



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**PLAN DE MANTENIMIENTO
PREDICTIVO APLICANDO
APRENDIZAJE AUTOMÁTICO EN LA
EMPRESA MULTI ALIMENTOS
COJEDES C.A.**

Autor:

Diego Andrés Hernández Arnesen

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394

J-30400858-9



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



**PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO APLICANDO APRENDIZAJE
AUTOMÁTICO EN LA EMPRESA MULTI ALIMENTOS COJEDES C.A.**

Proyecto del Trabajo de Grado para optar al título de
INGENIERO INDUSTRIAL

Autor:

Diego Andrés Hernández Arnesen

Cedula: 27.242.918

Tutor:

Ing. Manuel Cuadrado

Cedula: 7.067.357

San Diego, Octubre de 2024




REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**CONSTANCIA DE APROBACIÓN PARA LA PRESENTACIÓN
PÚBLICA DEL TRABAJO DE GRADO**

Quien suscribe, Manuel Cuadrado, portador de la cédula de identidad N°7.067.357, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por el ciudadano Diego Andrés Hernández Arnesen, portador de la cédula de identidad N° 27.242.918, titulado **“PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO APLICANDO APRENDIZAJE AUTOMÁTICO EN LA EMPRESA MULTI ALIMENTOS COJEDES C.A.”**, presentado como requisito parcial para optar al título de INGENIERO INDUSTRIAL, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 06 días del mes de marzo del año dos mil veinticuatro.


Ing. Manuel Cuadrado
C.I: 7.067.357



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

ACTA DE APROBACIÓN

INFORME DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de Ingeniería para la evaluación del Informe de Pasantía o Trabajo de Grado titulado:

Plan de mantenimiento predictivo aplicando aprendizaje automático en la empresa Multialimentos Cojedes, C.A.

Realizado por el (la) Br. Diego A. Hernández Arnesen

C.I. N° 27.242.918 cursante de la carrera de Ing. Industrial

hace constar, después de haber analizado su contenido y oída la exposición oral, considera que el mismo ha sido:

APROBADO

NO APROBADO

El Jurado

[Signature]
Tutor Académico (Coordinador)
Nombre: Manuel Cuadrado G.
C.I.: 7067357

[Signature]
Jurado
Nombre: Juan Prudente
C.I.: 7.187.788

[Signature]
Jurado
Nombre: MANUEL DUARTE
C.I.: 6.977.778

Fecha: 10/04/2024



ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	pp.
ÍNDICE DE CUADROS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
RESUMEN	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO	
I EL PROBLEMA	
1.1 Planteamiento del Problema.....	2
1.2 Formulación del Problema.....	5
1.3 Objetivos de la Investigación.....	5
1.3.1 Objetivo General.....	5
1.3.2 Objetivos Específicos.....	5
1.4 Justificación de la investigación.....	6
1.5 Alcance.....	7
II MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes.....	8
2.2 Teorías centrales de la investigación.....	10
2.3 Bases Teóricas.....	11
2.3.1. Mantenimiento.....	11
2.3.2. Aprendizaje automático.....	13
2.3.3. Algoritmos de clasificación.....	14
2.4 Bases Legales.....	20
2.5 Definición de Términos.....	22
III MARCO METODOLÓGICO	
3.1 Tipo de Investigación.....	18
3.2 Diseño de la Investigación.....	18
3.3 Nivel de la Investigación.....	18

3.4. Población y Muestra.....	19
3.5. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.....	19
3.6. Técnicas de análisis de resultados.....	21
3.7. Validez de los instrumentos.....	22
3.8. Fases Metodológicas.....	22
3.9. Cuadro de Operacionalización de Variables.....	23
IV RESULTADOS	
4.1. Diagnosticar del plan de mantenimiento actual del área de envasado	24
4.1.1. Descripción de los procesos de la máquina Braskop 5003/1	24
4.1.2. Descripción del procedimiento actual de mantenimiento en Braskop 5003/1.....	26
4.1.3. Características del proceso de mantenimiento	28
4.1.4. Debilidades detectadas.....	30
4.2. Analizar la causa raíz de las debilidades encontradas en el diagnostico.....	30
4.2.1. Estado actual de la máquina.....	31
4.2.2. Análisis causa-efecto de fallas.....	32
4.2.3. Efectividad total de la máquina.....	37
4.3. Diseñar plan de mantenimiento predictivo en el área de envasado	39
4.3.1. Recolección de datos.....	39
4.3.2. Instrumentación.....	40
4.3.3. Modelo y evaluación.....	46
4.3.4. Plan de mantenimiento.....	54
4.4. Evaluar la factibilidad operativa, económica, técnica, ambiental y social en el diseño elaborado.....	60
4.4.1. Factibilidad operativa.....	60
4.4.2. Factibilidad económica.....	61
4.4.3. Factibilidad técnica.....	62
4.4.4. Viabilidad ambiental.....	63
4.4.5. Viabilidad social.....	63
CONCLUSIONES.....	65
RECOMENDACIONES.....	67

REFERENCIAS..... 68
APÉNDICE..... 70
ANEXO 75

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	DESCRIPCIÓN	pp.
1	Comparación de los tres tipos de aprendizaje automático.....	14
2	Operacionalización de variables.....	23
3	Entrevista.....	26
4	Descripción de los datos.....	45
5	Clasificación de los fallos	56
6	Respuesta de las anomalías.....	59

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	DESCRIPCIÓN	pp.
1	Flujo de procesos para la elaboración de margarina.....	3
2	Máquina Braskop 5003/1.....	4
3	Esquema temporal predictivo.....	13
4	Neurona biológica	16
5	Red neuronal artificial	17
6	Curva sigmoidea	18
7	Topología básica de red neuronal	19
8	Retroalimentación de una red neuronal	20
9	Curva de la bañera de mantenimiento	31
10	Diagrama causa-efecto de máquina sin partida	32
11	Diagrama causa-efecto de mesa no indexada	33
12	Diagrama causa-efecto de fallos en la dosificación	34
13	Diagrama causa-efecto de sellado incorrecto	35
14	Diagrama causa-efecto de fallas en coordinación de envasado	36
15	Diagrama de transmisión de protocolo MQTT	41
16	Resumen de dataset DS001	46
17	Procesos fundamentales de los modelos	46
18	Arbol de decisiones resultante	48
19	Límite de decisiones de constante k	49
20	Precisión vs cantidad de neuronas en la capa oculta	52
21	Red neuronal resultante	52
22	Comparación de clasificadores	54
23	Diagrama de flujo reactivo	55

LISTA DE TABLAS

TABLA	DESCRIPCIÓN	pp.
1	Comparación de productividad.....	4
2	Registro de fallas observadas.....	5
3	Horas laborables de la máquina.....	38
4	Efectividad total del equipo.....	39
5	Matriz de confusión KNN.....	50
6	Comparación de clasificadores.....	54
7	Inversión en instrumentación.....	61



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO APLICANDO APRENDIZAJE
AUTOMÁTICO EN LA EMPRESA MULTI ALIMENTOS COJEDES C.A.**

Autor: Diego Andrés Hernández
Arnesen
Tutor: Ing. Manuel Cuadrado
Fecha: Marzo 2024

RESUMEN

Multi Alimentos Cojedes C.A. es una organización perteneciente al ramo de alimentos, el cual se ha planteado como objetivo ser una empresa manufacturera posicionada en el mercado venezolano y para alcanzar tal fin busca aumentar la productividad de su planta ubicada en Tinaquillo, Cojedes. Por lo tanto, el propósito fundamental del presente trabajo de investigación de tipo proyecto factible con diseño de campo, un nivel de investigación descriptivo y en la línea de investigación de desarrollo de las nuevas tecnologías de la información y comunicación, tiene como objetivo diseñar un plan de mantenimiento predictivo para la empresa Multi Alimentos Cojedes C.A. aplicando técnicas de aprendizaje automático específicamente en el área de envasado donde se ubica la máquina llenadora de margarinas y mantecas el cual en el cual se verá bajo estudio su mantenimiento mediante cuatro (04) fases metodológicas que están alineadas con los objetivos específicos planteados y los recursos para implementar el desarrollo de los mismos, dando como resultado un diagnóstico del plan de mantenimiento, un análisis, el diseño del plan de mantenimiento predictivo basado en la condición de la máquina junto con sus respectivas evaluaciones operativas, técnicas, sociales, ambientales y económicas en dicha propuesta.

Descriptor: aprendizaje automático, mantenimiento, predictivo

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento predictivo está relacionado con el empleo de técnicas de aprendizaje automático basado en ciencia de datos y estadística, en consecuencia, el aprendizaje automático es una forma de automatización industrial. Multi Alimentos Cojedes C.A. una empresa del sector alimenticio, con una reciente trayectoria de nueve (09) años de operaciones en Venezuela tiene como función la manufactura de margarinas y mantecas. En esta empresa se desarrollan proyectos involucrando los métodos hacia las mejores prácticas de manufactura, especialmente en el mantenimiento y la mejora continua en este trabajo de investigación, se proyecta desarrollar una propuesta en la planta, específicamente en la línea de envasado.

El objetivo principal es elaborar una propuesta de diseño y adaptación de un plan de mantenimiento predictivo en el proceso de envasado; además de ser un requisito indispensable para optar por el título de Ingeniería Industrial, se busca resolver la problemática aplicando los conocimientos adquiridos durante la carrera. Para el desarrollo del presente trabajo de grado, se estructuraron 4 capítulos, el contenido de cada uno de estos capítulos se detalla a continuación:

Capítulo I: este capítulo se describe y se plantea el problema existente, se establece el objetivo general y los específicos y se hace una presentación detallada de todo lo que caracteriza al problema y las condiciones necesarias en la formulación del problema para esta investigación.

Capítulo II: este capítulo contiene los antecedentes, así como las bases teóricas que le dieron el sustento y apoyo a la investigación realizada, y finalmente la definición de términos básicos, referido a los conceptos relacionados con el trabajo.

Capítulo III: expone la manera como se va a realizar el estudio, constituido por fases las cuales obedecen a los objetivos planteados. El fin de este capítulo es establecer el diseño metodológico con el cual se va a llevar a cabo el desarrollo de la investigación.

