posibles retos del futuro y ser competitivos.

La Prospectiva es un factor diferencial para alcanzar la Competitividad empresarial de las organizaciones, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) define la palabra Prospectiva [44] como el “Conjunto de tentativas sistemáticas para observar a largo plazo el futuro la ciencia, la tecnología, la economía y la sociedad con el propósito de identificar las tecnologías emergentes que probablemente produzcan los mayores beneficios económicos o sociales.”,

Para Osterwalder y Pigneur [43] la Competitividad empresarial es la producción de bienes y servicios de mayor calidad y menor precio que los competidores domésticos e internacionales, lo que se traduce en crecientes beneficios para los habitantes de una nación al mantener o aumentar los ingresos reales. Anticipar el futuro es una ventaja competitiva enorme, ya que permite evitar riesgos y aprovechar al máximo las oportunidades. Una vez se tiene una visión aproximada del futuro, se pueden llevar a cabo acciones u omisiones que influyan en el transcurso de los hechos y en la definición de los escenarios más favorables. De ahí, la importancia de conocer la Prospectiva y dominar el Análisis Prospectivo para saber qué hacer en el presente para llegar al futuro más adecuado.

El desarrollo del Paso No.2 de la metodología MPC (Competitividad Empresarial y Prospectiva) busca generar el modelo prospectivo de la empresa mediante la aplicación de dos herramientas conocidas como el árbol de Competencias y la identificación de los Factores de cambios.

El árbol de competencia es una metodología que permite analizar los estados, pasado, presente y futuro de una empresa, este análisis tiene en cuenta tres elementos principales:

1. Las raíces (las competencias técnicas, el know how)
2. El tronco (la capacidad de producción)
3. Las ramas (las líneas de productos)

2) APLICACIÓN PASO 2. METODOLOGÍA MPC: COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL Y PROSPECTIVA PLANTA DE ZAPATERÍA BATALLÓN DE INTENDENCIA No.1 “Las Juanas”.

La aplicación del paso No.2 de la metodología MPC en la planta de zapatería del Batallón de Intendencia No.1 “Las Juanas” genera dos herramientas que permiten estructurar y analizar el nivel de competitividad empresarial actual de la empresa y su prospectiva; como primera parte se muestra el árbol de competencias de la planta que analiza raíces, tronco y ramas de la organización, identificando los detonantes que generaron cambios de estados pasados (año 2010), estados presentes (año 2021) y estados futuros año (2030).

Como segunda parte se muestra la evaluación de diferentes factores de cambio de la planta de zapatería del Batallón de Intendencia No.1 “Las Juanas”, jerarquizándolos mediante una ponderación que permite su clasificación en factores críticos, factores medianamente críticos y factores no críticos.

Tabla 4. Árbol de las competencias de la planta de zapatería batallón de intendencia No. 1 “Las Juanas”.

PARTE DEL ARBOL	PASADO (2010)	CAMBIOS	PRESENTE (2021)	CAMBIOS	FUTURO (2030)
RAMAS (MERCADERO – PRODUCTOS)	FABRICACIÓN DE BOTA DE COMBATE JUNGLA PARA 320.000 MIEMBROS DEL EJÉRCITO NACIONAL DE COLOMBIA.	<ol style="list-style-type: none"> 1.Necesidad de mejoras en la ergonomía, diseño y materiales de las botas de combate, a fin de evitar problemas ortopédicos en las extremidades inferiores 2. Disminución del pie de fuerza como resultado de los procesos de paz y desmovilización. 	Fabricación de botas de combate tipo desierto, jungla y zapatos de gala para 260.000 miembros del ejército nacional de Colombia.	<ol style="list-style-type: none"> 1.Requerimiento de fuerzas militares extranjeras de los productos militares colombianos 2. Desarrollo de nuevas tecnologías confort, diseño y materiales de las botas de combate. 3.Nuevos materiales para la fabricación de productos de zapatería 	Fabricación de botas de combate inteligentes y adaptables a cualquier terreno, con una línea de manufactura flexible para ejército nacional y con capacidad de abastecimiento de productos militares a fuerzas armadas internacionales
TRONCO (CAPACIDAD DE PRODUCCION)	CAPACIDAD DE PRODUCCION DE 1.000 PARES DE BOTAS DIARIOS CON 140 MÁQUINAS INDUSTRIALES Y 120 TRABAJADORES OFICIALES	<ol style="list-style-type: none"> 1.Capacidad productiva insuficiente 2.Contratación de operarios de producción y personal técnico de mantenimiento 3.Política de estado de incrementar la dotación anual de cada soldado 	Capacidad de producción de 2.000 pares de botas de combate diarios con 170 máquinas industriales y 340 trabajadores oficiales	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cambio en la tecnología de producción, específicamente en la suela de la bota cambiando proceso de vulcanizado actual por suela preformada. 2. Cambio del proceso de manufactura para el aumento de la capacidad de producción. 3. Adquisición de maquinaria industrial marroquinera de última generación (cortadoras automáticas, montadoras de puntas y de cuños automatizadas, línea de manufactura continua). 	Capacidad de producción de 4.000 pares diarios de botas de combate con 160 máquinas industriales y 340 trabajadores oficiales
RAICES (COMPETENCIAS Y SABER HACER)	SISTEMA DE PRODUCCIÓN CELULAR-MANTENIMIENTO CORRECTIVO	<ol style="list-style-type: none"> 1.sistematización del sistema de información de producción y mantenimiento mediante la implementación del software SAP. 2. Certificaciones de calidad ISO y mejora del sistema integrado de gestión. 3.Implantación del sistema de seguridad industrial 	Sistema de producción en línea-mantenimiento preventivo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mejoras en los reprocesos, calidad, tiempos perdidos y aumento de la capacidad de producción. 2. Cambio de la cultura organizacional, implementación de metodologías lean manufacturing. 3. Implantación de políticas de mantenimiento proactivo. 	Sistema de producción mixto y flexible - Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) -Mantenimiento Productivo Total (TPM)

FACTORES DE CAMBIO PLANTA DE ZAPATERÍA BATALLÓN DE INTENDENCIA NO. 1 “LAS JUANAS”.

La evaluación de los factores de cambio de la Planta de Zapatería del Batallón de Intendencia No.1 “Las Juanas” se realiza con el objetivo de jerarquizar los diferentes elementos que componen el árbol de competencias de la empresa y se basa en la clasificación de tres factores principales ponderados determinándolos como Factores Críticos (FC), Factores Medianamente Críticos (FMC) y Factores No Críticos (FNC) cuyos valores van de 0 a 10.

Así mismo para efectos prácticos se pretende utilizar un código de colores como se muestra a continuación:








1. Factores Críticos (FC): Calificaciones 8-9-10 
2. Factores Medianamente Críticos (FMC): 5-6-7 
3. Factores No Críticos (FNC): 0-1-2-3-4 

Tabla 5. Evaluación de factores de cambio planta de zapatería batallón de intendencia No. 1 “Las Juanas”.

FACTORES	DEFINICIÓN	ESTADO ACTUAL	FINAL	ELEGIDO
Producción	La producción industrial es el conjunto de procesos a través de los cuales se transforman materias primas para obtener productos de mayor valor agregado.	Capacidad de producción de 2.000 pares de botas de combate diarios con 170 máquinas industriales y 340 trabajadores oficiales.	8	
Ergonomía	La ergonomía es la disciplina que se encarga del diseño de lugares de trabajo, herramientas y elementos, de modo que coincidan con las características fisiológicas, anatómicas de las personas que se verán involucradas.	Bota de combate tipo jungla norma técnica del ministerio de defensa nacional norma NTMD-0099-A5	6	
Cantidad de Personal Activo	se entenderá por trabajador activo aquel que perciba rendimientos del trabajo como consecuencia de la prestación efectiva de sus servicios retribuidos por cuenta ajena y dentro del ámbito de organización y dirección de otra persona, física o jurídica	En la actualidad el pie de fuerza del Ejército nacional de Colombia está compuesto por 260.000 hombres y mujeres distribuidos a lo largo y ancho del territorio nacional.	4	
Tecnología de manufactura	Una manufactura es el resultado de convertir materias primas en un producto elaborado por medio de un proceso industrial. de ese modo se obtienen los bienes terminados, listos para su venta en los distintos mercados.	La planta de zapatería del Batallón de intendencia No.1 “Las Juanas” está distribuida en cinco áreas distribuidas en forma de células en donde se llevan a cabo los principales procesos de manufactura para la elaboración de la bota militar las cuales son Corte con un 7% del proceso de manufactura, Troquel con un 10% del proceso de	6	

Seguridad Industrial	La seguridad industrial es el conjunto de rasgos y actividades que ayudan a prevenir y limitar los posibles riesgos en una industria, con inclusión de quienes ocasional o permanentemente se encuentran vinculados con los mismos, como pueden ser: las personas, la flora, la fauna, los bienes y el medio ambiente.	manufactura, Guarnición con un 26% del proceso de manufactura, Hormado con un 18% del proceso de manufactura y Suelas con un 26% del proceso de manufactura.	se cuenta con un departamento de seguridad industrial encargado de velar por las condiciones de trabajo seguras para los operarios de la planta, así mismo en la actualidad se tiene implementado un riguroso protocolo de seguridad frente a la contingencia covid-19.	6	FMC
Capital Humano	El capital humano es un término usado en ciertas teorías económicas del crecimiento para designar a un hipotético factor de producción dependiente, del grado, de formación y de la productividad de las personas involucradas en un proceso productivo	La planta de Zapatería del Batallón de Intendencia N.º 1 “Las Juanas” del Ejército Nacional de Colombia en la actualidad cuenta con 340 trabajadores oficiales capacitados y cuya experiencia promedio es de 15 años laborando en la industria marroquinera Nacional.	La planta de Zapatería del Batallón de Intendencia N.º 1 “Las Juanas” del Ejército Nacional cuenta con 170 máquinas industriales para los subprocesos de Corte Troquel, Hormado y Suelas con un tiempo promedio de uso de alrededor de 15 años.	6	FMC
Maquinaria industrial.	Son un conjunto de elementos móviles y fijos cuyo funcionamiento posibilita aprovechar, dirigir, regular o transformar energía, para realizar un trabajo con un fin determinado. Se denomina maquinaria al conjunto de máquinas que se aplican para un mismo fin, en este caso maquinaria industrial del sector marroquinero.	Al ser una entidad de orden público nacional la planta de zapatería del Batallón de Intendencia N.º 1 “Las Juanas” del ejército nacional depende de los rubros presupuestales asignados anualmente para su funcionamiento donde se establecen la necesidad de maquinaria, personal, materia prima y consumible para su funcionamiento.	En la actualidad La planta de Zapatería del Batallón de Intendencia N.º 1 “Las Juanas” del Ejército Nacional tiene un sistema de producción que podría clasificarse dentro de la filosofía Just in Time y un sistema de mantenimiento preventivo y correctivo; sin embargo, no se tienen estructuradas metodologías de mantenimiento industrial y producción.	9	FC
Rubros presupuestales asignados	Un rubro presupuestal en las entidades del estado es el dinero destinado para gastos de funcionamiento, servicio de la deuda o de concepto de ingresos. un rubro es un apartado que permite agrupar diferentes cuentas. este trámite se asigna el ministerio de hacienda y crédito público	La metodología, hace referencia al conjunto de procedimientos racionales utilizados para alcanzar el objetivo o la gama de objetivos que rige una investigación científica, una exposición doctrinal o tareas que requieran habilidades, conocimientos o cuidados específicos. Es la forma organizacional en que se plantea el desarrollo de las actividades de producción y mantenimiento		3	FNC
Metodologías de producción y mantenimiento				9	FC

C. METODOLOGÍA MPC: VIGILANCIA TECNOLÓGICA.

1) Definición paso 3. Metodología MPC: vigilancia tecnológica

La vigilancia tecnológica es un proceso sistemático y permanente de búsqueda, captación, recolección, análisis y difusión de información estratégica en torno a la organización, así como del seguimiento y análisis del entorno de los competidores. La vigilancia tecnológica es una práctica empresarial que reúne varias técnicas y modelos analíticos para la búsqueda de información para lo cual se utilizan motores especializados de búsqueda, estas plataformas pueden ser automatizadas fácilmente como herramienta de rastreo y minado de información digital.

El desarrollo de este tercer paso de la metodología se centra en el procesamiento de la información permitirá entender mejor el entorno y reflexionar acerca de la dirección de las estrategias organizacionales y se convierte en conocimiento para la empresa para su aprovechamiento dentro de la organización para aumentar la productividad y generar estrategias competitivas. De igual manera este paso tiene en cuenta el estado actual de patente y tecnologías relacionadas el proceso productivo específico de cada empresa.

2) Aplicación Paso 3. Metodología MPC: vigilancia tecnológica planta de zapatería BATALLÓN DE INTENDENCIA No.1 “Las Juanas”.

El desarrollo de la vigilancia tecnológica para la planta de zapatería del batallón de intendencia es una herramienta que permite visualizar, identificar y direccionar información relacionada al tema de investigación, en desarrollo de este tercer paso metodológico se fundamenta en la consecución de información en motores de búsqueda, en esta oportunidad con ayuda de bases de datos bibliográficas (Scopus, ScienceDirect, etc) y el software VOS viewer útil para construir y ver redes bibliométricas, se buscara visualizar investigaciones acordes a temas relacionados con los productos fabricados en la planta de zapatería del Batallón mediante la formulación de ecuaciones de búsqueda con palabras claves para encontrar artículos de revisión y de investigación asociados a las actividades de la empresa.

Primera ecuación de búsqueda planteada:

FILTRO	DESCRIPCIÓN
Base de datos bibliográfica	ScienceDirect
Palabra clave	military boots
Artículos	Revisión e investigación
Años	2021,2020,2019
<i>Resultados Obtenidos</i>	260 artículos

El diagrama de visualización de la red (*Network visualization*) obtenido gracias al software VOSviewer, muestra los temas de interés generados a partir de la búsqueda bibliográfica en el contexto de botas militares (military boots). Se observa que hay áreas de interés dentro de los artículos de revisión e investigación analizados que se relacionan más que otros, dando a entender su gran importancia en el contexto de las botas militares.