Capítulo IV: Este capítulo menciona los recursos utilizados en cuanto humanos, institucionales y materiales para realizar para realizar la investigación, también se presenta el cronograma de actividades con un diagrama de Gantt en función a las fases.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema

Con la llegada de la cuarta revolución industrial, también conocida como la industria 4.0 ha traído consigo en los años recientes una nueva forma de organizar y gestionar los recursos y los medios productivos, creando empresas más inteligentes caracterizada por la automatización y una toma de decisiones más informada. En esta nueva etapa, los sensores, las máquinas, los componentes y los sistemas informáticos estarían conectados a lo largo de la cadena de valor. Estos sistemas conectados podrían interactuar entre ellos usando protocolos estándar basados en Internet y analizar los datos para prever errores, configurarse ellos mismos y adaptarse a posibles cambios. Dicho de otro modo, las tecnologías digitales permiten la vinculación del mundo físico (dispositivos, materiales, productos, maquinaria e instalaciones) con el digital (sistemas). Esta conexión habilita que dispositivos y sistemas colaboren entre ellos y con otros sistemas para crear una industria inteligente, con producción descentralizada y que se adapta a los cambios en tiempo real. En este entorno, las barreras entre las personas y las máquinas se difuminan. Así como Elena G. Popkova y Yulia V. Ragulina (2019) de la misma manera relatan que “Dentro del enfoque de producción, el desarrollo de la Industria 4.0 significa la modernización de la industria con una automatización a gran escala de los procesos de producción. Se hace hincapié en el componente organizativo del funcionamiento de las empresas industriales”.

Las fábricas inteligentes utilizan robots y sistemas ciberfísicos para realizar tareas de producción de manera autónoma. Esto no solo aumenta la eficiencia, sino que también reduce los costos laborales y mejora la calidad de los productos. Destaca que la automatización también permite a las empresas adaptarse más rápidamente a las cambiantes demandas del mercado.

Multi Alimentos Cojedes C.A., es una empresa del sector alimentos cuyo objeto principal constituye la manufactura y envasado de aceites comestibles e industriales, y la fabricación de margarinas, y mantecas. Entre ellos oleína de palma en presentación de 1Gl y 18L; manteca multipropósito en cajas de 8kg, 10kg, 15kg y envases de 500gr; manteca saborizada en cajas de 10kg, 15kg, y envases de 500gr.; margarina industrial en presentaciones para cajas de 10kg, envases de 3kg, 6kg, y 8kg; margarina de mesa en presentaciones para envases de 350gr. y 500gr.

En este sentido, el proceso productivo puede estudiarse de acuerdo a los siguientes subprocesos:

1. Recepción de materiales, preparación de la mezcla lipida en los tanques externa, y despacho de producción.
2. Alistamiento de las líneas de producción.
3. Envasado de aceites de baja densidad.
4. Formulación para mantecas y margarina con preparación de mezcla lipida en tanqueria externa.
5. Formulación para mantecas y margarina con preparación de mezcla lipida en tanqueria interna.
6. Envasado de mantecas y margarina en cajas.
7. Envasados de mantecas y margarina en envases.
8. Envasado de mantecas y margarina en otros tipos de envases.
9. Cierre de producción y cuarentena.
10. Almacenamiento y despacho.

Los procesos involucrados en la obtención de estos productos se observan en la figura

1:

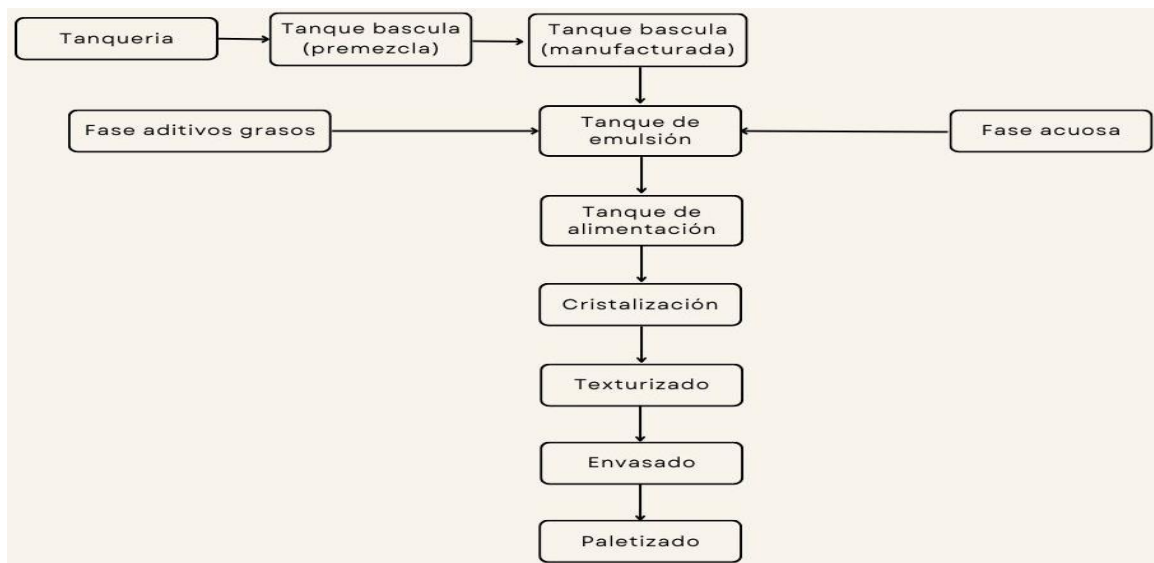


Figura 1. Flujo de procesos para la elaboración de margarina

Fuente: Multi Alimentos Cojedes C.A. (2024)

De este esquema, se encuentra la necesidad de actualizar procesos y métodos tecnológicos buscando automatizar varias de sus operaciones en específico el área de envasado debido que tiene cierta presencia de un cuello de botella, pues el flujo de materia prima posterior del proceso es mayor que la capacidad que el área de envasado puede operar, por lo que se ha denominado alta prioridad en Multi Alimentos Cojedes C.A., en respuesta se ha decidido optar por la implementación de una nueva línea de máquinas denominada

Bracholanda la cual está constituida por 3 módulos, entre ellos está el del caso de estudio el primer módulo denominada llenadora (BRASKOP 5003/1): esta máquina ejecuta automáticamente y sincronizadamente las siguientes operaciones: a) Colocación del embalaje, b) transferencia de la mesa, c) dosaje del producto, d) colocación de la tapa en el embalaje, e) sellado de la tapa, f) Colocación de la sobretapa, g) Extracción y transferencia del embalaje.

La llenadora tiene una capacidad optima de 2270kg/H, pero actualmente se encuentra operando a 600Kg/H equivalente solo al 26% de su capacidad, debido a que solo está trabajando con una sola línea a velocidad mínima debido a constantes y diversas fallas que está presentando la máquina.



Figura 2. Máquina Braskop 5003/1

Fuente: Multi Alimentos Cojedes C.A. (2024)

El plan de mantenimiento de la máquina llenadora se ha visto insuficiente en cuanto a su desempeño esperado y como consecuencia se lleva a la medida de mantenimientos correctivos indeseados, consumiendo tiempo y personal operativo. Para registrar estos inconvenientes, se anotaron las revisiones y la frecuencia de cambios en la tabla 1.

Tabla 1. Comparación de productividad de la máquina Braskop 5003/1

Variable	Actual	Requerida	Optima
Productividad	1300Und/Hr	4406Und/Hr	5000Und/Hr
Masa	590Kg/Hr	2000Kg/Hr	2270Kg/Hr

Fuente: Hernández D. (2024)

Tabla 2. Registro de fallas observadas

Fallas	Frecuencia	Observaciones
Los vasos no son colocados correctamente en los porta-vasos de la mesa.	4	4
La máquina sin partida	1	4
El dosador funciona mismo sin vasos	1	4
Dosaje equivocada.	1	4
Vaso o tapa deformado después del termo sellado.	1	4

Fuente: Hernández D. (2024)

Como puede observarse en la tabla 2, se recopiló los resultados de las observaciones efectuadas en un turno de 8 horas por 4 mediante observación directa. Este bajo rendimiento no satisface la demanda actual del mercado, tampoco satisface con los recursos e insumos planificados y asignados en el tiempo establecido. todo ello repercute en el compromiso de la empresa con sus clientes, ya que se hace notoria la brecha entre la demanda de estos con la producción real, generando retraso en el cumplimiento de los pedidos, insatisfacción de los clientes internos-externos y re-trabajo en cuanto a la planificación de otras gerencias como lo son operaciones, fabricación, conversión, logística y ventas.

1.2. Formulación del Problema

La necesidad de aumentar la producción y eliminar el cuello de botella encontrado en la llenadora de la empresa Multi Alimentos Cojedes C.A., causa de no ser detectadas las fallas y como consecuencia recurrir a un mantenimiento correctivo en la llenadora generando tiempo perdido en paradas y trabajo humano en la máquina.

De lo anterior, surge la siguiente interrogante:

¿Cómo diseñar un plan de mantenimiento que controle la condición de la máquina Braskop 5003/1 y aumente la productividad de la empresa Multi Alimentos Cojedes C.A.?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

Diseñar un plan de mantenimiento predictivo para la empresa Multi Alimentos Cojedes C.A. aplicando técnicas de aprendizaje automático.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Diagnosticar el proceso de mantenimiento actual del área de envasado

- Analizar la causa raíz de las debilidades encontradas en el diagnóstico
- Diseñar plan de mantenimiento predictivo en el área de envasado
- Evaluar la factibilidad operativa, económica, técnica, ambiental y social en el diseño elaborado

1.4. Justificación de la Investigación

La empresa Multi Alimentos Cojedes C.A. desempeña un papel fundamental en la economía local y regional por su participación en los mercados de margarina y manteca. La implementación de un plan de mantenimiento predictivo utilizando tecnologías de la industria 4.0 en la empresa es innovador a la misma vez pueden mejorar la posición competitiva en vanguardia tecnológica que puede contribuir a una mayor estabilidad laboral al reducir las paradas de producción, mejorar la posición competitiva y optimizar la eficiencia de las operaciones lo que reducirá los tiempos de inactividad no planificados y aumentará la productividad desde los 600kg/H que actualmente opera la máquina hasta un punto aceptable junto con las ventajas económicas que esta trae. Esto se traduce en un funcionamiento más fluido y una mayor capacidad de cumplir con los compromisos adquiridos con los clientes. Esto puede tener un impacto positivo en la comunidad al generar empleo y mantener el flujo económico a su vez puede disminuir la generación de residuos y emisiones innecesarias que podrían derivarse de arranques y paradas frecuentes de las máquinas. Así, se puede contribuir al uso más sostenible de los recursos naturales y la disminución del impacto ambiental.