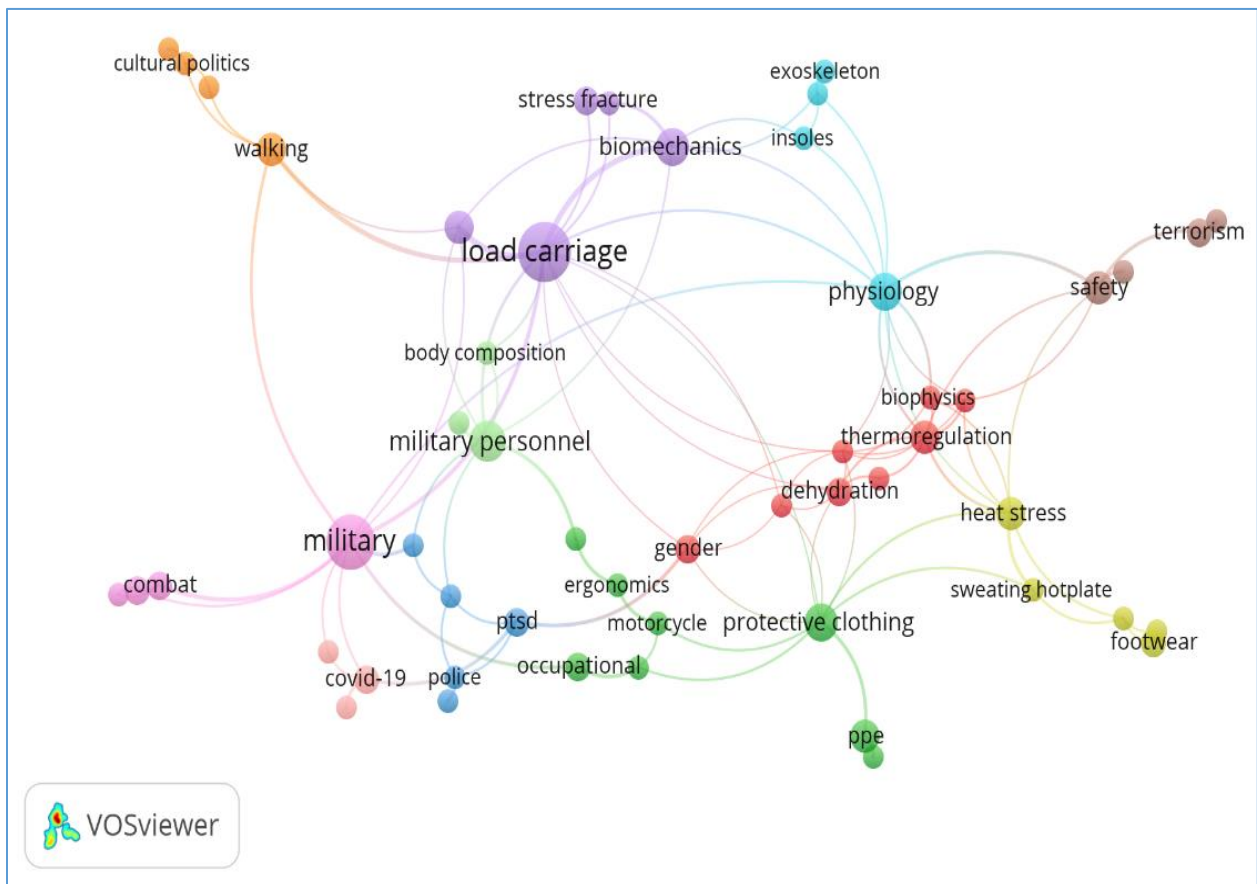


Fig. 6. Análisis bibliográfico de temas relacionados con el contexto de “botas militares”.

En este caso los temas más representativos se ponen en evidencia características importantes como la ropa de protección (protective clothing), fisiología (physiology) y termorregulación (thermoregulation), características relacionadas con la seguridad y desempeño laboral de actividades relacionadas con recorridos extensos del personal militar, son los temas más relevantes e investigados en la actualidad.

De igual manera se hace proceso de vigilancia tecnológica de las técnicas de mantenimiento industrial en los procesos de manufactura, específicamente se realiza una ecuación de búsqueda planteada relacionada con el mantenimiento de maquinaria industrial:

FILTRO	DESCRIPCIÓN
Base de datos bibliográfica	ScienceDirect
Palabra clave	machinery maintenance
Artículos	Revisión e investigación
Años	2022,2021,2020
Áreas temáticas	Ingeniería
<i>Resultados Obtenidos</i>	500 artículos

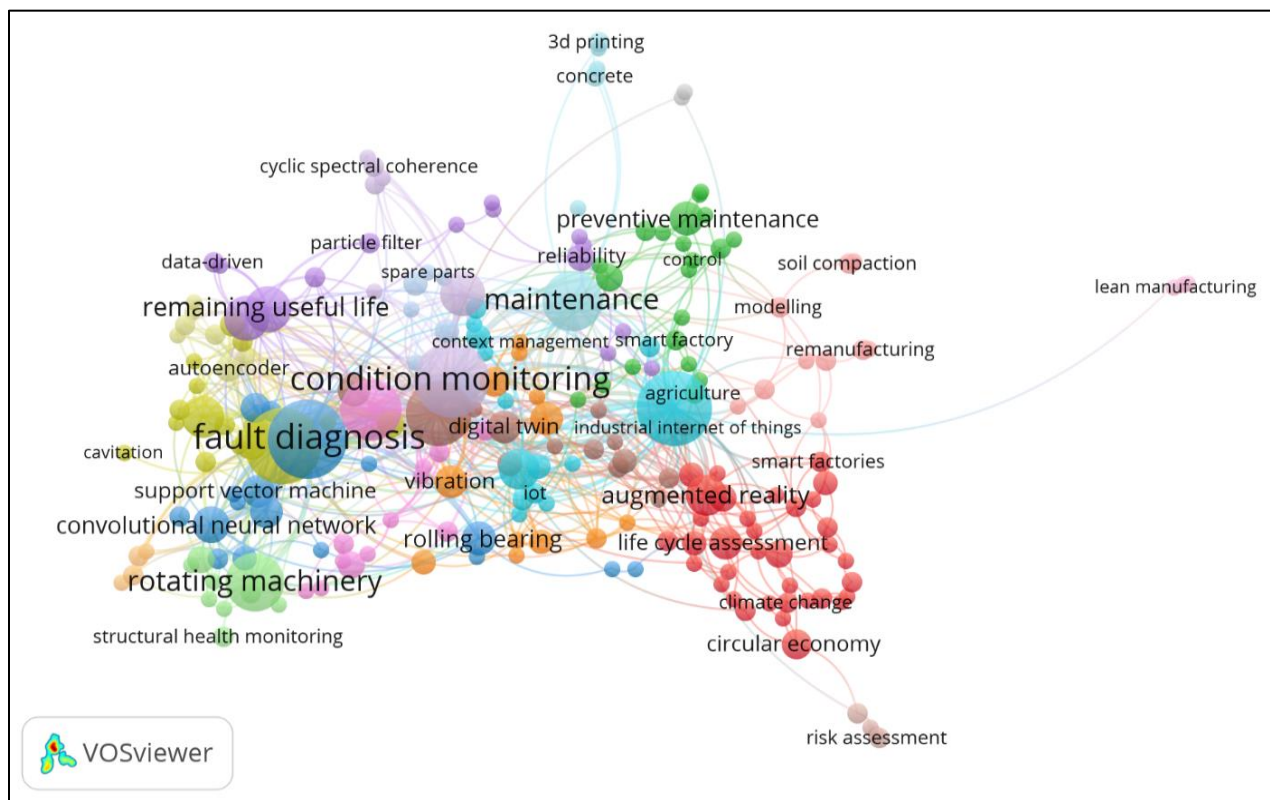


Fig. 7. Análisis bibliográfico de temas relacionados con el contexto de “mantenimiento de maquinaria”.

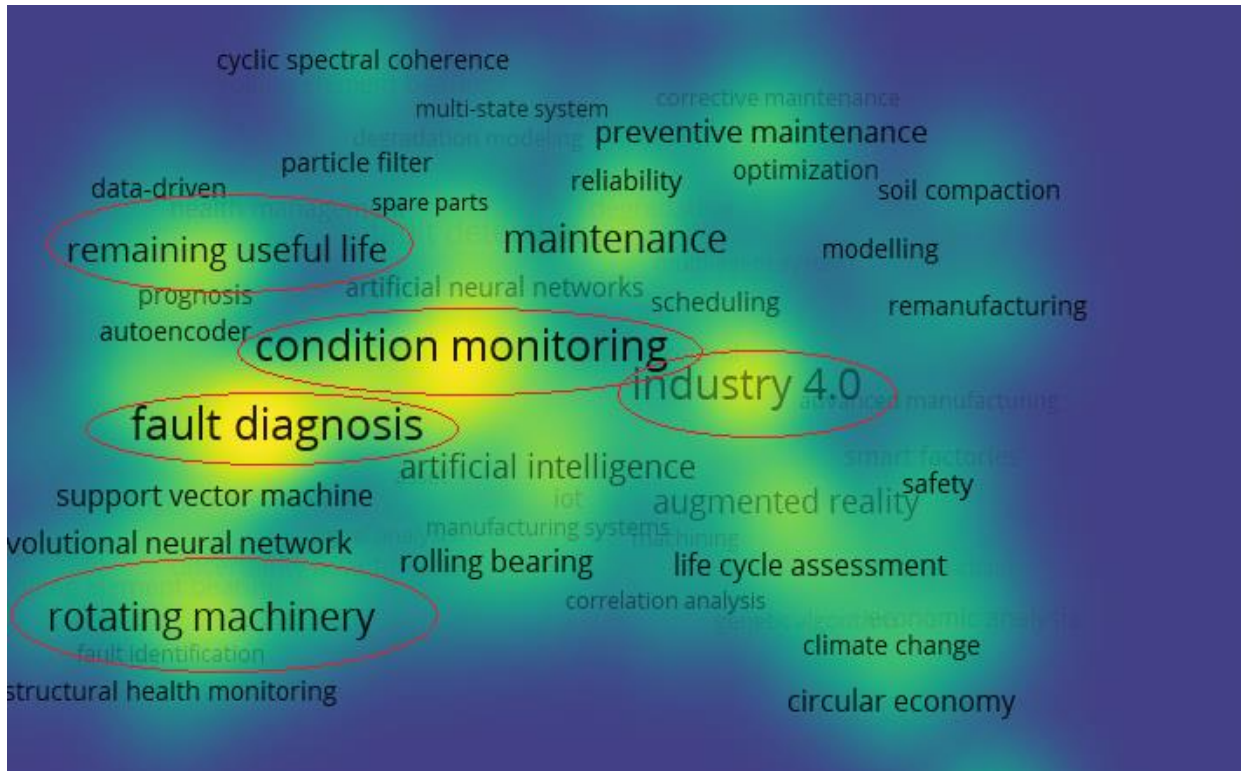


Fig. 8. Mapa de densidad de los temas de investigación más representativos en el área de mantenimiento de maquinaria.

De acuerdo al mapa de la figura se observa que los temas con más auge en el área de mantenimiento de maquinaria van relacionados hacia el monitoreo de condición, el diagnóstico de fallas, vida útil restante, la rotación de la maquinaria y la industria 4.0.

Patentes relacionadas a la planta de zapatería batallón de Intendencia No.1 “Las Juanas”.

En este apartado se quiere realizar una consulta acerca de las patentes que hasta el momento se han realizado en temas relacionados con los productos ofrecidos por la empresa, para el caso de la Planta de zapatería del batallón en temas relacionados con la producción de botas militares. Esta búsqueda se realiza en la plataforma de la OMPI, la cual es la organización de la propiedad intelectual que busca la innovación y la creatividad en beneficio de todos (OMPI, 2020).

“La Patente es un privilegio que le otorga el Estado al inventor como reconocimiento de la inversión y esfuerzos realizados por éste para lograr una solución técnica que le aporte beneficios a la humanidad. Dicho privilegio consiste en el derecho a explotar exclusivamente el invento por un tiempo determinado”(Superintendencia de Industria y Comercio, 2021) [45]

La consulta realizada acerca de patentes en temas relacionados con bota militar, dio como resultado 27 patentes generalizadas hacia la protección y seguridad del soldado, además de mejorar la comodidad del zapato. A continuación, se muestran estas 27 patentes encontradas en la OMPI (OMPI, 2020).

Tabla 6. Patentes relacionadas a temas de botas militares.

NOMBRE DE LA PATENTE
WO/2010/020830 BOTA ANTIMINAS
WO/2010/128349 BOTA DE PROTECCIÓN CONTRA MINAS ANTIPERSONAL DEL TIPO ONDA DE CHOQUE
WO/2019/202574 CALZADO CON CARACTERÍSTICAS ERGONÓMICAS Y DE TERMO-REGULACIÓN MEJORADAS
1212938 BOTA CON DETECTORES Y CONTRAPESO PARA MINAS ANTIPERSONAS
2343612 DISPOSITIVO GENERADOR DE ENERGIA ELECTRICA PARA CALZADO
6990146 BOTAS ANTIMINAS DE HORMA ESPECIAL
6030025 PROTECTOR ANTIMINAS PARA BOTA MILITAR
294708 UNA BOTA DE MEDIA CANA PERFECCIONADA
6990147 SUELA ANTIMINAS MULTIFUNCIONALES
MX/A/2008/005754 PELICULAS DE QUITOSAN Y LAMINADOS HECHOS DE LAS MISMAS
2610782 ZAPATO DE CIERRE AUTOMÁTICO
2022313 ZAPATO COMPUESTO DE ELEMENTOS REEMPLAZABLES.
PA/A/2006/010502 SOPORTE PARA TOBILLO PARA SER FIJADO A CALZADO
2719458 SISTEMA, DISPOSITIVO Y MÉTODO PARA LA PREVENCIÓN DE INCIDENTES DE FUEGO AMIGO
353979 ZAPATO DE APRIETE AUTOMATIZADO.
2748160 ZAPATO DEL APRIETE AUTOMATIZADO
2602093 CALZADO CONFORMADO INDIVIDUALMENTE
0474178 NUEVO PROCEDIMIENTO PARA SUJETAR Y ALMOHADILLAR EL PIE HUMANO POR MEDIO DE LA PRESION DE UN LIQUIDO SOBRE UN CALZADO
2013011386 MATERIAL DE AMORTIGUAMIENTO DE VIBRACION.