La investigación contribuirá al avance del conocimiento en el área de mantenimiento industrial y la aplicación de técnicas de aprendizaje automático en la industria 4.0. El estudio de las causas raíz de las fallas y la creación de un modelo predictivo basado en datos históricos y patrones de fallos representan un aporte a la comunidad académica y empresarial, por otro lado la metodología utilizada en esta investigación, que involucra el análisis de datos históricos, la adquisición de datos precisos y el uso de técnicas de aprendizaje automático, puede ser replicable en otras industrias y empresas que enfrenten desafíos similares en el mantenimiento de sus equipos. Esto otorga un valor metodológico y práctico a la investigación. Todas estas observaciones alinean con la línea de investigación de " Desarrollo de nuevas tecnologías de la información y comunicación " de la Universidad José Antonio Páez aportando para esta misma para el ámbito académico una investigación donde se juntan las técnicas de aprendizaje automático y el mantenimiento para ejecutar un plan de mantenimiento predictivo. La aplicación de técnicas avanzadas de aprendizaje automático en el ámbito industrial contribuye

al desarrollo tecnológico y a la búsqueda de soluciones sostenibles para los desafíos empresariales.

1.5. Alcance

Esta propuesta se realizará en la planta de Multi Alimentos Cojedes C.A., especialmente en la línea de envasado; este trabajo de investigación abarca el análisis de las propuestas de mejoras factibles y la adaptación de la unidad del plan de mantenimiento, a fin de prevenir fallas no detectadas, así como las paradas. En el desarrollo de este trabajo, el análisis de los datos disponibles permitirá proponer una metodología en el área de *Data Science* y junto a técnicas de *Machine Learning*, desarrollar un software que prepare y procese los datos de operatividad y producción en un corto período de tiempo. Luego, usando técnicas de visualización, proveer una manera más sencilla de interpretar y entender los resultados obtenidos y poder hacer recomendaciones al respecto.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

El Marco teórico del Proyecto orienta el estudio en todos sus aspectos, según Balestrini (2006)

“Dentro del Marco teórico se muestran las bases de las diversas teorías y conceptos, así como informaciones difusas o sistematizadas cuyo propósito es dar al estudio un sistema coordinado y coherente de conceptos y proposiciones que permitan integrar al problema a un ámbito donde este cobre sentido”. (p.41).

2.1. Antecedentes

Así mismo Ramírez J. (2023), realizó una investigación titulada “**Diseño de un plan de mantenimiento para la máquina j21-j22 del área de vulcanizado en la empresa ALICE NEUMÁTICOS C.A.**”, para optar por el título de ingeniería industrial en la Universidad José Antonio Páez, Carabobo. El objetivo general de la investigación fue proponer un diseño de un plan de mantenimiento para la máquina J21-J22 del área de vulcanizado en la Empresa Alice Neumáticos C.A. investigación está enmarcado en la Línea de Investigación Ciencias Cognitivas y Aplicadas, es un proyecto factible y una propuesta de mejora continua sobre el registro de medición del consumo de aceite de los tanques de mezclador tipo banbury. Aporta información relevante sobre los sistemas de lubricación de las máquinas industriales, la prevención y el control de fugas de aceites y la manera correcta de tratar estos percances en las instalaciones de las empresas, así como la correcta disposición de los desechos que se deriven

Además, Mago B. y Meza G. (2022), realizaron una investigación titulada “**Plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para la empresa de mantenimiento de bombas centrífugas SERMI BOMBAS 5, C.A.**”, para optar por el título de ingeniería industrial en la Universidad José Antonio Páez, Carabobo. El objetivo general de la investigación fue proponer un plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad para la empresa de mantenimiento de bombas centrífugas SERMI BOMBAS 5, C.A. La investigación está enmarcada en la línea de investigación Ciencias Cognitivas, es un proyecto factible, por cuanto a través del desarrollo se proponen alternativas o propuestas en torno al diseño e implementación de sistema en mantenimiento centrado en confiabilidad en la empresa de mantenimiento de bombas centrífugas. Constituye un aporte por la aplicación del diagrama causa-efecto para la detección de las principales fallas que afectaban el funcionamiento de las bombas.

Con respecto a Morales M. y Zamora M. (2021) realizaron una investigación titulada “**Análisis de Sentimientos y Minería de Opinión sobre Publicaciones en Medios Sociales por venezolanos respecto al Tema de Migración**” optando por el título de ingeniero en

informática en la Universidad Carlos Andrés Bello, Caracas. Tuvo como objetivo general realizar un análisis de sentimientos y minería de opinión sobre publicaciones en medios sociales por venezolanos en el año 2021 respecto al tema de migración. Como solución a la problemática. El problema se abordó por la metodología CRISP-DM que incluye incluye las etapas de: Comprensión del negocio, Comprensión de los datos, Preparación de los datos, Modelado, Evaluación y Despliegue de Resultados. Destaca de esta investigación la implementación de los diferentes modelos predictivos para la construcción de los modelos de clasificación, utilizando los datos de entrenamiento y los algoritmos de clasificación seleccionados.

Luego Mijares A. y Sánchez J. (2020) realizaron una investigación titulada “**Desarrollo de una herramienta de análisis de datos de producción y operatividad de un grupo de pozos, usando métodos de *data science* y *machine learning***” para optar por el título ingeniería de petróleo en la Universidad Central de Venezuela, Caracas. Como objetivo general tuvo desarrollar una herramienta de optimización de análisis de datos de producción y operación de un grupo de pozos usando *Data Science* y *Machine Learning*. Se implementó la metodología CRISP-DM (*Cross-Industry Standard Process for Data Mining* o Proceso Estándar Para la Extracción de Datos en Todos los Sectores), que consta de 6 etapas: comprensión del negocio, comprensión y preparación de los datos, modelado, evaluación y, por último, el despliegue. El aporte de esta investigación fue el diseño de distintos algoritmos, con la finalidad de unificar bases de datos, mejorar la calidad de los datos y generar modelos a través de técnicas de *Machine Learning* para la predicción de producción y el análisis del comportamiento de bombas de cavidades progresivas.

Para terminar Manfrè M. (2019), realizó una investigación titulada “**Creación de un modelo de aprendizaje automático para un Mantenimiento Predictivo de un motor equipado con un eje giratorio**”. Presentado para optar el título de Maestría en Ingeniería Electrónica en el Politécnico de Torino, Italia. El objeto de estudio estuvo enfocado en reducir los costos relacionados con el mantenimiento de la máquina y aumentar el tiempo dedicado a la producción. La metodología que se usó en esta investigación fue un sistema CBM (Mantenimiento Basado en la Condición) se basa en el enfoque sencillo que ayuda a supervisar de forma proactiva el estado de un activo crítico y a informar la toma de decisiones en relación con su rendimiento. Ya que cada una de las clases reportadas se compone a su vez de diferentes modelos específicos. Se diferencian entre sí por características como el costo de la aplicación, la complejidad, la generalización, la precisión esperada y el tipo de información que necesitan para funcionar. Aporta cierta utilidad las ilustraciones comparativas de los modelos al brindar

una visión completa de los caminos que han seguido las investigaciones para resolver problemas de diagnóstico y pronóstico.

2.2. Teorías centrales de la investigación

Teoría de análisis de datos

El análisis de datos es un campo multidisciplinario que se ocupa de la extracción de información útil de los datos. Esta información puede ser utilizada para tomar decisiones, resolver problemas o simplemente comprender mejor el mundo que nos rodea. Se basa en una amplia gama de disciplinas, incluyendo las matemáticas, la estadística, la informática, la inteligencia artificial y la ingeniería. Los científicos de datos utilizan estas disciplinas para desarrollar métodos y algoritmos que permiten extraer información útil del dato.

Esta teoría se basa en el monitoreo de parámetros específicos que varían, para evaluar su estado actual y tomar decisiones en función de esos datos junto con el apoyo de métodos computarizados, el matemático Wilder J. (1961), predijo el efecto de la computación en el análisis definiéndolo como:

"Los procedimientos para analizar datos son técnicas para interpretar los resultados de dichos procedimientos, formas de planear la recolección de datos para hacer el análisis más fácil, más preciso o más exacto, y toda la maquinaria y los resultados de las estadísticas que se aplican al análisis"

Teoría del mantenimiento basado en la condición

El Mantenimiento Basado en Condición según García S. (2018), "es una estrategia de mantenimiento que basa sus resultados, es decir, disponibilidad, fiabilidad, coste de mantenimiento, vida útil de la instalación, seguridad y bajo impacto ambiental, en el diagnóstico previo de los equipos." Consiste en el seguimiento en tiempo real de las variables que emite una máquina durante el funcionamiento, que nos indique cuál es su estado de condición, se trata de monitorizar en todo momento las constantes vitales de equipo. La monitorización de la condición, es una estrategia de mantenimiento enfocada en la prevención de fallos, para evitar la inoperatividad de las máquinas y las prácticas de mantenimiento innecesarias. Las variables a seguir pueden ser cualquiera que nos aporte alguna información sobre el estado del equipo, como, por ejemplo: Vibración, ruidos, contaminación, voltaje, corriente, presión, temperatura, caudal, consumo, potencia, etc.

2.3. Bases Teóricas

2.3.1. Mantenimiento

“El mantenimiento se define como la combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión, durante el ciclo de vida de una entidad, destinadas a mantenerla o restaurarla a un estado en el que pueda realizar la función requerida” (UNE, 2018, p. 2).

El concepto y proceso de mantenimiento ha experimentado una fuerte evolución a lo largo de los años, pasando de simples tareas técnicas realizadas individualmente cuando las máquinas o instrumentos presentaban fallos en un sistema complejo fuertemente integrado con otros procesos productivos y con un importante papel estratégico.

F. Guedea justifica que:

Los costos de mantenimiento pueden representar actualmente desde el 15% hasta el 40% de los costos totales de producción. Esto, por lo tanto, empuja fuertemente a las empresas a desarrollar estrategias especiales para la gestión del mantenimiento, encaminadas a alcanzar el objetivo ideal de cero paradas, es decir, conseguir mantener las líneas de producción siempre activas, sin tener que detenerlas para reparar las averías (2018 p. 1–8).

Entre las actividades más importantes que permiten avanzar en esta dirección se encuentran el análisis sistemático de fallas y sus causas, una cuidadosa gestión y planificación del almacén para la disponibilidad inmediata de repuestos, el uso de sistema computarizado de gestión de mantenimiento para apoyar el flujo de trabajo de mantenimiento.

Mantenimiento Correctivo

“El mantenimiento correctivo se realiza después de la detección de una falla” (UNE, 2018, p.2), es decir, se realiza una intervención sólo cuando ocurre una falla en la máquina. Por este motivo también se define como mantenimiento reactivo.