D. PASO 4. METODOLOGÍA MPC: PLANEACIÓN ESTRATÉGICA.

1) Definición paso 4. Metodología MPC: planeación estratégica

Este cuarto paso de la metodología MPC busca generar diferentes herramientas que permitan identificar características primordiales en la gerencia de las organizaciones mediante el reconocimiento las partes interesadas o Stakeholders, la debilidades y fortalezas de la organización y las estrategias para afrontarlas mediante la estructuración de una matriz DOFA y el análisis de los aspectos externo que pueden afectar la organización mediante un estudio PESTEL.

La gestión del relacionamiento con los grupos de interés (Stakeholders) es un análisis para identificar riesgos y oportunidades en función de las características de las relaciones de la empresa y su contexto. La influencia de los factores en el portafolio organizacional se ve directamente relacionado con los riesgos a nivel estratégico, táctico y operativo. Los grupos de interés abarcan muchos actores y para poder identificar los stakeholders se suelen usar practicas sencillas como por ejemplo entrevistas y paneles grupales, una de las formas que más se utilizada es la matriz de stakeholders.

El análisis DOFA, permite el estudio de características internas y externas de una empresa generando estrategias de gerencia que permitan direccionar los recursos empresariales a la mejora continua de los aspectos internos y la prevención y mitigación de aspectos externos que puedan afectar la empresa, de igual manera es este cuarto paso se realizan un análisis específico de los factores externos de la empresa mediante un estudio PESTEL.

En conclusión, en este paso 4. de la metodología MPC se estructuran tres herramientas básicas de planeación estratégica como son la matriz de interesados o Stakeholders, análisis y estrategias DOFA y análisis de factores externos empresariales PESTEL.

2) Aplicación paso 4. Metodología MPC: planeación estratégica planta de zapatería Batallón De Intendencia No.1 “Las Juanas”.

La implementación del paso 4 de la metodología MPC como primer lugar define las partes interesadas o Stakeholders de la planta de zapatería del batallón de intendencia No.1 “LAS

JUANAS” jerarquizándolos como primera medida en primarios y secundarios según su importancia.

STAKEHOLDERS (PARTES INTERESADAS PLANTA DE ZAPATERÍA BAINT)		CLASIFICACIÓN
GRUPO	ESPECÍFICO	JERÁRQUICA
1. Clientes	Cuerpo de Oficiales del ejército Nacional	PRIMARIO
	Cuerpo de Suboficiales del ejército nacional	PRIMARIO
	Soldados del ejército nacional	PRIMARIO
2. Proveedores	IMPOCOSER SAS	SECUNDARIO
	FABRICATO	SECUNDARIO
	JEMSUPPLIES SAS	SECUNDARIO
	ADW MAQUINAS	SECUNDARIO
3. Trabajadores oficiales	MAD INGENIEROS	SECUNDARIO
	Trabajadores oficiales en cargos de producción, técnicos y administrativos	PRIMARIO
4. Sindicatos de trabajadores	ASOMINDEFENSA	PRIMARIO
	ASOMIL	PRIMARIO
5. Comunidad en general	ASOBAINT	PRIMARIO
	Grupo de interés general y misional.	SECUNDARIO
6. Comando Ejército	Grupo de interés particular de control directo de la producción de material de intendencia de la planta de zapatería.	PRIMARIO

El diagrama PESTEL es un análisis descriptivo del entorno de la empresa. Cuando se habla del entorno o contexto de la empresa, son todos aquellos factores externos que son relevantes para la organización, En la siguiente matriz se describen estos factores para la Planta de Zapatería del Batallón de intendencia “las Juanas”.

ANÁLISIS EXTERNO PESTEL DE LA PLANTA DE ZAPATERÍA BATALLÓN DE INTENDENCIA NO. 1 “LAS JUANAS”						
ASPECTOS	DESCRIPCIÓN	AMENAZA	OPORTUNIDAD	IMPACTO		
				ALTO	MEDIO	BAJO
<i>POLÍTICO</i>	Cambios de gobierno estatal (presidente)		Las políticas del presidente se adecuan a las necesidades del ejército y del batallón		X	
	Cambios en el mando de la estructura militar del Batallón militar “las juanas”		El nuevo comandante del batallón gestiona recursos para las instalaciones de producción con el ministerio de defensa			X
	Acuerdos de libre comercio con otros países que puedan facilitar la exportación de insumos militares.		Crecimiento en ventas de botas militares a gobiernos vecinos o que necesiten productos del catálogo de la planta de zapatería		X	

ECONÓMICO	Cambios constantes del precio del dólar.	No aprovechar los cambios para lograr reducción de costos o comprar a costo superior al estimado para insumos de producción o modernización o mantenimiento de la infraestructura de la planta de zapatería		X		
	Tensiones comerciales entre países	Generan incremento de los precios de insumos afectando los costos operacionales			X	
	Estrategia económica nacional que facilite la compra de maquinaria industrial para el batallón		Fortalecimiento de la infraestructura de producción mediante la modernización de maquinaria industrial de última tecnología		X	
	Precios elevados por efectos de la pandemia	Debido a la pandemia mundial del covid 19, la importación de productos al país se convierte en un proceso demorado y muy costoso		X		
SOCIAL	Actitud de los nuevos militares frente a la equitación utilizada	Características especiales que deben tener las suelas de los zapatos para mejorar el rendimiento de las personas al realizar alguna actividad que los requiera, es por eso que es importante mejorar las tecnologías implementadas en la fabricación de estas para no quedar rezagados en productos no confortables para la sociedad		X		X
	Pandemias o Problemas de Salud Pública	Cambios en el comportamiento del ser humano, disminución de economía a nivel regional o local, nacional y mundial, aumento de contagios y fallecidos, emergencia de salud pública, cuarentenas.		X	X	

	Cultura de Bioseguridad en los militares	Mercado (clientes) que no le apuestan a la Bioseguridad en sus actividades productivas, afectando así la calidad del producto ofrecido.		X	X	
	Acceso a educación avanzada de los trabajadores para mejorar los procesos productivos		Facilidad de estudio en carreras de posgrado para el personal operativo de la Planta del Batallón		X	X
TECNOLÓGICO	Actualización en tecnologías implementadas para los procesos de manufactura en zapatería	No estar a la vanguardia de estos cambios puede generar ventajas para los competidores si ellos si las asumen		X	X	
	Nuevas tecnologías asequibles para mejorar los procesos productivos y administrativos		La inversión que se ha hecho en automatización hace más productivo el funcionamiento disminuyendo costos operacionales		X	
	Estrategias competitivas de fidelización de las fuerzas armadas de otros países		Crecimiento en niveles de producción y ventas a partir de persuadir mercados internacionales		X X	
	Seguridad de la información electrónica	Robo de información vital para la empresa que revela secretos de la organización			X	
ECOLÓGICO	La legislación sobre gestión ambiental (Vertimientos, emisiones atmosféricas, gestión de residuos peligrosos, sustancias químicas).	No tener un adecuado cumplimiento legal puede ocasionar sanciones o suspensión de operaciones		X	X	
	Cambio climático que no permite conocer ciclos de lluvias y sequias con regularidad	Puede originar enfermedades contagiosas en los trabajadores y en el activo biológico de la compañía.		X		X
	Beneficios estatales a empresas que implementen procesos de reciclaje como por ejemplo la reducción de impuestos económicos		Generar productos amigables con el medio ambiente o que se puedan fabricar con productos desechados para obtener beneficios en impuestos económicos estatales		X	
	Cambios en la normatividad	Constante cambio que requiere actualización		X	X	

LEGAL	colombiana sobre bioseguridad y sanidad.	para evitar sanciones legales o suspensión de operaciones			
	Reducción mundial del uso de plásticos de un solo uso		Implementación de nuevas materias primas que mejoren las características de los productos fabricados (materiales compuestos)	X	X
	Actualizaciones constantes en normativa legal de los diferentes procesos administrativos	Incumplimiento de requerimientos legales y sanciones, por falta de mecanismos propios de actualización de la normatividad.		X	X
	Cumplimiento de normatividad en SST y protocolos de bioseguridad de sus trabajadores y procesos industriales	Sanción legal en caso de no cumplimiento.		X	X

**MATRIZ DOFA PLANTA DE ZAPATERÍA BATALLÓN DE INTENDENCIA NO. 1
“LAS JUANAS”**

<p align="center">ANÁLISIS DOFA PLANTA DE ZAPATERÍA BATALLÓN DE INTENDENCIA No.1 “Las Juanas”</p>	FORTALEZAS	DEBILIDADES
	<ul style="list-style-type: none"> Know How de casi 100 años en la industria manufacturera militar. Motivación del personal y sentido de pertenencia. Se dispone de la infraestructura y personal adecuada para ofrecer un servicio de calidad Botas de combate de alta calidad. 	<ul style="list-style-type: none"> Filosofía de producción y mantenimiento. La contratación pública limita la disponibilidad de insumos, maquinaria, consumibles y mantenimiento. No se dispone de objetivos estratégicos establecidos Maquinaria industrial en su fase final de la vida útil.
OPORTUNIDADES	ESTRATEGIAS FO	ESTRATEGIAS DO
<ul style="list-style-type: none"> Mejorar la tecnología y diseño de las botas de combate. Adquirir maquinaria de última tecnologías en la producción de calzado. Mejora continua en el control de los procesos de contratación. Adquisición de nuevas tecnologías 	<ul style="list-style-type: none"> Generar estrategias de transferencia de conocimiento del personal que se pensiona hacia los trabajadores nuevos. Participar en ferias y exposiciones del sector de Manufactura del calzado y marroquinera. Estructurar proyectos de adquisición y reposición de maquinaria. 	<ul style="list-style-type: none"> Implementar indicadores de mantenimiento y producción basados en la implementación metodológica definida. Crear un plan de verificación y control estricto del cumplimiento de las obligaciones contractuales por los proveedores. Elaborar una estrategia de gerencia de ingeniería.
AMENAZAS	ESTRATEGIAS FA	ESTRATEGIAS DA

<ul style="list-style-type: none"> • Rotación del personal militar. • Altos costos de los productos ofrecidos por los contratistas. • Formas de contratación pública para suministros SECOP 2. • Calidad de los bienes y servicios prestados por los contratistas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Generar bases de datos y procedimientos claros para la transferencia de conocimiento del personal militar. • Generar bases de datos y procedimientos claros para la transferencia de conocimiento del personal civil. • Mejorar los procesos y exigencias del pliego técnico de condiciones en el proceso de contratación pública. 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacitar al personal de producción y mantenimiento de manera constante y efectiva. • Mejorar los procesos de mantenimiento de maquinaria industrial e implementar metodologías basadas en confiabilidad. • Implementar un plan de mejoramiento estratégico y continuo medible y evaluable anualmente.
--	--	--

E. PASO 5. METODOLOGÍA MPC: AUDITORÍA DE MANTENIMIENTO.

1) Definición paso 5. Metodología MPC: auditoría de mantenimiento.

El desarrollo de el paso 5 de la metodología MPC se enfoca en la identificación del estado actual de la gestión del mantenimiento industrial en la organización estudiada, la auditoría de mantenimiento es una herramienta útil en la elaboración del diagnóstico claro de la gestión del mantenimiento en la empresa, este es un proceso de identificación y clasificación de los elementos internos y externos que intervienen en el proceso de mantenimiento y se plantea una metodología de evaluación y análisis del impacto de cada uno de ellos.

Este paso busca tener información del estado actual de la planeación estratégica del Proceso de Mantenimiento, planeación y programación del mantenimiento, ejecución del mantenimiento, Análisis de los Sistemas de Información de Mantenimiento, Gestión de mantenimiento, mantenimiento preventivo y lubricación Efectiva, instalaciones físicas, estado de los equipos, confiabilidad y disponibilidad de los equipos.

Tabla 7. Metodología diagnóstica de mantenimiento.

Actividad	Medio	Producto
Formulación de la evaluación de la gestión de mantenimiento en la empresa: <ul style="list-style-type: none"> - Listado de aspectos / parámetros - Agrupación - Revisión 	Lluvia de ideas Revisión de documentos	Formato: Evaluación Modelo de gestión de mantenimiento

<p>Aplicación del formato de evaluación para el diagnóstico inicial de la gestión de mantenimiento en a la empresa:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Planeación de la actividad. - Realización de la visita de asistencia técnica. - Aplicación de la evaluación para el diagnóstico inicial. 	<p>Visita de asistencia técnica (explicación de la metodología)</p>	<p>Acta de visita de asistencia técnica para la aplicación del modelo de gestión de mantenimiento: Formato de evaluación de gestión de mantenimiento diligenciado,</p>
<p>Procesamiento de la información suministrada por la empresa para el diagnóstico de la gestión de mantenimiento</p> <p>A. Análisis de la información suministrada (ítems incluidos en cada uno de los aspectos)</p> <p>B. Documentación de los resultados obtenidos en la aplicación de la evaluación del modelo aplicado actualmente en la empresa (Diagnóstico de la gestión de mantenimiento)</p>	<p>A. Revisión cualitativa y cuantitativa de los aspectos y elementos de la evaluación del modelo aplicado actualmente en la empresa.</p> <p>B. Elaboración de informe diagnóstico de gestión de mantenimiento de la empresa.</p>	<p>A. Resumen del análisis cualitativo y cuantitativo de los elementos y aspectos evaluados.</p> <p>B. Diagnóstico de la gestión de mantenimiento de la empresa.</p>

El paso 5. de la metodología MPC busca aplicar la encuesta de mantenimiento planteada por Francisco Javier Gonzales Fernández en su libro Auditoria del mantenimiento e indicadores de gestión [46]; por medio de la aplicación de esta encuesta se puede auditar la situación actual del mantenimiento en la empresa aplicando un cuestionario de 128 preguntas claves distribuidas en doce bloques de autoanálisis que permitirán diagnosticar con certeza la situación de la gestión del mantenimiento en la organización estudiada.

De la misma manera en este quinto paso se estructura la codificación de los equipos, la cual busca dar a las máquinas una dirección donde ubicarlas en base a su zona de trabajo, y un nombre con el cual identificarlas, lo cual facilita las labores de mantenimiento ya que mejora la organización de información.