Es la estrategia más sencilla de utilizar y la que menores costes implica implementar, ya que no existen gastos relacionados con repuestos excepto cuando es estrictamente necesario. Sin embargo, los costes antes mencionados son los relacionados con el tiempo de inactividad de las máquinas, que a menudo son inevitables cuando se produce una avería. Por lo tanto, esto provoca una parada de la producción y una caída general de la eficiencia. Además, se añade la imposibilidad de programar intervenciones, ya que un mal funcionamiento puede producirse en cualquier momento de la actividad. Finalmente, el enfoque correctivo requiere que todos los repuestos de los componentes principales, o al menos aquellos críticos para la producción, estén siempre disponibles en el inventario.

Mantenimiento Preventivo

“Incluye todas aquellas actividades de mantenimiento realizadas, ya sea a intervalos predeterminados o según criterios, diseñadas para reducir la probabilidad de falla o degradación de la entidad” (UNE, 2018, p.2).

Este enfoque está impulsado por el importante ahorro de dinero que permite una intervención planificada, en comparación con el caso reactivo. “El análisis de los costos de mantenimiento informa que el costo es aproximadamente 1/3 de la intervención correctiva” (R. K. Mobley, 2002).

Por tanto, las inspecciones y sustituciones se realizan en función de criterios temporales, con el objetivo de intervenir antes de que se produzca el mal funcionamiento. Los intervalos de tiempo se deducen de datos históricos, identificando la duración media de la vida útil de todos los componentes sometidos a degradación. Sin embargo, el mantenimiento preventivo también está sujeto a cuestiones críticas, ya que la vida media de los componentes es un indicador puramente estadístico y no ofrece garantía alguna. De hecho, son posibles escenarios en los que los componentes se reemplazan en buenas condiciones y aún funcionando, lo que provoca un desperdicio de recursos, y casos en los que se produce un mantenimiento correctivo porque los componentes fallan mucho antes de su duración esperada.

Mantenimiento Predictivo

“El mantenimiento predictivo es una especialización adicional del mantenimiento basado en la condición, se lleva a cabo tras la identificación y medición de uno o más parámetros y la extrapolación según los modelos apropiados del tiempo restante antes de la falla” (UNE, 2018, p.2). Según este enfoque, los datos relacionados con el funcionamiento y las condiciones de los distintos componentes se registran y guardan en un historial, por lo que pueden utilizarse para construir una tendencia del comportamiento general. La información así obtenida se utiliza para predecir la evolución del nivel de degradación de un componente y por tanto planificar una actividad de mantenimiento relacionada.

La principal ventaja respecto al mantenimiento basado en condición radica precisamente en el análisis de la tendencia y la construcción de un modelo de evolución del estado basado en la experiencia adquirida en análisis anteriores, que permite estimar la vida útil residual del componente después de detectando una desviación del funcionamiento normal cuando aún se encuentra en su primera fase (ver figura 3).

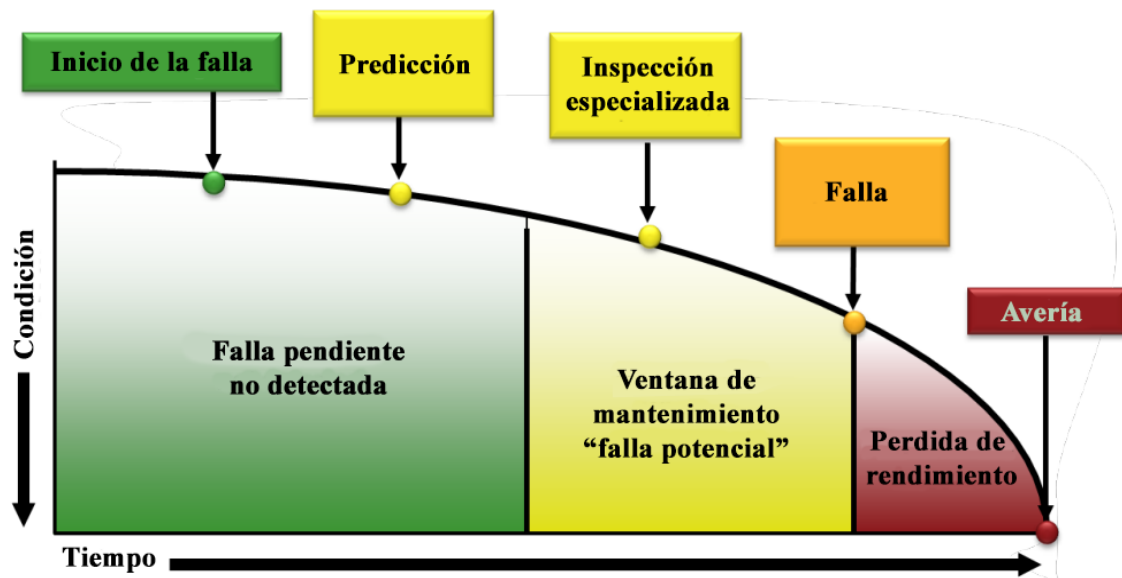


Figura 3. Esquema temporal predictivo

Fuente: Hernández D. (2024)

Un sistema predictivo eficaz permite mejorar y optimizar considerablemente la disponibilidad de la maquinaria y el tiempo empleado en producción, reduciendo el número de intervenciones de mantenimiento y su coste. También tiene efectos positivos sobre la calidad del producto.

2.3.2. Aprendizaje automático

Según Ng Andrew (2018) el aprendizaje automático se define como "la ciencia de hacer que las computadoras aprendan sin ser explícitamente programadas". También conocido por su término en inglés *Machine learning* es una sub-rama de la inteligencia artificial que busca desarrollar un software capaz de reconocer patrones dentro de un conjunto de datos, para posteriormente construir un modelo matemático basado en datos de muestra, conocidos como "datos de entrenamiento", para hacer predicciones o decisiones, en el cuadro 1 se muestra la comparación de estos.

Los enfoques de aprendizaje automático se dividen en:

- **Aprendizaje Supervisado:** En el aprendizaje supervisado, el sistema se proporciona con un conjunto de datos etiquetados. Los datos etiquetados son datos que tienen una etiqueta que indica el resultado deseado. El sistema utiliza estos datos para aprender una función que puede predecir la etiqueta correcta para nuevos datos.
- **Aprendizaje no Supervisado:** En el aprendizaje no supervisado, el sistema no se proporciona con datos etiquetados. El sistema debe aprender por sí mismo las relaciones entre los datos.
- **Aprendizaje reforzado:** En el aprendizaje reforzado, el sistema aprende a tomar decisiones en un entorno en el que las acciones tienen consecuencias. El sistema recibe recompensas por tomar las decisiones correctas y penalizaciones por tomar las decisiones incorrectas.

El siguiente cuadro compara los tres tipos de aprendizaje automático:

Cuadro 1. Comparación de los tres tipos de aprendizaje automático

Tipo	Datos	Problema a resolver
Supervisado	Etiquetados	Clasificación, regresión
No supervisado	No etiquetados	Agrupamiento, reducción de dimensionalidad
Reforzado	No etiquetados	Toma de decisiones en entornos complejos

Fuente: Hernández D. (2024)

2.3.3. Algoritmos de clasificación

Los algoritmos de clasificación Lantz B. (2013) los define como “técnicas en el campo de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático que se utilizan para asignar categorías o etiquetas a objetos o datos en función de ciertas características o atributos”. Estos algoritmos son ampliamente utilizados en la categorización de datos en clases predefinidas o etiquetas, lo que permite automatizar la toma de decisiones basada en patrones y características observadas en los datos.

Arboles de decisión

Como se puede intuir por el nombre, los estudiantes de árboles de decisión construyen un modelo en forma de estructura de árbol. El modelo en sí comprende una serie de decisiones lógicas, similares a un diagrama de flujo, con nodos de decisión que indican la decisión que se debe tomar sobre un atributo. Estos se dividen en ramas que indican las opciones de decisión. El árbol termina en nodos hoja (también conocidos como nodos terminales) que denotan el resultado de seguir una combinación de decisiones. Los datos que se van a clasificar comienzan en el nodo raíz, donde pasan a través de las diversas decisiones en el árbol de acuerdo con los valores de sus características. La ruta que toman los datos canaliza cada registro hacia un nodo hoja, que le asigna una clase prevista.

Los árboles de decisión son quizás la técnica de aprendizaje automático más utilizada y se puede aplicar para modelar casi cualquier tipo de datos, a menudo con un rendimiento incomparable. A pesar de su amplia aplicabilidad, vale la pena señalar algunos escenarios en los que los árboles pueden no ser la opción ideal. Uno de esos casos podría ser una tarea en la que los datos tengan una gran cantidad de características nominales con muchos niveles o si los datos tengan una gran cantidad de características numéricas. Estos casos pueden dar lugar a un gran número de decisiones y a un excesivo árbol complejo.

Los árboles de decisión se construyen utilizando una heurística llamada partición recursiva. Este enfoque se conoce generalmente como divide y conquistarás porque utiliza los

valores de las características para dividir los datos en subconjuntos cada vez más pequeños de clases similares.

Comenzando en el nodo raíz, que representa todo el conjunto de datos, el algoritmo elige una característica que sea la más predictiva de la clase objetivo. Luego, los ejemplos se dividen en grupos de valores distintos de esta característica; esta decisión forma el primer conjunto de ramas de árboles. El algoritmo continúa dividiendo y conquistando los nodos, eligiendo la mejor característica candidata cada vez hasta que se alcanza un criterio de parada.

Esto podría ocurrir en un nodo si:

- Todos (o casi todos) los ejemplos en el nodo tienen la misma clase
- No quedan características restantes para distinguir entre ejemplos.
- El árbol ha crecido hasta un límite de tamaño predefinido.

Son uno de los algoritmos de *machine learning* más populares. Es un método analítico, que, a través de una representación esquemática, define las alternativas disponibles para la toma de decisiones. Lantz B. (2013) describe los árboles de decisión como “un modelo en forma de estructura de árbol. El modelo en sí comprende una serie de decisiones lógicas, similares a un diagrama de flujo, con nodos de decisión que indican la decisión que se debe tomar sobre un atributo.” (p. 120). Este algoritmo de *machine learning* permite medir las predicciones logradas y valorarlas con los resultados obtenidos. Al final se realiza una comparación y se obtiene el árbol óptimo utilizando funciones predefinidas y la ganancia de información. A través de estas funciones, el algoritmo divide la información en nodos para obtener el primer nodo raíz y desde éste empieza a descomponer hasta obtener un estudio profundo de los datos de entrada.

K-nearest neighbors

El algoritmo *k-nearest neighbors* (KNN) es considerado una metodología simple de *machine learning* supervisado que puede ser usado para solucionar problemas tanto de regresión como de clasificar o calcular un parámetro de acuerdo con la distancia existente entre este parámetro y los datos del entrenamiento. Este algoritmo permite reconocer patrones de forma rápida y detectar anomalías. De acuerdo con varios autores como Ligdi Gonzales (2017), este método es considerado un algoritmo no paramétrico basado en instancias, lo que significa que, el algoritmo no hace suposiciones explícitas sobre un dato, en lugar de esto, el algoritmo opta por memorizar las instancias de formación y usa estas como la base de su “conocimiento” para la fase de predicción. Este tipo de predicción solo se aplica cuando el usuario lo solicita para una etiqueta o parámetro de entrada específico.

El algoritmo KNN comienza con un conjunto de datos de entrenamiento compuesto por ejemplos que se clasifican en varias categorías, etiquetadas por una variable nominal. Donde tenemos un conjunto de datos de prueba que contiene ejemplos sin etiquetar que, de otro modo, tienen las mismas características que los datos de entrenamiento. Para cada registro en el conjunto de datos de prueba, KNN identifica k registros en los datos de entrenamiento que son los "más cercanos" en similitud, donde k es un número entero especificado de antemano. A la instancia de prueba sin etiquetar se le asigna la clase de la mayoría de los k vecinos más cercanos.

La distancia euclidiana se especifica mediante la siguiente fórmula, donde p y q son los ejemplos a comparar, cada uno con n características. El término p_1 se refiere al valor de la primera característica del ejemplo p , mientras que q_1 se refiere al valor de la primera característica del ejemplo q :

$$dist(p, q) = \sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + \dots + (p_n - q_n)^2}$$

Redes neuronales

Debido a que las RNA fueron diseñadas intencionalmente como modelos conceptuales de la actividad del cerebro humano, es útil comprender primero cómo funcionan las neuronas biológicas. Como se ilustra (ver figura 4), las dendritas de la célula reciben las señales entrantes mediante un proceso bioquímico que permite ponderar el impulso según su importancia o frecuencia relativa. A medida que el cuerpo celular comienza a acumular las señales entrantes, se alcanza un umbral en el que la célula se activa y la señal de salida se transmite a través de un proceso electroquímico por el axón. En las terminales del axón, la señal eléctrica se procesa nuevamente como una señal química que se transmite a las neuronas vecinas a través de una pequeña brecha conocida como sinapsis.

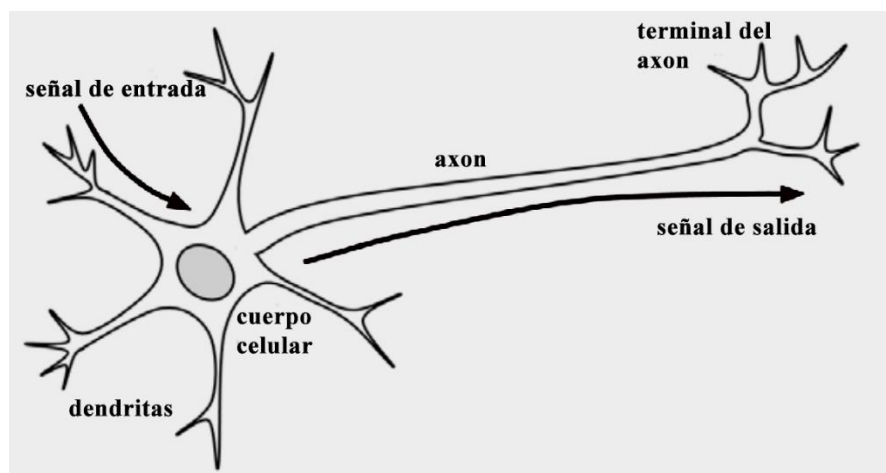


Figura 4. Neurona biológica
Fuente: Hernández D. (2024)

Las redes neuronales son un tipo de modelo de aprendizaje automático que está inspirado en el cerebro humano. Están formadas por una serie de neuronas artificiales que están conectadas entre sí. “Cada nodo o neurona, recibe datos como entrada, estos valores son procesados y producen una salida, que luego se convierten en la entrada de las siguientes neuronas interconectadas” (García O., 2020). Las salidas de las neuronas se combinan para producir una salida final.

El modelo de una única neurona artificial puede entenderse en términos muy similares al modelo biológico. un diagrama de red (ver figura 5) dirigida define una relación entre las señales de entrada recibidas por las dendritas (variables x) y la señal de salida (variable y).

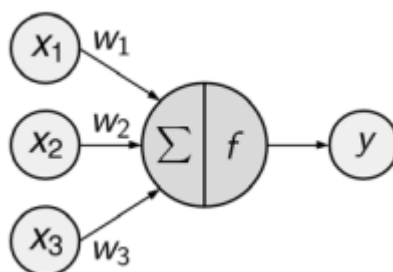


Figura 5. Red neuronal artificial

Fuente: Hernández D. (2024)

Al igual que con la neurona biológica, la señal de cada dendrita se pondera (valores w) según su importancia. Las señales de entrada son sumadas por el cuerpo celular y la señal se transmite de acuerdo con una función de activación denotada por f .

Una neurona artificial típica con n dendritas de entrada se puede representar mediante la siguiente fórmula. Los pesos w permiten que cada una de las n entradas, (x), contribuya en mayor o menor medida a la suma de las señales de entrada. El total neto es utilizado por la función de activación $f(x)$, y la señal resultante, $y(x)$, es el axón de salida.

$$y(x) = f\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i\right)$$

Las redes neuronales utilizan neuronas definidas de esta manera como bloques de construcción para construir modelos complejos de datos. Aunque existen numerosas variantes de redes neuronales, cada una se puede definir en términos de las siguientes características:

- Función de activación

Es el mecanismo por el cual la neurona artificial procesa información y la pasa por la red. Así como la neurona artificial se modela según la versión biológica, también la función de activación se modela según el diseño de la naturaleza.

En el caso biológico, la función de activación podría imaginarse como un proceso que implica sumar la señal de entrada total y determinar si alcanza el umbral de activación. Si es así, la neurona transmite la señal; de lo contrario, no hace nada. En términos de ANN, esto se conoce como función de activación de umbral, ya que da como resultado una señal de salida solo una vez que se ha alcanzado un umbral de entrada específico.

La función de activación sigmoidea (ver figura 6), donde e es la base de los logaritmos naturales (aproximadamente 2,72). Aunque comparte un paso similar a una forma de “S” con la función de activación de umbral, la señal de salida ya no es binaria; los valores de salida pueden estar en cualquier rango de 0 a 1. Además, el sigmoide es diferenciable, lo que significa que es posible calcular la derivada en todo el rango de entradas. Como aprenderá más adelante, esta característica es crucial para crear algoritmos de optimización de RNA eficientes.

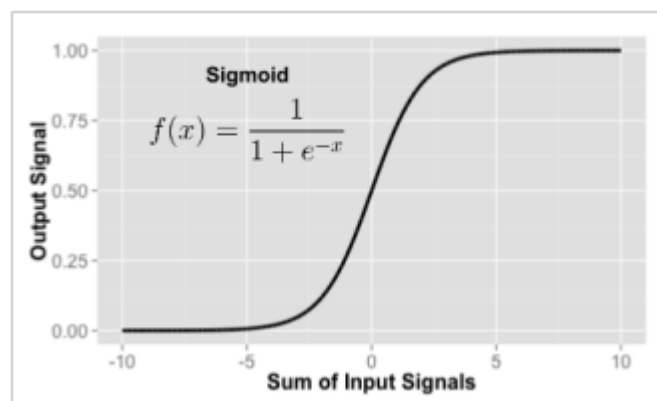


Figura 6. curva sigmoidea

Fuente: Hernández D. (2024)

- Topología (o arquitectura) de red
La capacidad de una red neuronal para aprender tiene sus raíces en su topología, o los patrones y estructuras de las neuronas interconectadas. Aunque existen innumerables formas de arquitectura de red, se pueden diferenciar por tres características clave:
 - Número de capas
Para definir la topología, necesitamos una terminología que distinga las neuronas artificiales según su posición en la red. Un conjunto de neuronas llamados nodos de entrada reciben señales sin procesar directamente de los datos de entrada. Cada nodo de entrada es responsable de procesar una única característica en el conjunto de datos; El valor de la característica será transformado por la función de activación del nodo. Las señales resultantes de los nodos de entrada son recibidas

por el nodo de salida, que utiliza su propia función de activación para generar una predicción final (denominada aquí como p).

Los nodos de entrada y salida están organizados en grupos conocidos como capas. Debido a que los nodos de entrada procesan los datos entrantes exactamente como los reciben, la red tiene solo un conjunto de pesos de conexión (etiquetados aquí como w_1 , w_2 y w_3). Por lo tanto, se denomina red de una sola capa. Las redes de una sola capa se pueden utilizar para la clasificación de patrones básicos, particularmente para patrones que son linealmente separables, pero se requieren redes más sofisticadas para la mayoría de las tareas de aprendizaje.

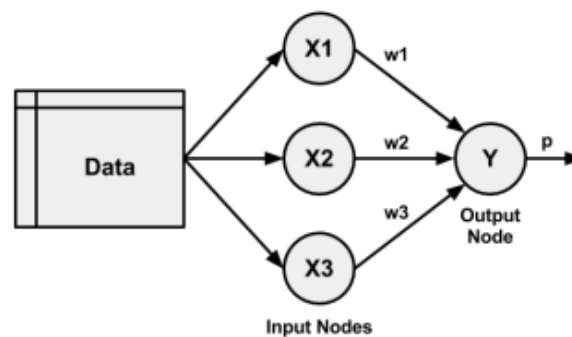


Figura 7. Topología básica de red neuronal

Fuente: Hernández D. (2024)

- Número de nodos

En general, topologías de red más complejas con un mayor número de conexiones de red permiten el aprendizaje de problemas más complejos. Una mayor cantidad de neuronas dará como resultado un modelo que refleja más fielmente los datos de entrenamiento, pero esto corre el riesgo de sobreajustarse; puede generalizarse mal a datos futuros. Las redes neuronales grandes también pueden ser computacionalmente costosas y lentas de entrenar.

Una práctica recomendada es utilizar la menor cantidad de nodos que resulten en un rendimiento adecuado en un conjunto de datos de validación. En la mayoría de los casos, incluso con sólo una pequeña cantidad de nodos ocultos (a menudo tan solo un puñado), la red neuronal puede ofrecer una enorme capacidad de aprendizaje.

- Si la información en la red puede viajar hacia atrás

Quizás hayas notado que en los ejemplos anteriores se usaron puntas de flecha para indicar señales que viajaban en una sola dirección. Las redes en las que la señal de entrada se alimenta continuamente en una dirección de conexión a conexión hasta llegar a la capa de salida se denominan redes *feedforward*.