Para ello se crea un monocódigo basados en la taxonomía que ofrece la norma ISO 14224 con caracteres alfanuméricos de 8 dígitos, descritos de la siguiente manera:

- Las tres primeras siglas: Nombre del equipo abreviado.
- Sigüentes tres siglas: Consecutivo del equipo.
- Últimos dos dígitos: Zona de trabajo del equipo

2) Aplicación paso 5. Metodología MPC: auditoría de mantenimiento planta de zapatería Batallón de Intendencia No. 1 “Las Juanas”.

Como primera medida se realiza la codificación de la maquinaria con caracteres alfanuméricos de monocódigo de 8 dígitos, para la maquinaria la planta de zapatería Batallón de Intendencia No. 1 “Las Juanas” de igual modo se establece la información principal de cada equipo como numero de inventario, nombre, marca, modelo, fecha de adquisición, vida útil y valor adquisitivo.

La codificación del listado total de la maquinaria se muestra en el ANEXO ELECTRÓNICO A.

Tabla 8 Codificación de maquinaria planta de zapatería BAINT

CODIFICACIÓN	CODIGO DE IDENTIFICACIÓN (# INVENTARIO)	NOMBRE DEL BIEN	MARCA	MODELO	ADQUISICIÓN	VIDA UTIL	VAL ADQUISITIVO
BRI 201 IY	8004030000000 000000858420	MAQUINA BRILLADORA PARA CALZADO	MOLINA BIANCHI	BD-171	17/12/2008	13	\$ 7.540.000,00
BRI 301 IY	8004030000000 000001330298	MAQUINA BRILLADORA	MOLINA BIANCHI	BD-171	19/01/2010	13	\$ 26.325.358,76
BRI 303 IY	8004030000000 000001526016	MAQUINA BRILLADORA	VOLBER	152 A	20/07/2010	15	\$ 16.950.000,00
CM 301 IY	8004030000000 000001526017	MAQUINA CENTROMONTADOR A MOD K73SZTIC CERIM ITALIANA	CERIM	K73SZTI	20/07/2010	14	\$ 346.059.470,34
COR 303 IY	8004030000000 000001526035	MAQUINA CORTADORA INDUSTRIAL	TESEO	FC4 320 TH	8/11/2010	17	\$ 1.264.932.930,18
DIV 801 LC	8004030000000 000002734778	DIVIDIDORA DE PIELES	TESEO	FC4 320 TH	9/11/2010	18	\$ 1.264.932.931,18
MAK 101 LC	8004030000000 000000101678	MAQUINA DE COSER SUELAS MC KAY	FALAN S.R.L.	F565 EVO	7/12/2007	14	\$ 219.089.253,39

De la misma manera en este quinto paso de la metodología MPC se aplica la encuesta de auditoría de 128 preguntas aplicadas a la gestión del mantenimiento en la planta de zapatería Batallón de Intendencia No. 1 “Las Juanas” como se documenta en el ANEXO ELECTRÓNICO B; los resultados se pudieron representar gráficamente el Método RADAR de auditoría de Mantenimiento, que consiste en un gráfico radial de ejes separados 30° en donde se indica en cada

maña las puntuaciones a escala obtenidas por cada uno de los anteriores bloques de análisis, además se estipulan los valores máximos que se podrían obtener y de forma concéntrica el 50% de dicho valor; obteniendo zonas de favorable y desfavorable.

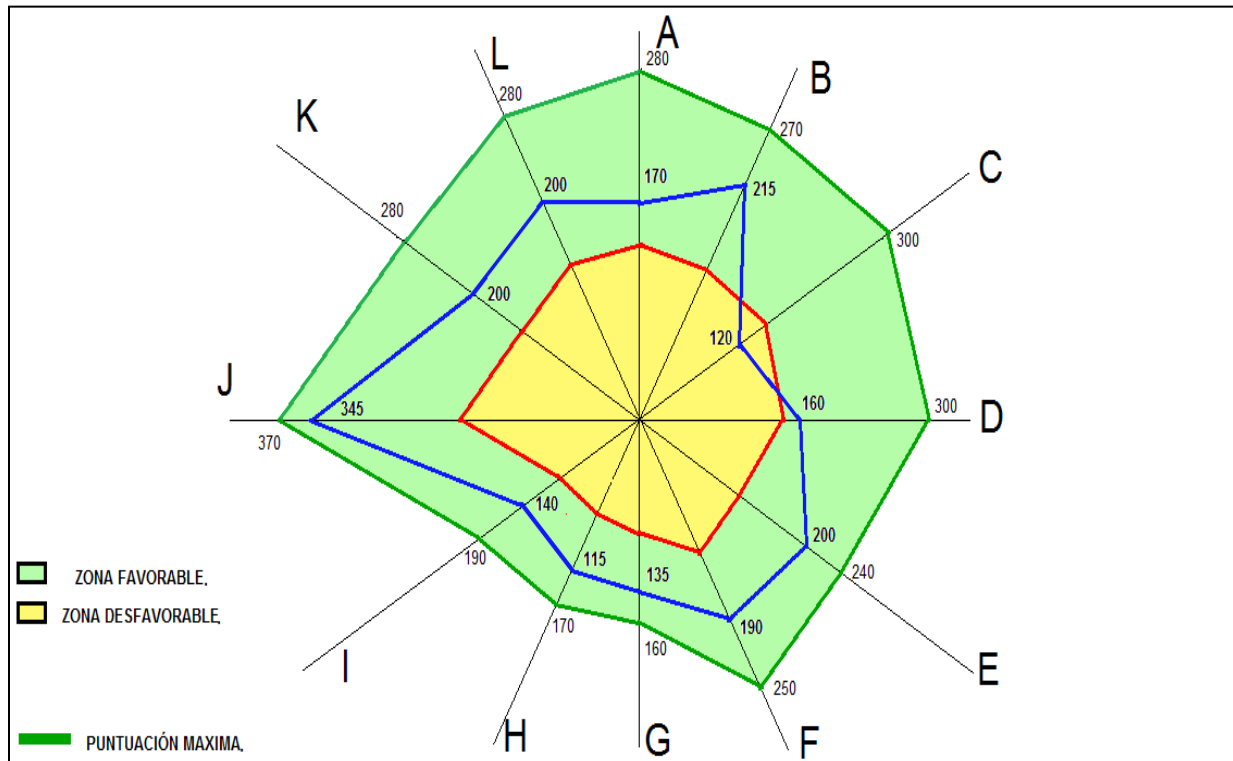


Fig. 9. Mapa de resultados auditoría de mantenimiento.

Luego de tabular los resultados en la encuesta y transpolar los resultados a un mapa tipo araña que permite organizar gráficamente los resultados se obtiene información clara de la gestión de mantenimiento de la planta de zapatería del Batallón de Intendencia No.1 “Las Juanas”. De manera general se evidencia un comportamiento positivo en la gestión del mantenimiento y se tiene un elemento crítico, el cual es el bloque C, que hace referencia al control técnico de las instalaciones y equipos, en donde se tiene en cuenta por ejemplo la existencia de análisis de criticidad y RCM para los equipos de la empresa y la implementación de metodologías de mantenimiento productivo total TPM.

F. PASO 6. METODOLOGÍA MPC: ANALISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS Y ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA.

1) Definición paso 6. Metodología MPC: análisis de criticidad de equipos y análisis de modos y efectos de falla

Para el desarrollo de este paso No.6 de la metodología MPC se tienen en cuenta dos herramientas comprendidas dentro de la metodología RCM explicada en el marco teórico de la presente investigación y que son parte fundamental del desarrollo de los objetivos trazados, de igual manera este análisis busca obtener información que permita jerarquizar equipos mediante un análisis de criticidad de maquinaria y de igual modo jerarquizar las fallas mediante un análisis de modos y efectos de falla AMEF.

El análisis de criticidad es una herramienta metodológica que permite determinar cuáles son los equipos que en un momento dado afectan al proceso de forma severa si tienen un fallo que los incapacite ya sea parcial o totalmente, posibilitando dirigir los esfuerzos de mantenimiento hacia los equipos que para la empresa resultan críticos.

El análisis de criticidad es una técnica de fácil manejo y comprensión en el cual se establecen rangos relativos para representar las probabilidades y/o frecuencias de ocurrencia de eventos y sus consecuencias. Ambas magnitudes, frecuencias y consecuencias, se registran en una matriz de riesgo, diseñada en base a un código de colores que denotan la menor o mayor intensidad del riesgo, que como resultado esclarece el activo crítico de la compañía.

El análisis de riesgos es una técnica para identificar, caracterizar y cuantificar la pérdida de un evento en donde se integra la probabilidad y análisis de consecuencias; su importancia radica en que puede ser tomado como una herramienta para dirigir los esfuerzos de mantenimiento de la empresa. De manera general el riesgo puede verse como la probabilidad de ocurrencia de un evento no deseado o falla.

MODELO DE CRITICIDAD BASADO EN LA METODOLOGÍA DE FACTORES PONDERADOS

Este método sencillo fue desarrollado por un grupo de consultoría inglesa denominado: The Woodhouse Partnership Limited (Woodhouse, 1994), está soportado en el concepto de riesgo explicado anteriormente.

CRITICIDAD TOTAL= Frecuencia de fallas x Consecuencia de fallas

Frecuencia de fallas: Rango de fallas en un tiempo determinado (fallas / años)

Consecuencia de fallas: Impacto sobre la producción x (Tiempo promedio para reparar +Tiempo promedio entre fallas) + Costos de mantenimiento + Impacto medio ambiental + Impacto en la salud y la seguridad.

$$\text{Criticidad} = \text{FF} * \left[(\text{IP} * \text{MTTR}) + \text{CM} + \text{IMA} + \text{ISG} \right]$$

En donde:

- FF: Frecuencia de falla.
- IP: Impacto sobre la producción.
- MTTR: (Mean Time To Repair) / Tiempo promedio para reparar.
- CM: Costos de mantenimiento.
- IMA: Impacto medio ambiental.
- ISG: Impacto en la salud y la seguridad.

La ponderación de los anteriores factores se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 9. Ponderaciones de los parámetros del análisis de criticidad.

CRITERIO PONDERADO	DESCRIPCIÓN	PONDERADO
FF: Frecuencia de falla.	Menos de 2 fallas por año.	1
	Entre 3 y 10 fallas por año.	4
	Entre 11 y 25 fallas por año.	7
	Entre 26 y 39 fallas por año.	10

	Más de 40 fallas por año	15
IP: Impacto sobre la producción	No genera ningún efecto significativo sobre operaciones o producción.	1
	Genera un impacto sobre operaciones o producción del 30%.	3
	Impacta en niveles de inventario o calidad del 50%.	5
	Parada en el sistema o sub-sistema con repercusión en otros sistemas con 75% de impacto.	7
	Pérdida total de la producción.	10
MTTR: Tiempo promedio para reparar.	Menor a 30 minutos.	1
	Promedio de 30 minutos y 1 hora.	2
	Promedio de 1-2 horas.	3
	Promedio entre 2-5 horas.	4
	Más de 5 horas.	5
CM: Costo de mantenimiento.	Menos de \$ 50.000	1
	Entre \$50.000 y \$100.000	2
	Entre \$100.000 y \$ 250.000	4
	Entre \$250.000 y \$ 1.000.000	7
	Más de \$ 1.000.000	10
IMA: Impacto medio ambiental.	No provoca ningún tipo de daño al medio ambiente.	1
	Contaminación ambiental baja, el impacto se manifiesta en un espacio reducido dentro de los límites de la planta.	3
	Contaminación ambiental moderada, el impacto ambiental no rebasa los límites de la empresa.	7
	Contaminación ambiental alta, incumplimiento de normas ambientales y procesos sancionatorios.	20
ISG: Impacto en la salud y la seguridad.	No provoca heridas o lesiones a las personas.	1
	Puede ocasionar lesiones o heridas leves no incapacitantes	4
	Puede ocasionar lesiones o heridas graves con incapacidad temporal entre 1 y 30 días.	7
	Puede ocasionar lesiones con una incapacidad mayo a 30 días.	10
	Puede ocasionar incapacidad permanente o la muerte.	20

MATRIZ GENERAL DE CRITICIDAD

Para elaborar la matriz de criticidad de cada equipo, es necesario evaluar los anteriores factores ponderados establecidos en reuniones de trabajo con la participación de las distintas personas involucradas en el contexto operacional de la empresa (operaciones, mantenimiento, procesos, seguridad y ambiente).

Es muy importante lograr un consenso con toda la planta que acepta en todos los niveles aplicar la estructura de criticidad y unificar criterios para su interpretación, dejando en claro el activo que para la empresa es el más crítico. Una vez que se evalúan en consenso cada uno de los factores ponderados presentados en la tabla anterior, se introducen en la fórmula de criticidad total y se

obtiene el valor global de criticidad. Este proceso se realiza de manera conjunta con los ingenieros de producción, ingeniero de mantenimiento, jefes de planta y operarios.

Para obtener el nivel de criticidad de cada sistema se toman los valores totales individuales de cada uno de los factores principales, frecuencia y consecuencia para luego ser ubicados en la matriz de criticidad en el eje Y y en el eje X respectivamente, de este análisis se determinan equipos críticos, equipos medianamente críticos y equipos no críticos.

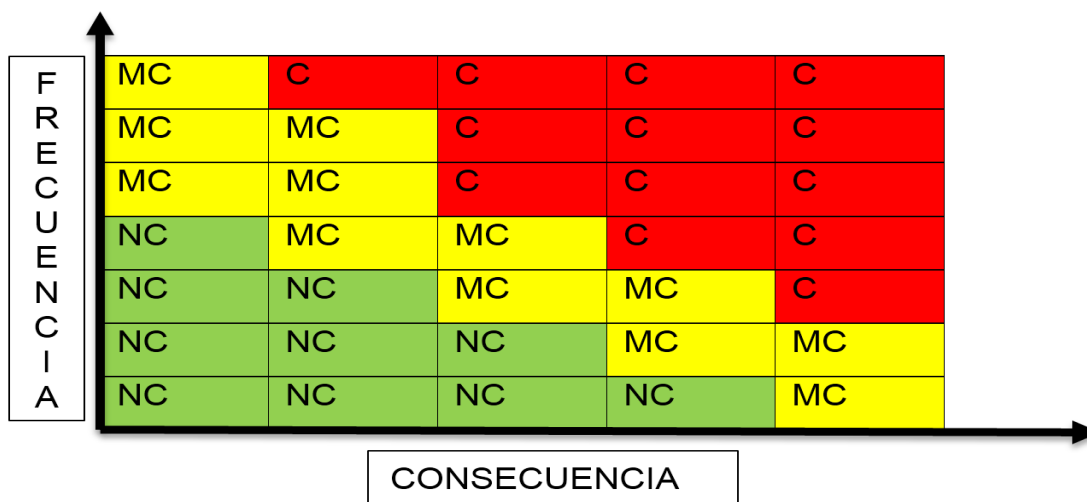


Fig. 10. Matriz de criticidad.

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA AMEF

Es una herramienta que permite organizar y clasificar las fallas de maquinaria industrial, su frecuencia, forma y consecuencia; siendo clave en la planificación del mantenimiento preventivo permitiendo la identificación, evaluación, priorización y prevención de los posibles fallos y efectos.

La clasificación de los modos de falla, se realiza mediante la asignación de un Número Prioritario de Riesgo NPR, el cual es un número equivalente que hace parte de la metodología AMEF y que representa de manera jerárquica la prioridad de cada falla teniendo en cuenta factores de gravedad o severidad, probabilidad de ocurrencia y probabilidad de detección.




El Número Prioritario de Riesgo se define como la multiplicación de factores ponderados de Severidad, Ocurrencia Y Detección de las fallas.

$$NPR = S * O * D$$

La Severidad (S): Representa las consecuencias que producirá el evento de falla en la maquinaria desde el punto de vista de la producción, la salud y el medio ambiente, la Ocurrencia (O) representa la tasa de falla de maquinaria, estableciendo la probabilidad de que ocurra la falla en el tiempo y la detección (D) representa la posibilidad de evidenciar el evento de falla ocurrido, es decir la probabilidad de entrar la falla ocurrida en la maquinaria.

FACTORES PONDERADOS DE SEVERIDAD DE LA FALLA		VALOR DE S
CRITERIO		
Ínfima. El defecto sería imperceptible por el usuario		1
Escasa. El operario puede notar un fallo menor, pero solo provoca una ligera molestia en la operación		2-3
Baja. El operario nota la falla y produce pequeñas falencias en la operatividad de la máquina.		4-5
Moderada. El fallo evidencia perdida de operatividad		6-7
Elevada. La falla es crítica, originado un alto grado de insatisfacción en la operatividad de la máquina, pero no genera consecuencias en la salud o el ambiente.		8-9
Muy elevada, la falla tiene consecuencias en la salud del operario o afecta directamente el medio ambiente		10
FACTORES PONDERADOS DE OCURENCIA DE LA FALLA		VALOR DE O
CRITERIO		
Muy escasa probabilidad de ocurrencia. Defecto inexistente en el pasado.		1
Escasa probabilidad de ocurrencia. Muy pocos fallos en circunstancias pasadas similares.		2-3
Moderada probabilidad de ocurrencia. Defecto aparecido ocasionalmente.		4-5
Elevada probabilidad de ocurrencia. En circunstancias similares anteriores el fallo se ha presentado con cierta frecuencia.		6-7
Elevada probabilidad de ocurrencia. El fallo se ha presentado frecuentemente en el pasado.		8-9
Muy elevada probabilidad de fallo. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente.		10
FACTORES PONDERADOS DE DETECCIÓN DE LA FALLA		VALOR DE D
CRITERIO		
Muy escasa. El defecto es obvio y resulta muy improbable que no sea detectado por el operario.		1
Escasa. El defecto, aunque obvio y fácilmente detectable, podría raramente escapar a algún control primario, pero sería posteriormente detectado,		2-3
Moderada. El defecto es una característica de bastante fácil detección.		4-5
Frecuente. Fallas de difícil detección que con relativa frecuencia llegan al mantenimiento correctivo.		6-7
Elevada probabilidad de ocurrencia. El fallo se ha presentado frecuentemente en el pasado.		8-9
Muy elevada probabilidad de fallo. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente.		10

Para mayor practicidad se tabulan los resultados mediante la clasificación de criticidad en baja, media y alta, de igual modo se plantea un código de colores para su jerarquización.

NPR	CRITICIDAD	COLOR
NPR MENORES A 100	BAJA	
NPR MAYORES A 101 Y MENOR A 500	MEDIA	
NPR MAYORES A 501	ALTA	





2) Aplicación paso 6. Metodología MPC: análisis de criticidad de equipos y análisis de modos y efectos de falla planta de zapatería batallón de intendencia No.1 “Las Juanas”.

El desarrollo de esta matriz de criticidad se basa en el estudio de los factores ponderados de frecuencia y consecuencia, teniendo en cuenta que la frecuencia es la regularidad con la que ocurren eventos de mantenimiento correctivo y la consecuencia son las repercusiones que tiene dicha falla tomando como prioridad principal en el ámbito de la producción.

El desarrollo de este estudio pretende crear bases para el direccionamiento jerárquico del mantenimiento preventivo y correctivo enfocado hacia los equipos más críticos de la planta de zapatería del BAINIT, esto con el fin de garantizar la disponibilidad de los activos que en el momento de fallar afectan gravemente la producción.

Se realizó un análisis de criticidad de las máquinas con base en información recolectada de los ingenieros de producción de cada planta y lo jefes de producción de cada línea de manufactura, teniendo en cuenta factores ponderados de FRECUENCIA y CONSECUENCIA DE FALLA en términos de producción.

CRITICIDAD TOTAL= Frecuencia de falla x Consecuencia en producción

-  CRITICIDAD A: EQUIPO ALTAMENTE CRÍTICO PARA PRODUCCIÓN
-  CRITICIDAD B: EQUIPO CRÍTICO PARA PRODUCCIÓN
-  CRITICIDAD C: EQUIPO MEDIANAMENTE CRITICO PARA PRODUCCIÓN
-  CRITICIDAD D: EQUIPO NO CRITICO PARA PRODUCCIÓN

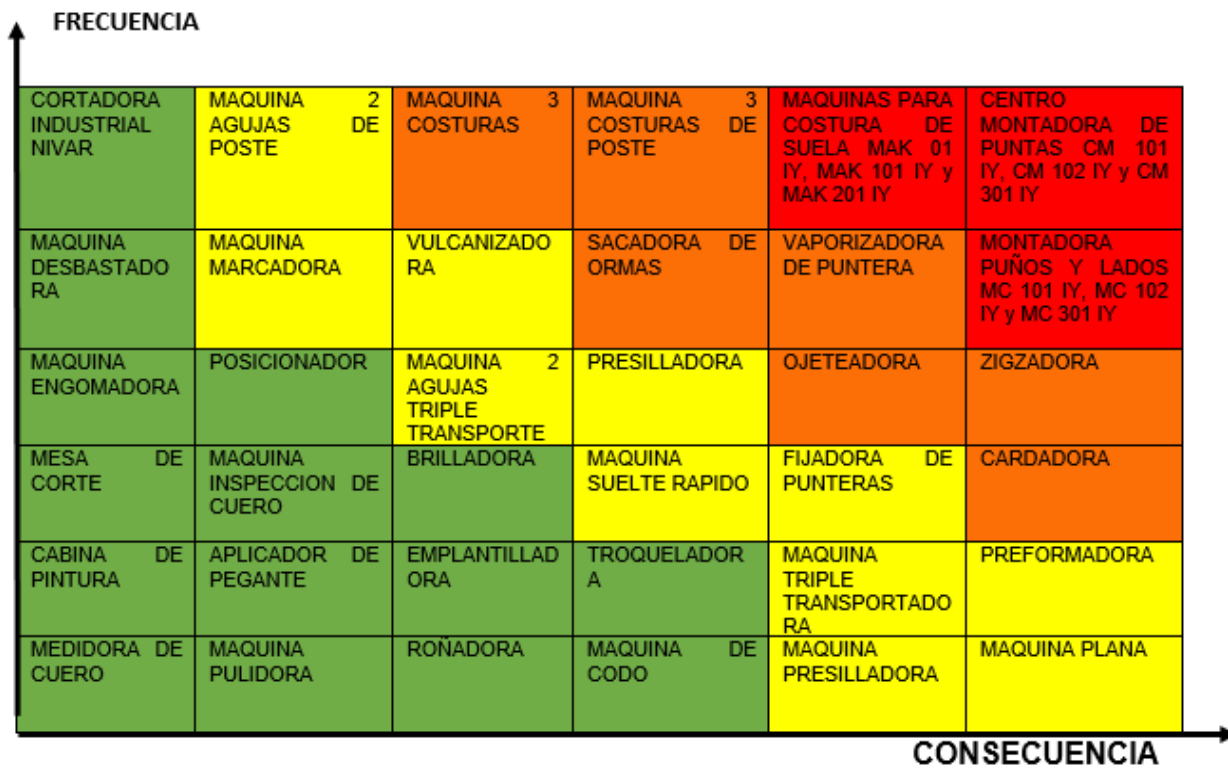


Fig. 11. Matriz de criticidad planta de zapatería BAIN'T

A continuación, se muestra el Análisis de Modos y Efectos De Falla A.M.E.F para la planta de Zapatería del Batallón De Intendencia N°1 "Las Juanas" y se muestra como ejemplo el estudio de las fallas para dos máquinas.

Tabla 10. Análisis de modos y efectos de falla A.M.E.F

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA A.M.E.F PLANTA DE ZAPATERÍA BATALLÓN DE INTENDENCIA N°1 "LAS JUANAS"														
BRILLADORA MOD 152/A VOLBER	20/07/2010	VOLBER	152 A	BRI 303 IY	MOTOR	1	UNIDAD	\$ 281.000,00	1	8	7	8	448	1 CICLO DE MANTENIMIENTO
				BRI 303 IY	RODAMIENTOS MOTOR	2	UNIDAD	\$ 281.000,00	1	8	7	8	448	1 CICLO DE MANTENIMIENTO
				BRI 303 IY	MULETILLAS	1	UNIDAD	\$ 281.000,00	1	8	7	8	448	1 CICLO DE MANTENIMIENTO
				BRI 303 IY	VARIADOR DE VELOCIDAD	1	UNIDAD	\$ 281.000,00	1	8	7	8	448	1 CICLO DE MANTENIMIENTO
				BRI 303 IY	MOTOR DE ASIRACIÓN	1	UNIDAD	\$ 281.000,00	1	8	7	8	448	1 CICLO DE MANTENIMIENTO
CENTROMONTADORA DE PUNTAS	20/07/2010	CERIM	K73SZ TI	CM 301 IY	MANGUERA DE ALTA	1	281000	\$ 281.000,00	1	4	5	5	100	1 CICLO DE MANTENIMIENTO
				CM 301 IY	TERMO CUPLAS	1	UNIDAD	\$ 282.625,00	2	8	7	8	448	2 CICLOS DE MANTENIMIENTO
				CM 301 IY	BOMBA HIDRAULICA	1	UNIDAD	\$ 1.785.000,00	1	4	5	5	100	1 CICLO DE MANTENIMIENTO
				CM 301 IY	KIT DE MANGUERAS	1	UNIDAD	\$ 281.000,00	1	4	5	5	100	1 CICLO DE MANTENIMIENTO
				CM 301 IY	TEMPORIZADOR DE CONTROL	15	UNIDAD	\$ 350.000,00	2	4	5	5	100	2 CICLOS DE MANTENIMIENTO
				CM 301 IY	SENSOR	1	UNIDAD	\$ 235.524,01	2	4	5	5	100	2 CICLOS DE MANTENIMIENTO
				CM 301 IY	MICRO DE SOPORTE POSTERIOR	10	UNIDAD	\$ 94.219,44	2	8	7	8	448	2 CICLOS DE MANTENIMIENTO
				CM 301 IY	RESISTENCIAS DEL INYECTOR	1	UNIDAD	\$ 515.000,00	2	9	10	10	900	2 CICLOS DE MANTENIMIENTO
				CM 301 IY	COJINES DE PRESORES LATERALES	2	UNIDAD	\$ 372.000,00	2	9	10	10	900	2 CICLOS DE MANTENIMIENTO
				CM 301 IY	VALVULA HIDRAULICA DOBLE SELENOIDE	1	UNIDAD	\$ 293.930,00	2	8	7	8	448	2 CICLOS DE MANTENIMIENTO

				CM 301 IY	VALVULA HIDRAULICA DE UN SELENOIDE	10	UNIIDAD	\$ 293.930,00	2	8	7	8	448	2 CICLOS DE MANTENIMIENTO
				CM 301 IY	REGULADORES DE FLUJO HIDRAULICOS	1	UNIIDAD	\$ 350.000,00	2	8	7	8	448	2 CICLOS DE MANTENIMIENTO
				CM 301 IY	RELEVOS	50	UNIIDAD	\$ 198.968,00	1	8	7	8	448	1 CICLO DE MANTENIMIENTO
				CM 301 IY	CONTACTORES	20	UNIIDAD	\$ 325.000,00	2	9	10	10	900	2 CICLOS DE MANTENIMIENTO
				CM 301 IY	POTENCIOMETROS	10	UNIIDAD	\$ 508.725,00	2	9	10	10	900	2 CICLOS DE MANTENIMIENTO
				CM 301 IY	CODILLOS	1	UNIIDAD	\$ 169.575,00	2	8	7	8	448	2 CICLOS DE MANTENIMIENTO
				CM 301 IY	FILTRO DE ACEITE	1	UNIIDAD	\$ 1.800.000,00	2	4	5	5	100	2 CICLOS DE MANTENIMIENTO
				CM 301 IY	MICROS DEL PEDAL DE ACCIONAMIENTO	1	UNIIDAD	\$ 94.219,44	2	8	7	8	448	2 CICLOS DE MANTENIMIENTO
				CM 301 IY	COJIN SOPORTE SUPERIOR	1	UNIIDAD	\$ 372.000,00	2	8	7	8	448	2 CICLOS DE MANTENIMIENTO
				CM 301 IY	PIE CENTRAL	1	UNIIDAD	\$ 736.045,38	2	9	10	10	900	2 CICLOS DE MANTENIMIENTO
				CM 301 IY	TEFLON CONFORMADOR DE PUNTA	1	UNIIDAD	\$ 350.000,00	10	9	10	10	900	10 CICLOS DE MANTENIMIENTO
				CM 301 IY	EMPAQUE DEL CILINDRO CENTRAL	1	UNIIDAD	\$ 369.400,00	2	8	7	8	448	2 CICLOS DE MANTENIMIENTO
				CM 301 IY	MANGUERAS DE TERMOPLASTICO	1	UNIIDAD	\$ 281.000,00	3	4	5	5	100	3 CICLOS DE MANTENIMIENTO
				CM 301 IY	KIT DE EMPAQUES CILINDRO CENTRAL	1	UNIIDAD	\$ 369.400,00	2	8	7	8	448	2 CICLOS DE MANTENIMIENTO
				CM 301 IY	KIT DE EMPAQUES CILINDROS PRESORES LATERALES	1	UNIIDAD	\$ 369.400,00	2	9	10	10	900	2 CICLOS DE MANTENIMIENTO

G. PASO 7. METODOLOGÍA MPC: FORMACION, CAPACITACIÓN Y MANTENIMIENTO AUTÓNOMO.

1) Definición paso 7. Metodología MPC: formación, capacitación y mantenimiento autónomo.