A pesar de la restricción del flujo de información, las redes *feedforward* ofrecen una sorprendente flexibilidad. Por ejemplo, se puede variar el número de niveles y nodos en cada nivel, se pueden modelar múltiples resultados simultáneamente o se pueden aplicar múltiples capas ocultas (una práctica que a veces se denomina aprendizaje profundo).

Por el contrario, una red recurrente (o red de retroalimentación) permite que las señales viajen en ambas direcciones mediante bucles. Esta propiedad, que refleja más fielmente el funcionamiento de una red neuronal biológica, permite aprender patrones extremadamente complejos. La adición de una memoria a corto plazo (ver figura 8) aumenta enormemente el poder de las redes recurrentes. En particular, esto incluye la capacidad de comprender secuencias de eventos durante un período de tiempo. Esto podría usarse para la predicción del mercado de valores, la comprensión del habla o el pronóstico del tiempo. Una red recurrente simple se representa como se muestra:

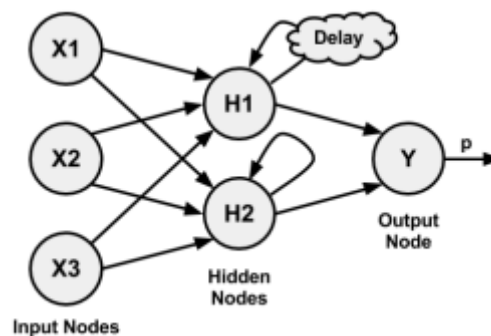


Figura 8. Retroalimentación de una red neuronal

Fuente: Hernández D. (2024)

Las redes neuronales se pueden utilizar para una amplia gama de tareas siendo capaces de adecuarse en ambientes complejos, incluyendo la clasificación, la regresión y la detección de anomalías. Son especialmente adecuadas para tareas que son difíciles de modelar con métodos tradicionales.

2.4. Bases Legales

Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999)

La República Bolivariana de Venezuela cuenta con un documento legal vigente como lo es la Constitución, que busca establecer un orden y una organización para la sociedad venezolana. La misma se encuentra formada por artículos y a su vez ordenados en títulos y capítulos. Con relación los temas de los derechos ambientales e Higiene y Seguridad en el trabajo la Constitución establece lo siguiente:

Artículo 87: Toda persona tiene derecho al trabajo y el deber trabajar. El Estado garantizará la adopción de las medidas necesarias a los fines de que toda persona pueda obtener una ocupación productiva, que le proporcione una existencia digna y decorosa y le garantice el pleno ejercicio de este derecho. Es fin del Estado fomentar el empleo. La ley adoptará medidas tendentes a garantizar el ejercicio de los derechos laborales de los trabajadores y trabajadoras no dependientes. La libertad de trabajo no será sometida a otras restricciones que la ley establezca. Todo patrono o patrona garantizará a sus trabajadores y trabajadoras condiciones de seguridad, higiene y ambiente de trabajo adecuados. El Estado adoptará medidas y creará instituciones que permitan el control y promoción de estas condiciones.

Todo patrono o patrona garantizará a sus trabajadores o trabajadoras condiciones de seguridad, higiene y ambiente de trabajo adecuados. El Estado adoptará medidas y creará instituciones que permitan el control y la promoción de estas condiciones.

Artículo 127: Es una obligación fundamental del Estado, con la activa participación de la sociedad, garantizar que la población se desenvuelva en un ambiente libre de contaminación, en donde el aire, el agua, los suelos, las costas, el clima, la capa de ozono, las especies vivas, sean especialmente protegidos, de conformidad con la ley.

Artículo 128: El Estado desarrollará una política de ordenación del territorio atendiendo a las realidades ecológicas, geográficas, poblacionales, sociales, culturales, económicas, políticas, de acuerdo con las premisas del desarrollo sustentable, que incluya la información, consulta y participación ciudadana. Una ley orgánica desarrollará los principios y criterios para este ordenamiento.

Artículo 129: Todas las actividades susceptibles de generar daños al ambiente o ecosistemas deben estar acompañadas de estudios de impacto ambiental y sociocultural.

Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo (LOPCYMAT)

Del Reglamento parcial de la LOPCYMAT es importante mencionar los siguientes artículos:

Artículo 63: El proyecto, construcción, funcionamiento, mantenimiento y reparación de los medios, procedimientos y puestos de trabajo, debe ser concebido, diseñado y ejecutado con estricta sujeción a las normas y criterios técnicos y científicos universalmente aceptados en materia de condición, higiene, ergonomía y seguridad en el trabajo, a los fines de eliminar, o controlar al máximo técnicamente posible, las condiciones peligrosas de trabajo.

Ley de Residuos y Desechos Tóxicos (GACETA OFICIAL de la República Bolivariana de Venezuela N. °. 38.068 Extraordinario del 18/11/2004).

Artículo 1. La presente Ley tiene por objeto el establecimiento y aplicación de un régimen jurídico a la producción y gestión responsable de los residuos y desechos sólidos, cuyo contenido normativo y utilidad práctica deberá generar la reducción de los desperdicios al mínimo, y evitará situaciones de riesgo para la condición humana y calidad ambiental.

Ley Sobre Sustancias, Materiales Y Desechos Peligrosos (GACETA OFICIAL de la República Bolivariana de Venezuela N.º 5.554 Extraordinario del 31/05/2001)

Artículo 1. Esta Ley tiene por objeto regular la generación, uso, recolección, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de las sustancias, materiales y desechos peligrosos, así como cualquier otra operación que los involucre con el fin de proteger la condición y el ambiente.

Normas de Buenas Practicas de Fabricación, Almacenamiento Y Transporte de Alimentos Para Consumo Humano (GACETA OFICIAL de la República Bolivariana de Venezuela N°. 35.081 Extraordinario del 07/11/1996)

Artículo 23. El manejo de residuos líquidos dentro del establecimiento debe realizarse de manera eficaz para impedir la contaminación del alimento o de las superficies de potencial contacto con éste.

Artículo 24. Los residuos sólidos deben ser removidos frecuentemente de las áreas de producción y disponerse de manera que se elimine la generación de malos olores, el refugio y alimento de plagas y otros animales, y que no contribuyan al deterioro ambiental en cualquier otra forma.

Artículo 25. El establecimiento debe disponer de recipientes, áreas, e instalaciones apropiadas para la recolección y almacenamiento de los residuos sólidos, conforme a lo estipulado en las normas sanitarias vigentes. Cuando se generen residuos orgánicos putrescibles se debe disponer de locales refrigerados para su manejo previo a la disposición final.

Artículo 30. Los equipos y utensilios del establecimiento de alimentos se deben seleccionar de acuerdo al tipo de producto a elaborar, al proceso tecnológico y a la máxima capacidad de producción prevista. Los mismos deben estar diseñados, contruidos, instalados y mantenidos de manera que se evite la contaminación del alimento, faciliten la limpieza y desinfección y desempeñen adecuadamente el uso previsto.

Artículo 40. Todas las personas que realizan actividades de manipulación de alimentos deben tener formación en materia de educación sanitaria, especialmente en cuanto a prácticas higiénicas y de higiene individual. Así mismo, deben estar capacitados para llevar a cabo las tareas que se le asignen y aplicar principios sobre prácticas correctas de fabricación de alimentos.

Artículo 47. Todas las materias primas y demás insumos de la producción, así como las actividades de fabricación, envasado y almacenamiento de alimentos deben cumplir los requisitos 14 que se prescriben en esta sección a fin de prevenir, eliminar o reducir a niveles aceptables los riesgos para la inocuidad y salubridad.

2.5. Definición de Términos

Avería: Daño o deterioro que afecta a un aparato, máquina o vehículo, lo que hace que deje de funcionar correctamente.

Falla: Interrupción o interrupción del funcionamiento normal de un sistema o equipo.

Falla potencial: Condición física identificable que indica una falla funcional es inminente. Es decir, es un estado de un sistema o componente que, si no se corrige, podría provocar una falla funcional.

Modelo: Un modelo es una representación simplificada de un objeto, sistema, proceso o idea. Se utiliza para comprender cómo funciona algo, hacer predicciones o tomar decisiones.

Parada: Cese temporal del funcionamiento de un sistema o equipo.

Patrones: Conjunto de elementos que se repiten de manera regular o cíclica.

Software: Conjunto de instrucciones y datos que permiten que un ordenador funcione.

Vida útil: Período de tiempo durante el cual un sistema o equipo puede funcionar correctamente.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

La presente investigación está regida bajo un enfoque cuantitativo, dado que Palella y Martins (2012) indican que el paradigma cuantitativo “se caracteriza por privilegiar el dato como esencia sustancial de su argumentación. El dato es la expresión concreta que simboliza una realidad. Esta afirmación se sustenta en el principio de lo que no se puede medir no es digno de credibilidad” (p. 40). Por ende, a través del uso de datos se establecen estándares que permiten analizarlos y medirlos para así alcanzar un grado de confiabilidad que fundamente su interpretación de la realidad.

3.1. Tipo de Investigación

De acuerdo a la naturaleza y características del problema objeto de estudio, esta investigación se enmarcará dentro de la investigación aplicada o proyecto factible, por cuanto a través del desarrollo se propondrán alternativas o propuestas en torno al diseño e implementación de sistema en mantenimiento basado en la condición de la máquina Braskop 5003/1. Balestrini (2012), define el proyecto factible como “una proposición sustentada en un modelo operativo factible, orientada a resolver un problema planteado o a satisfacer necesidades en una institución o campo de interés nacional”.

Según el manual de la UPEL (2003) el proyecto factible “Consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos.”

3.2. Diseño de la Investigación

El diseño de investigación es de campo documental, de la cual expresa Alvarado (2015) que: “Consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde se desarrollan los acontecimientos, sin introducir control alguno de las variables. Estudia los fenómenos sociales en su ambiente natural” (p. 82). El investigador obtiene los datos directamente de la realidad, esto le permite cerciorarse de las verdaderas condiciones en que se han conseguido los mismos.

3.3. Nivel de la Investigación

En cuanto al nivel del estudio, el mismo es descriptivo, en relación al cual Hernández, Fernández y Baptista (2000) manifiestan que: “Buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis” (p. 60). En este tipo de estudio, se toma en cuenta una serie de rasgos y se miden independientemente, lo cual lleva a describir lo que se investiga.

El proyecto se considera descriptivo por cuanto se señalarán las características del funcionamiento de la máquina llenadora, tomando en cuenta las variables del proceso para elaborar un proyecto factible que permitirá predecir y controlar una situación irregular existente.