El paso número 7. de la metodología MPC se fundamenta en el desarrollo e implementación de la de elemento relacionados al mantenimiento TPM específicamente los pilares relacionados al mantenimiento autónomo y la capacitación de los operarios de producción y son parte principal de la presente investigación; de manera general este paso busca generar estrategias que aumenten el conocimiento de los trabajadores y su capacidad de realizar las labores de mantenimiento autónomo básicas.

Este paso busca la integración de los operarios de producción como parte fundamental del proceso de mantenimiento industrial, capacitando al operario para que sea el primer filtro y el primer nivel de mantenimiento proactivo y dando herramientas tanto a técnicos como operarios para mejorar la disponibilidad de maquinaria, aumentar la calidad de los productos, incrementar la productividad y la seguridad. Este paso estructura como actividad primordial capacitar al personal en las labores básicas de mantenimiento preventivo, chequeos rutinarios, la identificación de fallas de maquinaria, los riesgos a los que se encuentran expuestos y las ventajas de realizar actividades preventivas de mantenimiento.

2) Aplicación paso 7. Metodología MPC: formación, capacitación y mantenimiento autónomo planta de zapatería Batallón de Intendencia No.1 “Las Juanas”.

La implementación del paso No. 7 busca la capacitación e integración de los operarios de producción como parte fundamental del proceso de mantenimiento industrial, capacitando al personal en las labores básicas de mantenimiento preventivo de primer escalón, chequeos rutinarios, la identificación de fallas de maquinaria, pre-operacionales de maquinaria, y mantenimientos de ajuste, lubricación y calibración.

La implementación del paso 7. De la metodología MPC se realizó durante 6 semanas realizando diferentes capacitaciones entre un grupo de operarios de la planta de zapatería del BAINTE, estas capacitaciones fueron distribuidas por grupos con 4 Temas principales

1. Mantenimiento preventivo básico de maquinaria: Capacitación específica del grupo de máquinas que corresponde a cada planta en donde se trataron temas relativos a las actividades de mantenimiento preventivo de primer escalón como limpieza, ajuste y lubricación de las máquinas.
2. Pre-Operacionales de maquinaria: Se da capacitación específica del grupo de máquinas que corresponde a cada planta en donde se trataron temas relativos a los chequeos operacionales que deben realizar los operarios antes, durante y después de utilizar su correspondiente máquina, se explican procedimientos estandarizados y listas de chequeo.
3. Identificación y detección de fallas: Capacitación específica del grupo de máquinas que corresponde a cada planta en donde se trataron temas relativos a la identificación de fallas comunes en la maquinaria, así mismo se identifican acciones para prevenir, detectar y reportar correctamente las fallas de maquinaria.
4. Seguridad y prevención de accidentes: Capacitación específica del grupo de máquinas que corresponde a cada planta en donde se trataron temas relativos a los riesgos de accidentes a los que se podría ver enfrentado el operario en la utilización de la maquinaria, se definen medidas de seguridad y acciones preventivas para mitigar accidentes por fallas de maquinaria.

A continuación, se relaciona el listado de personal de operarios de la planta de zapatería del BAINTE que fue capacitado de manera práctica y teórica, con el apoyo de la Sección de Mantenimiento de la Unidad y que se encuentran en proceso de certificación como Técnicos de Mantenimiento del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA.

No.	CEDULA	GRADO	OPERARIO
1	1030640644	TO_1	BARRAGAN CEBALLOS MIYER FERNEY
2	1032378294	TO_1	PINZON CARDONA HENRY ALEJANDRO
3	1122338698	TO_1	MORA ROSERO EDUAR JAIR
4	7063177	TO_1	ZEA LOPEZ JESUS ANTONIO
5	79462961	TO_1	PAZ REYES RENE YONSON

6	80117916	TO_1	OVIEDO MELO DIEGO ARMANDO
7	80931886	TO_1	CASTRO RINCON JOSE ANTONIO ALAN RICARDO
8	1013581178	TO_1	OSORIO ALARCON EDGAR ALFONSO
9	1023963151	TO_1	CASTAÑO MURCIA DANIEL STIVEN
10	1024479610	TO_1	YAIMA SUAREZ JHON ALEXANDER
11	1031138152	TO_1	MENDEZ SALCEDO JULIAN DANILO
12	1030597117	TO_1	CIFUENTES LOPEZ HAROLD DAVID
13	52280020	TO_1	ORTIZ ROBLES HAYDEE
14	80064164	TO_1	URREA LOPEZ TULIO CESAR
15	52872477	TO_1	SOLER RODRIGUEZ YURY MILENA
16	80253578	TO_1	OROZCO RAMIREZ EINAR ANDRES
17	80827397	TO_1	VELASQUEZ RODRIGUEZ HECTOR GUILLERMO



Fig. 12. Registro fotográfico Capacitación, Formación y Mantenimiento autónomo planta de zapatería BAINI.

El desarrollo de la actividad de capacitación teórico-práctica dentro del paso 7. de la metodología MPC es tangible y se evidencia en las destrezas y conocimientos que han adquirido los operarios de producción, quienes actualmente se encuentran apoyado de manera integral las labores de mantenimiento preventivo y correctivo para la maquinaria industrial de la Unidad.

H. PASO 8. METODOLOGÍA MPC: ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

1) Definición paso 7. Metodología MPC: análisis estadísticos

Este es el último paso de la metodología MPC y busca generar herramientas adicionales que por medio de análisis permitan recopilar, explorar y presentar datos para descubrir patrones y tendencias implícitos y que permite generar interpretaciones con el objetivo de tomar las decisiones de negocio más eficaces. El paso No. 8 de la metodología MPC plantea la aplicación de dos herramientas estadísticas, una primera herramienta mediante el estudio de un análisis de varianza ANOVA y un diagrama de Pareto.

Como primera medida el desarrollo de este último paso de la metodología MPC plantea la estructuración de un análisis de varianza (ANOVA) mediante el uso del software libre Minitab, en donde se prueba la hipótesis de que las medias de dos o más poblaciones son iguales. Los ANOVA evalúan la importancia de uno o más factores al comparar las medias de la variable de respuesta en los diferentes niveles de los factores. La hipótesis nula establece que todas las medias de la población son iguales, mientras que la hipótesis alternativa establece que al menos una es diferente.

La varianza es una medida de dispersión que representa la variabilidad de una serie de datos respecto a su media que se calcula como la suma de los residuos al cuadrado divididos entre el total de observaciones, se utiliza para representar la variabilidad de un conjunto de datos respecto de la media aritmética de los mismo.

La otra herramienta estadística que contempla el paso No. 8 de la metodología MPC es el diagrama de Pareto, que es una gráfica para organizar datos de modo que estos queden en forma descendente, de izquierda a derecha y separados por barras. Permite asignar un orden de prioridades. El diagrama es especialmente útil en el estudio del análisis de fallas en la gerencia del mantenimiento

pues permite mostrar gráficamente el principio de Pareto (pocos vitales, muchos triviales), lo cual hace referencia a que existen muchos problemas sin importancia frente a unos pocos muy importantes y cuya distribución generalmente no es lineal sino que el 20% de las causas totales hace que sean originados el 80% de los efectos.

Este estudio es fundamental toda vez que identifica gráficamente los efectos que causan la mayor cantidad de fallas permitiendo establecer un orden de prioridades en la toma de decisiones dentro de la organización.

2) Aplicación paso 8. Metodología MPC: análisis estadísticos aplicados en la planta de zapatería del batallón de intendencia No.1 “Las Juanas”.

La aplicación del paso No. 8 de la metodología MPC se realiza mediante la elaboración de dos herramientas estadísticas muy útiles en la gerencia del mantenimiento industrial, una primera herramienta mediante el estudio de un análisis de varianza ANOVA en relación con la tasa e falla de un repuesto de una máquina de costura de la planta de zapatería del BAINTE y un diagrama de Pareto la tasa de falla de maquinaria de la planta de producción de zapatería.

ESTUDIO ESTADISTICO DE VARIANZA APLICADO A LA TASA DE FALLA

Por medio del presente análisis estadístico se quiere identificar el comportamiento de la vida útil (TASA DE FALLA) del elemento mecánico que realiza la costura en las máquinas la de sección de guarnición de la planta de zapatería del BAINTE, este elemento es comúnmente denominado como “Gancho” y es el repuesto que mayor tasa de falla presenta en las máquinas de costura. Este estudio se realiza por medio del software estadístico Libre Minitab y se fundamenta en un análisis de varianza por sus sigla en inglés Anova de un factor y en donde se analiza la varianza de la vida útil o tasa de falla medida en días tomando como referencia 12 modelos de 4 marcas diferentes de máquinas de costura con el objetivo de analizar el comportamiento del mismo elemento en diferentes marcas de máquinas y a su vez diferentes modelos de máquina.

Tabla 11. Tasa de Falla Gancho Maquinaria Planta Zapatería BAIN.T.

ÍTEM	GANCHO DURKOPP	MODELO	TASA DE FALLA (DÍAS)	ÍTEM	GANCHO BROTHER	MODELO	TASA DE FALLA (DÍAS)
1	MÁQUINA DE AREA CHAPETEADORA 30X20CMS	911	180	1	MÁQUINA 4 COSTURAS	BAS-342G-0	162
2	MÁQUINA ZIGZADORA	525	168	2	MÁQUINA BOTONADORA MARCA BROTHER MOD BE-438D	BE-438D	159
3	MÁQUINA BASTEADORA	609	169	3	MÁQUINA PRESILLADORA BROTHER	KE-430D-02	147
4	MÁQUINA DE HACER OJAL REDONDO ELECTRICA	581	174	4	MÁQUINA CERRADORA CODO BROTHER	DA-9280	153
5	MÁQUINA PLANA	251	200	5	MÁQUINA DE HACER PASADOR	FDA-B271	166
6	MÁQUINA PLANA ELECTRONICA	281	177	6	MÁQUINA OJALADORA BROTHER	HE-800A	139
7	MÁQUINA PLANA DURKOPP	791	168	7	MÁQUINA OJALADORA BROTHER	RH-9820	170
8	MÁQUINA RIBETEADORA	745	175	8	MÁQUINA PLANA DE 2 AGUJAS ESCUALIZABLE MA BROTHER	BTN-8752	168
9	PLANA TRIPLE TRANSPORTEORTE DOS AGUJAS BARRA FIJA	867	178	9	MÁQUINA PLANA 1 AGUJA MARCA BROTHER S7200B-405	S-7200B	166
10	MÁQUINA DE COSER ESPECIAL DE COLUMNA TRIPLE TRANSPORTE	868	185	10	MÁQUINA PLANA DOS AGUJAS ESCUALIZABLE	T-8725A	149
11	REFILADORA	418	190	11	MÁQUINA PLANA POSICIONADORA	S7200	153
12	MÁQUINA ALTA CODO DURKOPP	K269	195	12	MÁQUINA PRESILLADORA BROTHER	KE-430C-02	167
ÍTEM	GANCHO JUKI	MODELO	TASA DE FALLA (DÍAS)	ÍTEM	GANCHO PFAFF	MODELO	TASA DE FALLA (DÍAS)
1	MÁQUINA FILETEADORA	3716-5	134	1	MÁQUINA ALTA DE CODO	335	129
2	MÁQUINA ELECT DOBLE AGUJHA PARA PASADOR	LK1960-5	136	2	MÁQUINA DE DOS AGUJAS TRIPLE TRANSPORTE	1246	122
3	MÁQUINA PRESILLADORA	MHA-JBL200	132	3	MÁQUINA PLANA	9063	121
4	MÁQUINA PLANA	DMN 5420-7	127	4	MÁQUINA PLANA	9062	130

5	MÁQUINA PLANA ELECTRONICA COSER	DMN 5420-3	136	5	MÁQUINA PRESILLADORA	3371	116
6	MÁQUINA CERRADORA DE CODO	MS-1261	133	6	MÁQUINA PLANA REFILADORA MARCA PFAFF	AG 1181	135
7	MÁQUINA ELECT UNA AGUJA TRIPLE TRANSPORTE	L5-1342-3	129	7	MÁQUINA DOS AGUJAS POSTE	1296	111
8	MÁQUINA ELECT UNA AGUJA TRIPLE TRANSPORTE	L5-1342-7	132	8	MÁQUINA DE CODO	28209BL	123
9	MÁQUINA ELECT UNA AGUJA TRIPLE TRANSPORTE	L5-1343	130	9	ZIGZADORA	2747638	124
10	MÁQUINA FILETEADORA	3716-3	128	10	MÁQUINA PLANA TRIPLE TRANSPORTE	1245	123
11	MÁQUINA ELECT DOBLE AGUJA PARA PASADOR	LK1960-3	128	11	MÁQUINA PLANA	9063	118
12	MÁQUINA PRESILLADORA	MHA-JBL200	131	12	MÁQUINA TRIPLE TRANSPORTE ORTADORA	1525	112

ANOVA DE UN SOLO FACTOR: GANCHO DURKOPP; GANCHO BROTHER, GANCHO JUKI Y GANCHO PFAFF

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	GANCHO DURKOPP; GANCHO BROTHER; GANCHO JUKI; GANCHO PFAFF

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	24929	8309,81	122,70	0,000

Error	44	2980	67,72
Total	47	27909	

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
8,22943	89,32%	88,60%	87,29%

Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
GANCHO DURKOPP	12	179,92	10,59	(175,13; 184,70)
GANCHO BROTHER	12	158,25	9,92	(153,46; 163,04)
GANCHO JUKI	12	131,333	3,055	(126,546; 136,121)

Desv.Est. agrupada = 8,22943

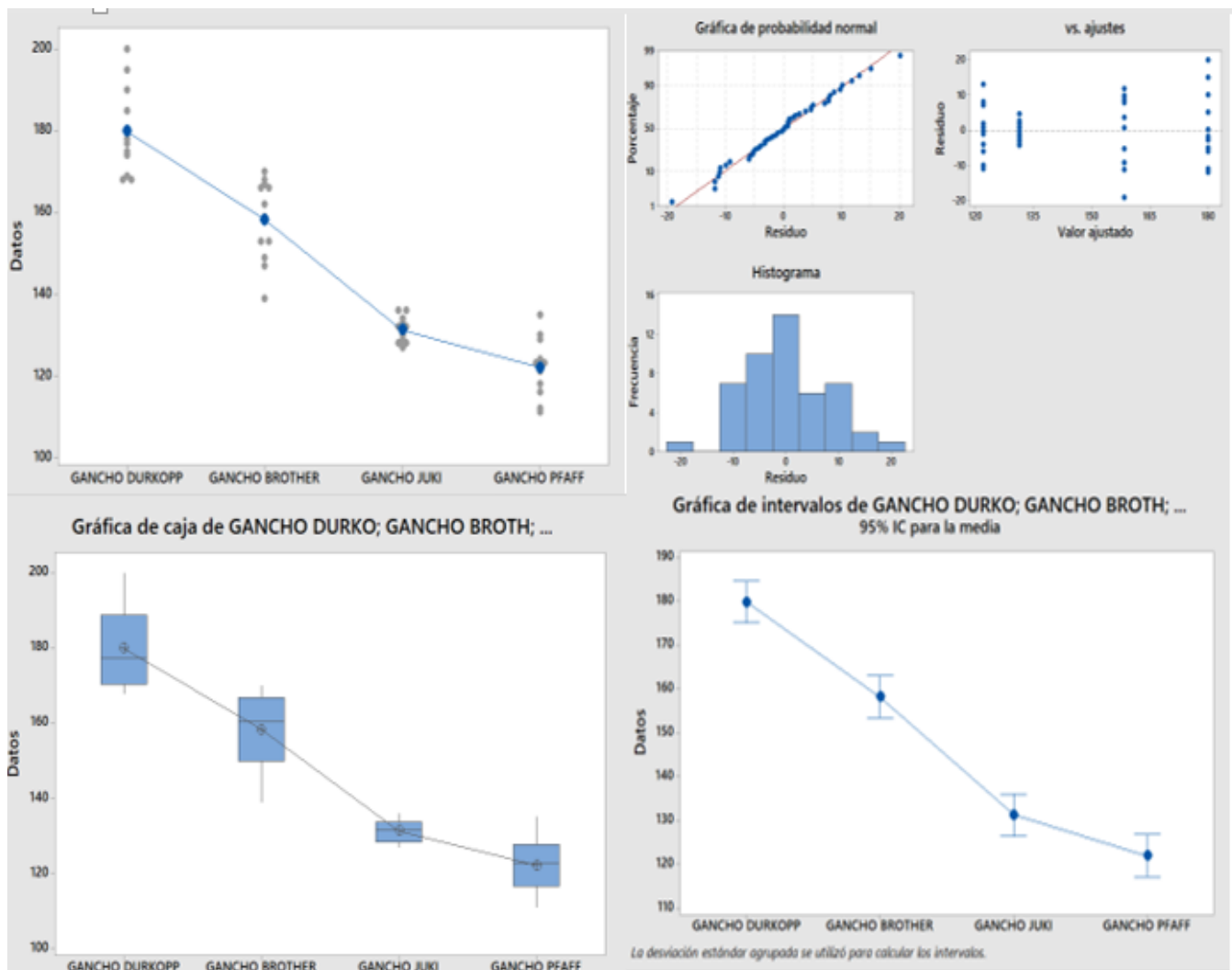


Fig. 13. Resultados ANOVA de un solo factor: Gancho Durkopp; Gancho Brother, Gancho Juki Y Gancho Pfaff
 Teniendo en cuenta que el valor de $P=0$ es menor al nivel de significancia (0,05), se puede afirmar que, si existe diferencia en la duración vida útil o tasa de falla en las diferentes marcas de Ganchos de las máquinas de sastrería, por tanto, se puede decir que con un nivel de significancia de $\alpha=0,05$ que la tasa de falla de los Ganchos medida en días de trabajo a doble turno difiere según la marca de los mismos, por lo cual se rechaza la hipótesis nula.

Analizando la gráfica de cajas se puede evidenciar que el Gancho de marca Durkopp es el más eficiente, ya que presenta un mejor comportamiento en su vida útil teniendo una Tasa de Falla media de casi 180 días, además, analizando la gráfica de residuos se puede observar que las

muestras tomadas están cercanas a la línea de probabilidad normal, lo que indica que no existen puntos anormales que indiquen una falla experimental o un dato erróneo.

Finalmente, se muestra la aplicación de la última herramienta metodológica del paso 8 de la metodología MPC se muestra el diagrama de Pareto como una herramienta útil y visual respecto al comportamiento de datos y que permite mejorar y enfocar la toma de decisiones a fin de atender el grupo pequeño de elementos que generan la mayor cantidad de problemas; en este caso como aplicación práctica para la planta de zapatería del Batallón de Intendencia No.1 “Las Juanas” se realiza un diagrama de Pareto enfocado en el porcentaje de fallas ocasionadas por cada máquina de la planta de producción.

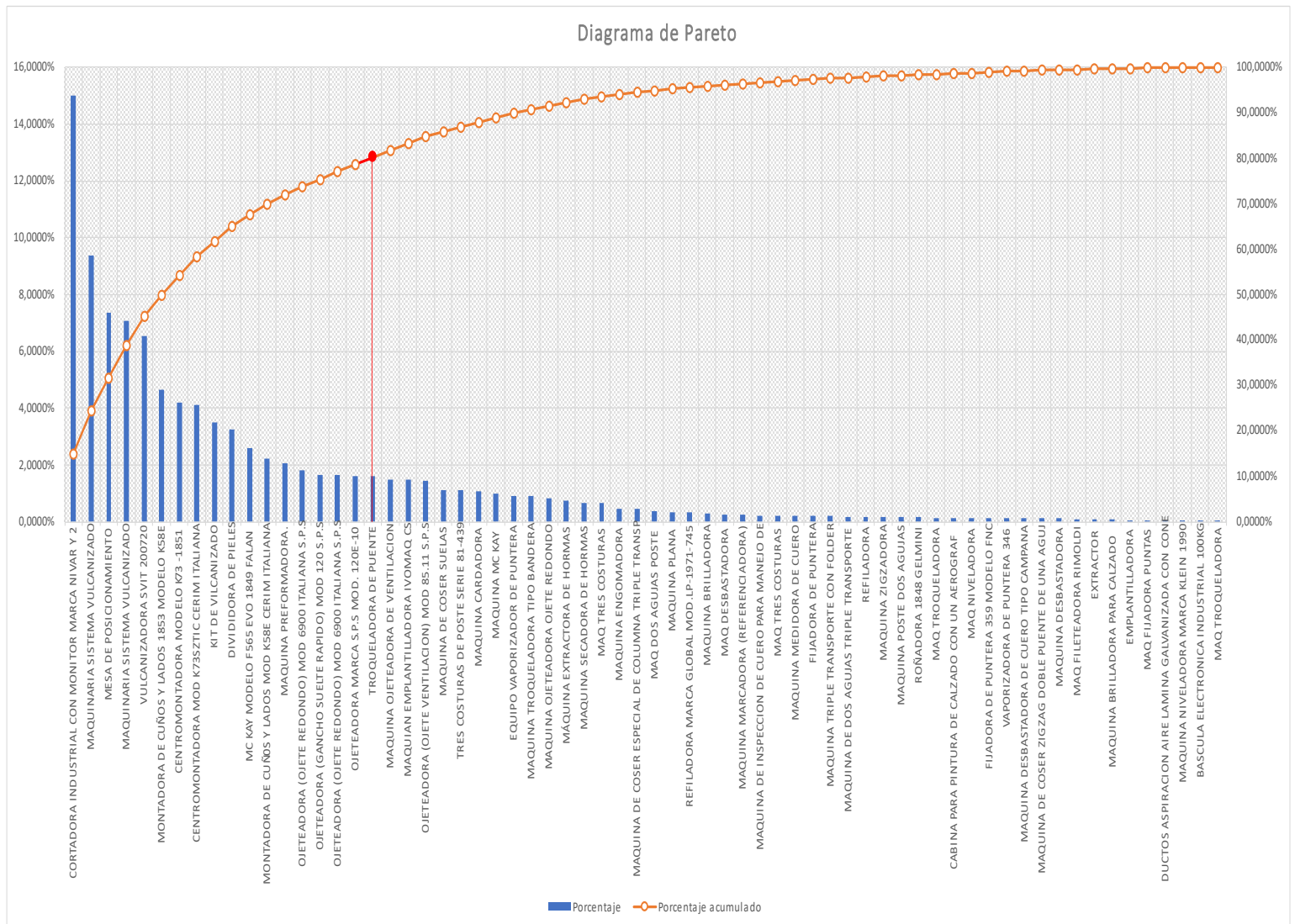


Fig. 14. Diagrama de Pareto fallas de maquinaria planta de zapatería BAI NT.

I. PASO 9. METODOLOGÍA MPC: MEJORA CONTINUA

Finalmente, la metodología de Mantenimiento Productivo Confiable MPC cierra su ciclo con el establecimiento de acciones de mejora continua que permitan perfeccionar cada uno de los pasos anteriormente desarrollados, en esta etapa se tiene que hacer una revisión exhaustiva de las estrategias que se plantearon el Paso 4. de la metodología MPC Prospectiva, en donde se identifican estrategias a fin de mejorar y estar preparados para los futuros cambios a los que se puede ver enfrentada una organización, este análisis debe hacerse teniendo en cuenta la fortalezas

y debilidades de cada proceso en su marco contextual, de igual modo, es muy importante hacer una revisión continua al impacto de dichas estrategias planteadas y la forma es que pueden maximizarse sus beneficios.

La mejora continua es consecuencia de una forma ordenada de administrar y mejorar los procesos, identificando las causas o restricciones, creando nuevas ideas y proyectos de mejora, llevando a cabo planes, estudiando y aprendiendo de los resultados obtenidos y estandarizando los efectos positivos para proyectar y controlar el nuevo nivel de desempeño. [47]; por tanto, luego de implementar este paso metodológico se cierra el ciclo encontrando falencias que deben ser corregidas a fin de mejorar la eficiencia de todo el proceso de mantenimiento y así lograr ser más productivos y competitivos.

Entre otros beneficios de la implementación del Paso 9. de la metodología MPC, Mejora continua; permitirá a la empresa, identificar las causas que provocan las debilidades detectadas y las acciones de mejora a aplicar, analizando su viabilidad y estableciendo prioridades, lo cual busca incrementar la eficacia y eficiencia de la gestión motivando a todo el personal de la organización [48].

La metodología de Mantenimiento Productivo Confiable MPC, concluye con la identificación de las falencias en la implementación de la metodología desarrollada a lo largo del documento, en este punto se deben establecer grupos de trabajo que se encarguen de implementar planes y programas de mejoras estratégicas sobre los procesos de la organización, para que sean traducidos en un incremento de la confiabilidad y la productividad de la empresa. Este paso metodológico además de fundamentarse en la detección de oportunidades de mejora para la empresa, debe permitir el control y seguimiento de las diferentes acciones a desarrollar, así como la incorporación de acciones correctivas ante posibles contingencias no previstas teniendo siempre como foco los objetivos que se proponen de la metodología MPC que busca el incremento de la Productividad y Confiabilidad de la empresa.

J. PASO 9. METODOLOGÍA MPC: ANÁLISIS ECONÓMICO

Este es el paso final de la metodología MPC, en este paso se pretenden definir los costos directos e indirectos básicos que se requieren para la implementación de la metodología de mantenimiento MPC desarrollada identificando los beneficios económicos de su implementación en una empresa de carácter público como lo es la planta de zapatería del Batallón de Intendencia No.1 “Las Juanas” y definiendo variables que permitan en análisis de los costos y los beneficios de la implementación de la metodología en una empresa de carácter privado.

En este paso de la metodología MPC aplicado a la planta de zapatería del Batallón de Intendencia No.1 “Las Juanas” se tiene que contextualizar que al ser una empresa de tipo publico el rubro destinado a la Sección de Mantenimiento es fijo y anualmente es de \$ 5.000.000.000, el beneficio económico directo se ve reflejado en el aprovechamiento efectivo de los recursos anuales destinados para la gestión del mantenimiento, destinando el dinero hacia las maquinas más críticas a fin de garantizar la disponibilidad requerida en producción.

En este punto se pretende establecer el presupuesto general requerido para la estructuración de la propuesta metodológica de mantenimiento MPC en la planta de zapatería del Batallón de Intendencia No.1 “Las Juanas”, así como los recursos necesarios para su implementación. Este presupuesto es realizado con base en que la estructuración y diseño de la metodología duró alrededor de un año.

Tabla 12 Presupuesto diseño e implementación metodología MPC planta de zapatería BAINT

ITEM	RECURSO REQUERIDO	COSTO ESTIMADO
1	Costo del tiempo del ingeniero de mantenimiento destinado para la estructuración de la metodología MPC.	\$15.000.000
2	Costo de capacitación en mantenimiento preventivo autónomo (17 Colaboradores).	\$25.000.000
3	Crear un cargo de Analista de Mantenimiento MPC con el objetivo de establecer funciones de apoyo a la recolección de información y datos para la estructuración de la metodología MPC.	\$30.000.000
4	Puesto de trabajo comprendido por computador, escritorio, silla.	\$5.000.000

5	Costos indirectos relacionados con pérdida de tiempo en producción de maquinaria en la toma de información,	\$20.000.000
6	Costos generales de instalaciones y servicios públicos.	\$5.000.000
	COSTO TOTAL	\$100.000.000

Así mismo se define la forma en que puede evidenciar el beneficio económico de la implementación en una empresa de carácter privado, para lo cual este mismo análisis se debe realizar teniendo en cuenta los costos generados con la implementación de la metodología MPC y su retorno a la inversión luego de calcular los beneficios en el contexto propio de cada empresa. De esta manera se tienen que definir los diferentes costos directos e indirectos de la implementación de la metodología; los costos directos son todos los relacionados con el rendimiento de la empresa y tienen como principal dominio la cantidad de tiempo disponible del equipo como por ejemplo costos de mano de obra, costo de materiales y repuestos directos, costo de instrumentos, herramientas y equipos y cualquier otro costo anexo.

Los costos indirectos son aquellos que no pueden atribuirse de una manera directa a una operación o trabajo específico como por ejemplo la supervisión, costos de reprocesos de producción, costos por pérdidas de producción a causa de las fallas de los equipos, costos por disminución de producción, costos por pérdidas de calidad del producto terminado debido a la maquinaria, costos de almacén, instalaciones, servicio de externos, administración y servicios públicos. Los Costos Generales son los costos en que incurre la empresa destinados a la sección de mantenimiento que garantiza el funcionamiento de la maquinaria.

CONCLUSIONES

1. Esta investigación genera una nueva e innovadora propuesta metodológica para la gestión integral del mantenimiento industrial denominada “*Mantenimiento Productivo Confiable – MPC*”, estructurada e implementada para la planta de Zapatería del Batallón de Intendencia No.1 “Las Juanas” en donde se establece el paso a paso metodológico que permite a cualquier ingeniero de mantenimiento implementarla en un programa de mantenimiento industrial para cualquier empresa.
2. Con el desarrollo de la metodología de “*Mantenimiento Productivo Confiable – MPC*”, se generaron herramientas prácticas de gerencia de mantenimiento en cada uno de los pasos metodológicos; como la contextualización de la organización su competitividad empresarial, el análisis de la prospectiva empresarial, la vigilancia tecnológica de la organización, su planeación estratégica, la capacitación del personal y las auditorias de mantenimiento y análisis estadísticos como el estudio de los modos y efectos de falla, análisis de criticidad de maquinaria, tasa de falla, análisis de Pareto entre otros estudios estadísticos integrados dentro un proceso de mejora continua general.
3. La metodología de “*Mantenimiento Productivo Confiable – MPC*”, desarrollada en la presente investigación, combina de manera práctica diferentes elementos relacionados a la gerencia del mantenimiento y el manejo efectivo de la maquinaria industrial teniendo como foco aumentar la confiabilidad y productividad total de la empresa; de igual modo la metodología de “*Mantenimiento Productivo Confiable – MPC*”, estructura la gerencia de mantenimiento desde un punto de vista más holístico, en donde además de analizar el elemento técnico del mantenimiento industrial de la maquinaria, se realizan estudios estratégicos y gerenciales que incluyen a todo el personal de la empresa y que permiten identificar las acciones a seguir a fin de cumplir su misionalidad y satisfacer las necesidades de todos los interesados.

4. La investigación implementa de manera práctica diferentes conceptos de gestión empresarial e identifica de manera efectiva elementos contextuales y competitivos que dan al gerente de ingeniería herramientas para la toma de decisiones y el planteamiento del direccionamiento estratégico de la empresa teniendo como eje central la gerencia del mantenimiento enfocada en la productividad y la confiabilidad de todo el proceso.

5. El impacto económico que representa la estructuración e implementación de la metodología de la metodología de “*Mantenimiento Productivo Confiable – MPC*”, para el Batallón de Intendencia No.1 “Las Juanas” es tangible y se ve reflejado en la forma de contratación pública del Ejército Nacional en la vigencia 2021, siendo parte fundamental de la estructuración técnica de los contratos de mantenimiento externo en búsqueda de la optimización de los recursos estatales destinados a la maquinaria prioritaria del BAINTE, de la misma manera la metodología MPC pretende ser una herramienta de gerencia de ingeniería aplicable a todas las unidades productivas del Ejército nacional de Colombia y cualquier empresa de carácter público o privado que busque garantizar la productividad y confiabilidad de sus procesos obteniendo un beneficios económicos, laborales, sociales y medioambientales.

VII REFERENCIAS

- [1] THE ENGINEERING SOCIETY FOR ADVANCING MOBILITY LAND, SEA, AIR AND SPACE INTERNATIONAL, (SAE). Norma para vehículos aeroespaciales. Criterios de evaluación para procesos de mantenimiento centrado en confiabilidad. SAE JA 1011. Estados Unidos de América: 1999.
- [2] SAE. Prácticas recomendadas para vehículos aeroespaciales y de superficie. Una guía para la norma de mantenimiento centrado en confiabilidad (MMC). SAE JA1012. Estados Unidos de América: 2002. 34
- [3] TROFFÉ, Mario. Análisis ISO 14224 /OREDA y su relación con RCM-FMEA. [Citado el 9 de septiembre de 2015] Disponible en <<http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/0605MarioTroffeISO14224.pdf>>. Pp. 7 - 8
- [4] J. J. Bernal, “Plan De Mantenimiento Centrado En Confiabilidad Rcm 2 Para La Empresa Pretecor Ltda,” Universidad Industrial de Santander UIS, 2016.
- [5] N. Aionaaka, “Integration of RCM analysis into the S-3A maintenance program.,” NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL, 1986.
- [6] J. August, Applied Reliability Centered Maintenance, 1st ed. Tulsa, Oklahoma: Penn Well, 1999.
- [7] L. ANDERSON, T, NERI, Reliability-centered maintenance: Management and Engineering Methods. ELSEVIER, 1992.
- [8] J. Moubray, Reliability Centered Maintenance RCM II, 4th ed. Brithis Library Cataloguing, 1991.
- [9] R. Gulati, Maintenance and Reliability Best Practices, SECOND. NEW YORK: Industrial Press, Inc., 2012.
- [10] N. Regan, The RCM Solution: A Practical Guide to Starting and Maintaining a Successful RCM Program Download, FIRST. Madison, Alabama: Industrial Press Inc., 2012.
- [11] J. Sifont, J, Reyes, Reliability centered maintenance - reengineered : practical optimization of the RCM process with RCM-R. Taylor & Francis Group, 2017.
- [12] J. Smith, Reliability, Maintainability and Risk Practical Methods for Engineers, Eighth edi. OXFORD: Elsevier Ltd, 2011.

- [13] National Aeronautics and Space Administration NASA, “RCM GUIDE RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE GUIDE For Facilities and Collateral Equipment,” NASA, 2008. https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/nasa_rcmguide.pdf (accessed Sep. 12, 2020).
- [14] Ford, GMC, and Chrysler, “Potential failure mode and effects analysis (FMEA),” 1995. [Online]. Available: https://www.lehigh.edu/~intribos/Resources/SAE_FMEA.pdf.
- [15] J. Andrawus, “Maintenance optimisation for wind turbines,” The Robert Gordon University, 2008.
- [16] F. Backlund, “Managing the introduction of reliability-centred maintenance, RCM,” LULEÅ UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 2003.
- [17] R. Cruzado, “Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) a bombas de carga en una refinería,” Universidad de Piura, 2020.
- [18] E. López, “APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM EN COLECTORES DE POLVO EN UNA EMPRESA CEMENTERA PARA MEJORAR SU CONFIABILIDAD,” Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2018.
- [19] R. MARTÍNEZ, ““Mantenimiento basado en la confiabilidad para incrementar la disponibilidad en línea de producción de la planta industrial ladrillos Lark – Lambayeque,”” Universidad César Vallejo, 2019.
- [20] C. Ruda, J. Orrego, and O. Botero, “ANÁLISIS RCM (MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE PASTA A SILOS EN LA PLANTA DE PISOS Y PAREDES EN COLCERÁMICA, GIRARDOTA,” UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA, 2018.
- [21] J. Ardila, M. Ardila, D. Rodríguez, and D. Hincapié, “MAINTENANCE MANAGEMENT: A REVIEW,” *Dimens. Empres.*, vol. 14, no. 2, pp. 129–144, 2016, doi: 10.15665/rde.v14i2.480.
- [22] H. A. Gabbar, H. Yamashita, K. Suzuki, and Y. Shimada, “Computer-aided RCM-based plant maintenance management system,” *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 19, no. 5, pp. 449–458, Oct. 2003, doi: 10.1016/S0736-5845(03)00031-0.
- [23] J. A. Chamorro Sequeira and O. A. Lagos Zamora, ““Implementación del Modelo TPM (Total Productive Maintenance) para la mejora de procesos productivos en la industria nicaragüense,”” UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA DIRECCION, MANAGUA, NICARAGUA, 2018.

- [24] A. P. Dawane and C. M. Sedani, “Study and Investigations of RCM Methodology in Manufacturing Industry to Minimize Breakdown Maintenance,” *Int. J. Innov. Eng. Sci.*, vol. 1, no. 3, pp. 2456–3463, 2016, Accessed: Sep. 12, 2020. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/333395703_Study_and_Investigations_of_RCM_Methodology_in_Manufacturing_Industry_to_Minimize_Breakdown_Maintenance.
- [25] E. Estupiñan and O. Cordero, “Using FMECA - RCM methodology as a tool for the optimization of the maintenance strategy in a copper roasting plant,” *BISTUA Rev. LA Fac. CIENCIAS BASICAS*, vol. 17, no. 2, p. 21, Aug. 2019, doi: 10.24054/01204211.v2.n2.2019.3519.
- [26] B. Al-Najjar and I. Alsyuf, “Selecting the most efficient maintenance approach using fuzzy multiple criteria decision making,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 84, no. 1, pp. 85–100, Apr. 2003, doi: 10.1016/S0925-5273(02)00380-8.
- [27] N. A. A. Azid, S. N. A. Shamsudin, M. S. Yusoff, and H. A. Samat, “Conceptual Analysis and Survey of Total Productive Maintenance (TPM) and Reliability Centered Maintenance (RCM) Relationship,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Jun. 2019, vol. 530, no. 1, p. 14, doi: 10.1088/1757-899X/530/1/012050.
- [28] A. Medina, “Técnicas de mantenimiento RCM y TPM , aplicando RCM al mantenimiento eléctrico,” Medellín, Colombia, 2019.
- [29] Z. Cristian, M. Flor, and A. Reyes, “METODOLOGÍA PARA LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO DE LOS MATERIALES DESDE LOS MÉTODOS DE DETECCIÓN DE FALLOS TEMPRANOS,” Sep. 2017. Accessed: Sep. 13, 2020. [Online]. Available: <https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/528>.
- [30] J. C. Schmitt and C. R. C. Lima, “Método de Análise de Falhas utilizando a Integração das Ferramentas DMAIC, RCA, FTA e FMEA,” UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA, 2013.
- [31] J. A. M. Velasquez, “Aplicación de RCM como estrategia de implementación del mantenimiento predictivo para la metodología TPM,” Universidad Nacional de Colombia, 2018.
- [32] J. Bokrantz, A. Skoogh, and T. Ylipää, “The Use of Engineering Tools and Methods in Maintenance Organisations: Mapping the Current State in the Manufacturing Industry,” in *Procedia CIRP*, Jan. 2016, vol. 57, pp. 556–561, doi: 10.1016/j.procir.2016.11.096.

- [33] L. Machado et al., “The methodology of machinery and equipment maintenance adopted by the textile industries located in the Zona da Mata Mineira,” *Ingeniare, Rev. Chil. Ing.*, vol. 25, no. 1, pp. 134–142, Jan. 2017, doi: 10.4067/S0718-33052017000100134.
- [34] L. Wang, J. Chu, and J. Wu, “Selection of optimum maintenance strategies based on a fuzzy analytic hierarchy process,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 107, no. 1, pp. 151–163, May 2007, doi: 10.1016/j.ijpe.2006.08.005.
- [35] ISO 14224:2006; Petroleum, petrochemical and gas industries; Collection and Exchange of Reliability and Maintenance data for Equipment. P. 6.
- [36] RUEDA GÓMEZ, Gustavo. Administración del mantenimiento. Tomo 1. p. 55
- [37] Seiichi Nakajima, *Introducción al TPM (Mantenimiento Productivo Total)*, ISBN 8487022855, 9788487022852, 146 páginas.
- [38] Lluís Cuatrecasas Arbós, *TPM, Hacia la competitividad a través de la eficiencia de los equipos de producción*, Editores: Gestión 2000, Año de publicación: 2000, España, ISBN: 84-8088-360-X
- [39] Tokutaro Suzuki, “TPM in Process Industries” Takutaro Suzuki, Editores: Taylor & Francis, 1/04/1996 - 404 páginas
- [40] PÉREZ JARAMILLO, Carlos Mario. RCM Casos de éxito y sus factores claves. [Citado el 2 de octubre de 2015] Disponible en < <http://www.soporteycia.com/component/flippingbook/book/7> >. p.7.
- [41] Sampieri Hernández, R., Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, M. (2010). *Metodología de la investigación*. México D. F.: McGrawHill
- [42] Michael E. Porter, *La ventaja competitiva de las naciones*, Harvard Business Review, ISSN 0717-9952, 1993.
- [43] OCDE ENVIRONMENTAL OUTLOOK TO 2030, Summary in Spanish *Prospección Medioambiental de la OCDE para el 2030*, ISBN 978-92-64-04048, 2008
- [44] Alexander Osterwalder, Yves Pigneur, *Business Model Generation: A Handbook for Visionaries*, John w y Sons Inc, Hoboken New Jersey 2010.
- [45] Definición Patente, consultado en línea: <https://www.sic.gov.co/patentes#:~:text=La%20Patente%20es%20un%20privilegio,invento%20por%20un%20tiempo%20determinado.>
- [46] GONZÁLES FERNÁNDEZ, Francisco Javier. *Auditoría mantenimiento e indicadores de gestión*. España, Artegraf S.A., 2004. Pp. 103-115.

- [47] Humberto Gutierrez Pulido, Calidad total y productividad, McGrawHill, Tercera edición, 2010, ISBN: 978-607-15-0315-2.
- [48] Lizeth Villegas, Plan de mejoras como herramienta de trabajo, Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación, ULE SANTA ROSA.