3.4. Población y Muestra

Población

La población Es el conjunto de personas u objetos de los que se desea conocer algo en una investigación. "El universo o población puede estar constituido por personas, animales, registros médicos, los nacimientos, las muestras de laboratorio, los accidentes viales entre otros". (Pineda B.,1994, p. 108). Esta población se determina luego de tener claridad a quienes sería correcto generalizar los resultados del estudio, y se puede llegar a las conclusiones pertinentes y adecuadas al problema. Para efectos de la presente investigación, la misma está conformada por la empresa Multi Alimentos Cojedes C.A.

Muestra

La evaluación de poblaciones enteras suele ser una tarea ardua y, en muchas ocasiones, prácticamente imposible debido a diversos factores, como la extensión geográfica, la dispersión de los individuos o la falta de recursos para llevar a cabo un estudio exhaustivo. Ante esta dificultad, los investigadores recurren a la técnica de muestreo, que consiste en seleccionar una muestra representativa de la población en estudio para obtener conclusiones válidas y generalizables.

El muestreo es un proceso fundamental en la investigación científica, ya que permite extrapolar los resultados obtenidos de una muestra a toda la población de interés. Alvarado (2015) define la muestra como "la escogencia de una parte representativa de una población". Es decir, la muestra debe ser un grupo de individuos que refleje fielmente las características y la diversidad presentes en la población total" (p. 90). La selección de la muestra es un paso crucial en el diseño de investigación. Para que los resultados sean válidos, la muestra debe ser representativa, es decir, debe reflejar adecuadamente la diversidad de la población en términos de características relevantes para el estudio. Esto implica que todos los subgrupos de interés estén representados en la muestra en proporciones similares a las de la población total.

En el caso específico mencionado por Alvarado (2015), la muestra estuvo conformada por el área de envasado y sus respectivos encargados. Esta elección puede deberse a que el área de envasado donde la calidad y seguridad del producto final dependen en gran medida del proceso de envasado. Los encargados de esta área son responsables directos de supervisar y garantizar que el proceso se lleve a cabo de manera eficiente y conforme a los estándares

establecidos. Al centrarse en esta área específica y en los individuos responsables de ella, se puede obtener información detallada y relevante sobre aspectos específicos de la operación de envasado que pueden no ser evidentes al evaluar la población en su conjunto

3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Técnicas

Como parte de las estrategias metodológicas, es necesario definir el método de recolección de los datos y el tipo de instrumentos que se utilizarán. Al respecto Curcio (2014) manifiesta que “La investigación no tiene significado sin las técnicas de recolección de datos” (p. 95), La elección de las técnicas a utilizar depende, en primera instancia, del problema a investigar y n segundo lugar, a las condiciones del contexto en el cual se buscarán los datos.

En referencia a las técnicas de recolección de datos Arias (2012) señala que “Son las distintas formas de obtener información” (p. 53). Estas técnicas se aplican con la intención de obtener datos necesarios para el estudio del problema planteado. Para la presente investigación, el investigador considera pertinente aplicar las siguientes técnicas: observación directa, entrevista estructurada, investigación documental e investigación bibliográfica.

Observación directa

Una entrevista, según Palella y Martins (2012), es un diálogo donde una persona, generalmente un periodista, formula una serie de preguntas a otra persona, el entrevistado, con el propósito de comprender sus ideas, sentimientos y acciones (p. 98). Durante esta interacción, uno asume el rol de entrevistador y otro u otros el papel de entrevistados. El diálogo se desarrolla siguiendo pautas preestablecidas, centrado en un problema o cuestión específica. Este proceso permite profundizar en el conocimiento del entrevistado y proporciona una plataforma para la discusión y el intercambio de ideas. La entrevista es una herramienta fundamental en el periodismo y en diversas disciplinas para obtener información, opiniones y análisis sobre temas relevantes.

Revisión documental

En relación a la investigación documental, Alvarado O. (2015) señala que: “Es aquella etapa de la investigación científica donde se explora qué se ha escrito en la comunidad científica sobre un determinado tema o problema” (p. 25). Se entiende que, en esta fase, el investigador debe tener claro, qué hay que consultar, cómo y dónde hacerlo, concretamente, para los efectos del presente estudio, se indagaron diversos aspectos teóricos tales como, proceso de productivo, insumos, materia prima, mantenimiento y entre otros.

Revisión Bibliográfica

Para Medina (2012). "El análisis documental es la operación que consiste en seleccionar las ideas informativamente relevantes de un documento a fin de expresar su contenido sin ambigüedades para recuperar la información en él contenida". Para el análisis documental, se investigó y analizó información obtenida a través fichas, e información previa en computadoras y unidades de almacenaje del departamento de mantenimiento. Por otra parte, el análisis de contenidos fue realizado a través de documentación y estudios previos del área donde se desarrolló la investigación.

Instrumentos

En cuanto a el instrumento de recolección de datos, Curcio (2014), indica que son: "Aquellos medios impresos, dispositivos, herramientas o aparatos, que se registran para realizar las observaciones, donde se recopilan los resultados de la aplicación de algunas las técnicas" (p. 39). Es decir, es un dispositivo que se utiliza para obtener, o almacenar información en correspondencia con la técnica empleada. De acuerdo con lo expuesto, el instrumento utilizado en el desarrollo del estudio presente fue un guion de entrevista que contiene un guion de preguntas (ver apéndice A).

Registro fotográfico

Para Alvarado (2015). "El registro fotográfico se presenta como una fuente de datos tomado como un auxiliar en la investigación que permite expandir y comprimir el tiempo realizando visibles pautas para captar detalles de otro modo" (p.40). Concretamente es una técnica de gran utilidad para la recolección de información durante el trabajo de campo, como su nombre lo dice, hace uso de la fotografía, dicha fotografía aísla un punto preciso de espacio y tiempo, exaltando la realidad capaz de ser observada.

3.6. Técnicas de Análisis de Resultados

Con respecto al análisis de datos, es de gran importancia para la Interpretación de la información, entendimiento del problema de estudio y la sustentación de la propuesta. En este caso Tamayo y Tamayo (2012), la definen como: "todos los datos que tienen su significado únicamente en función de la interpretación que les da el investigador" (p. 181). En esta investigación se utilizará el análisis cuantitativo en base a los datos obtenidos mediante los instrumentos de recolección de datos y herramientas como lo son el diagrama causa-efecto que ayuda a la objetividad, aunque no es un método cuantitativo, es aplicable a muchas y diversas áreas, se puede emplear tanto para la búsqueda de una causa como de una solución junto con añadiendo se utilizara la matriz de confusión para evaluar la precisión, exactitud y sensibilidad en cuanto a los resultados obtenidos de los modelos predictores diseñados.

3.7. Validez de los instrumentos

La validez del instrumento, de acuerdo a Palella, S. y Martins, F. (2012) se define como “La ausencia de sesgos. Representa la relación entre lo que se mide y aquello que realmente se quiere medir”. (p. 172). Esta valoración se determina mediante la técnica del juicio de experto, se requirió la aprobación de un profesional experto en el desarrollo de proyectos de investigación, donde se evaluó la validez de las preguntas a realizar (ver apéndice B), en función de la claridad, objetividad y cumplimiento del objetivo de la misma, logrando así proporcionar un enfoque mucho más realista al proceso.

3.8. Fases Metodológicas

Fase I Diagnóstico del proceso de mantenimiento actual

En esta fase se procedió a realizar una investigación exhaustiva del plan de mantenimiento actual en Multi Alimentos Cojedes C.A. específicamente en el área de envasado mediante observación directa, técnica que da facilidad para obtener un conocimiento detallado de los procesos operativos estándar del área y bajo que escena se desarrollan las actividades pertinentes, recopilar la mayor información posible sobre la situación junto con una entrevista estructurada dirigida al personal de mayor conocimiento en el área para así dar a comprender puntos clave los cuales van a ser de ayuda para comprender los medios necesarios para poder sustentar una base de conocimiento acerca del estado actual y su influencia en la problemática.

Fase II Análisis de la causa raíz de las debilidades encontradas en el diagnóstico

Esta fase consiste en analizar las causas raíces de las debilidades encontradas en el diagnóstico realizado en la fase anterior. El objetivo es identificar los factores que afectan en el desempeño del plan de mantenimiento en cuanto a sus defectos y carencias para así proponer mejoras y métodos que puedan complementar o reemplazar los métodos actuales. Para ello se utilizarán diversas herramientas y técnicas de análisis como lo es el diagrama causa-efecto obteniendo así un grupo de defectos para después clasificarlos con un diagrama de Pareto haciendo ver cuáles serán los problemas defectos más importantes a tratar.

Fase III Diseño del plan de mantenimiento predictivo en el área de envasado

En esta fase se debe documentar todos los procedimientos realizados durante el diseño del plan de mantenimiento predictivo, con el objetivo de evidenciar y mantener un control sobre las instrucciones que se deben seguir. Entre los procesos a evidenciar estarán: a) recolección de datos, b) exploración y preparación de datos, c) Entrenamiento del modelo, d) Evaluación del rendimiento del modelo, e) Mejoras de rendimiento del modelo. Una vez completados estos procesos, si el modelo parece funcionar satisfactoriamente, se puede proponer para la tarea prevista.

Fase IV Evaluación de la viabilidad operativa, económica, técnica, ambiental y social en el diseño elaborado

Esta fase determina si el plan de mantenimiento es viable y sostenible desde los puntos de vista operativo, técnico, ambiental y social. Para ello se utilizarán diferentes métodos y criterios de evaluación a función de medidas con los que se pueda apreciar cuáles serán los beneficios obtenidos al aplicar el plan de mantenimiento propuesto comparado a la situación actual.

3.9. Cuadro de Operacionalización de Variables

Una vez identificadas las variables cada una debe ser definida operacionalmente, lo cual implica el desglosamiento de la misma en aspectos cada vez más sencillos. Es necesario un esquema de variables que permita desarrollar mejor el marco teórico. Con respecto a la operacionalización, Alvarado (2015) manifiesta que “este proceso asigna significado a una variable, describiéndola en términos comprobables para poder identificarla” (p. 67).

Cuadro 2. Operacionalización de variables

Objetivo específico	Variable	Dimensión	Indicador	Ítems básicos	Fuente de información
Diagnosticar el proceso de mantenimiento del área de envasado	Proceso	Maquina	Condición actual	1	Guion de entrevista
			Fallas	2 y 3	
			Variables	4 y 5	
	Mantenimiento	Mantenimiento correctivo	Diseño	6	
		Mantenimiento preventivo	Documental	7 y 8	
		Mantenimiento predictivo	Elementos externos	9	

Fuente: Hernández D. (2024)

Es decir, es el procedimiento mediante el cual las variables se describen a través de indicadores, con el fin de hacerlas medibles con cierta precisión y confiabilidad. A continuación, se presenta en el Cuadro 2, la operacionalización de variables correspondientes a esta investigación, en el cual se establecen la definición, dimensiones y los indicadores, el instrumento y técnica de recolección de datos y las fuentes así esto consiste en describir las variables mediante ítems para hacerlas medibles con precisión. En el Cuadro 2 se detalla la definición, dimensiones, indicadores, instrumento y técnica de recolección de datos, así como

las fuentes. Esta información será dirigida a la población del estudio para obtener una muestra representativa.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

En este capítulo se desarrollaron las cuatro fases, desde el diagnóstico de la situación actual, los procesos llevados a cabo, el desarrollo de la propuesta y por último el estudio de la factibilidad. Este capítulo busca dar solución a la problemática planteada, debido a que se trata de una propuesta, la implementación de la misma queda a elección de la empresa, más sin embargo debe estudiarse la posibilidad de poder desarrollar el mismo.

4.1. Diagnosticar del plan de mantenimiento actual del área de envasado

Empezando por conocer la empresa Multi Alimentos Cojedes C.A. para conocer proceso productivo desde su entrada hasta su salida en el área de envasado, los programas que maneja y las condiciones propias en las cual está sometida la llenadora bajo su reparación, tiempos asociados y más puntos de interés que ayudan a la identificación de mejoras aplicables al proceso de mantenimiento actual.

Proceso

4.1.1. Descripción de los procesos de la máquina Braskop 5003/1

Se encuentra como una máquina vertical automática para dosificar y envasar líquidos de diferentes viscosidades en embalajes termo-sellables que se puede segmentar en los siguientes procesos ejecutados sincronizadamente:

- Colocación del embalaje

La alimentación de los embalajes es hecha por medio de unos portavasos verticales donde los vasos quedan almacenados. Un mecanismo prendedor de vasos con la ayuda de una ventosa a vacío, hace la colocación de los mismos en la mesa. El circuito de vacío, obtenido a partir de una válvula de vacío, tipo venturi BH, alimenta la ventosa con la finalidad de mantener el embalaje fijo, hasta el momento en que es depositado en la mesa con el corte del vacío.

Caso de falla en la colocación del embalaje, existe un sensor óptico haciendo constantemente la lectura de la existencia o no de la falla. Después que el embalaje es leído por el sensor, una señal eléctrica es enviado para la placa de memoria secuencial. Esa placa mandará una señal para cada estigio de la máquina que irá comandar los demás conjuntos.

La extracción del embalaje, después de un ciclo completo, se hace a través de un conjunto de mecanismo que elevan y expulsan el embalaje para la mesa receptora. Los movimientos de colocación, extracción y transferencia del embalaje son

sincronizados. Si por cualquier motivo no hubiera la sincronización en la transferencia de la mesa con la colocación del embalaje.

- Dosaje

La unidad dosificadora/envasadora está constituida por un tanque de recepción, cilindro dosificador (rosca sin-fin para productos viscosos), válvula dosificadora y prolongamiento, internamente construidos en acero inoxidable, lo que garantiza las perfectas condiciones de higiene que la operación exige. El tanque de recepción que puede ser alimentado directamente por gravedad o por intermedio de una bomba (presión máxima de 2,5 Kgf/cm²) y es de fácil remoción lo que permite su lavado fuera de la máquina.

La regulación de la dosaje se efectúa a través de un tornillo de regulación micrométrica que hace variar el curso del émbolo dosificador. Para los productos más viscosos la alimentación del tanque de recepción se hace a través de cintas transportadoras, por rosca sin-fin, etc., dependiendo de la posibilidad del cliente. La regulación del dosador, en éste caso, se hace a través del contador digital situado en el panel de comando que determinará la cantidad de producto que será dosificado.

Las operaciones de dosaje y envase no se realizan si no existir, en los portavaso de la mesa, el vaso para recibir el producto, lo que es fundamental en un equipo de este tipo. La existencia o no del vaso es comprobado por un sensor óptico situado bajo la mesa poco antes del dosador o a través del vacío del vaso, mencionados anteriormente.

- Sellado de tapa

Su función es promover el termo-sellado de la tapa en el embalaje. Para ello posee una placa calentada por resistencia eléctrica y cuya temperatura es controlada por un pirómetro existente en el panel de comando. El soldador también es accionado por la memoria, entretanto, con opción para trabajar directo. En producción normal, la llave debe quedar en la posición "Encendido". Las posiciones "Prueba" y "Apagado" son las otras opciones existentes en la llave del soldador. La posición "Prueba" se usa para regulación del sellador (paralelismo y centralización de la placa con el vaso y a la temperatura adecuada para el sellado). El operador coloca manualmente el vaso en la mesa y ejecuta las pruebas.

- Colocación de sobretapa

Tal como la unidad alimentadora de tapa, ésta también tiene la función agarrar la sobretapa del retenedor de sobretapas, y depositarla sobre el embalaje. En caso de falla, el procedimiento también es idéntico a la unidad alimentadora de tapas.

- Extracción del embalaje

La extracción del embalaje, después de un ciclo completo, se hace a través de un conjunto de mecanismo que elevan y expulsan el embalaje para la mesa receptora.

4.1.2. Descripción del procedimiento actual de mantenimiento en Braskop 5003/1

Para empezar con la investigación se conversó en primera instancia con el Jefe de mantenimiento con el objetivo conocer más sobre la máquina y las operaciones que la rodean, los detalles de la investigación se encuentran seguidamente (Ver cuadro 3):

Cuadro 3. Entrevista

Preguntas		Respuesta	Palabras claves
1	Por lo que usted ha observado, ¿Cómo describiría la condición actual de la máquina?	El modulo completo que incluye la máquina BRASKOP 5003/1 es de instalación reciente	La máquina ubicada en la curva de la bañera se encuentra en la etapa de fallo infantil
2	En su conocimiento operacional, ¿Qué tipo de fallas son las más comunes?	<ul style="list-style-type: none"> • Fallas en el arranque • Fallas asociadas con la indexación incorrecta de la mesa • Fallas de dosificación • Fallas de sellado • Fallas de colocación de vasos y tapas y sobre-tapas 	Cinco (05) tipos de fallas
3	Desde una perspectiva más amplia ¿Cómo afectan las fallas en el área de envasado a los procesos previos y posteriores ?	Previamente no genera retrasos ya que los tanques de materia prima cuentan con capacidad suficiente para almacenar y seguir produciendo. En cuanto los procesos posteriores se genera un retraso de producto en una la máquina armadora de caja que opera automáticamente.	retraso de producto en una la máquina armadora de caja

4	¿Cuáles son las variables de proceso que se monitorean en la máquina?	<p>Las variables que se monitorean en la máquina son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Temperatura del producto • Flujo másico de materia prima • Temperatura del conjunto sellador • Presión del sistema neumático • Presión de entrada • Corriente de alimentación • Voltaje de alimentación 	Siete (07) variables monitoreadas en la maquina
5	¿Cómo se utilizan las variables de proceso para ajustar los parámetros de operación?	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoreo Continuo: Las variables de proceso se monitorean continuamente durante la operación de la máquina utilizando sensores específicos y sistemas de medición adecuados. • Establecimiento de Objetivos: Se establecen objetivos o rangos de valores deseables para cada una de las variables de proceso. 	Monitoreo atreves de sensores y rangos de valores deseados
6	¿Cómo se utiliza la información de las reparaciones correctivas para mejorar el diseño y la operación de la máquina?	<p>Cuando una falla es detectada se analiza junto a la documentación del fabricante para profundizar en las causas raíces del fallo para aplicar las mejores prácticas el diseño ni las operaciones.</p>	Mejores prácticas en la documentación del fabricante
7	para garantizar que se realice de manera	<p>No existe documentación que apoye el mantenimiento más allá de los manuales pero si</p>	Documentación no estandarizada

	consistente y efectiva, ¿Cómo se documenta el mantenimiento preventivo en la máquina?	existe bitácoras profesionales hechas por el personal de mantenimiento	
8	¿Cuáles son los repuestos y suplementos necesarios para garantizar el buen funcionamiento de la máquina?	Los repuestos y suplementos están listados por el proveedor, así es como pueden garantizar su óptimo funcionamiento	repuestos y suplementos están listados por el proveedor
9	Con el fin de encontrar una relación ¿Qué elementos externos a la máquina pueden ser incluidos en su estudio?	Esta la entrada de materia prima a la máquina justo después de salir de los cristalizadores y texturizadores, pues estos deben entrar a la máquina BRASKOP dentro de unos parámetros establecidos. También existe otro factor que es el compresor el cual alimenta la presión neumática de la maquina	El producto entra después de salir de los texturizadores y la presión neumática se provee por un compresor

Fuente: Hernández D. (2024)

El procedimiento actual de mantenimiento del Braskop 5003/1 sigue principalmente las recomendaciones del proveedor de la máquina, que se encuentran detalladas en un formato de mantenimiento preventivo adjunto (ANEXO A). Este plan implica una serie de pasos y actividades diseñadas para garantizar el funcionamiento óptimo y la longevidad del equipo Braskop 5003/1. Incluye inspecciones regulares de los componentes clave, la lubricación de partes móviles, la limpieza de filtros y conductos, así como la calibración periódica de sistemas importantes. Además, se establecen intervalos específicos para cada tarea.

4.1.3. Características del proceso de mantenimiento

Orden de mantenimiento

Es un documento usado por otras áreas para notificar a la Gerencia de Mantenimiento la necesidad de una actividad (Ver APENDICE B).

- Fecha, hora y número de orden de mantenimiento

- Fecha de comienzo y culminación del trabajo
- Persona y supervisor del área que realiza la orden de mantenimiento
- Descripción y tipo de requerimiento
- Requisición de material
- Observaciones

Turnos de trabajo

Como se puede observar, en el área de mantenimiento se cuenta con un personal cuyas obligaciones están claramente definidas. Este personal de mantenimiento anteriormente mencionado está distribuido en los turnos de trabajo de la siguiente manera:

1. Primer Turno: (Producción Permanente). Horario: 6:00 am – 3:00 pm (con una hora para el almuerzo) de lunes a viernes 4 horas laborales el sábado. Personal: Supervisor Electricista, 2 mecánicos y 1 Electricista. 2.
2. Segundo Turno: (Producción Permanente). Horario: 3:00 pm – 11:00 am (con una hora de comida) de lunes a viernes. 4 ½ horas Laborales el Sábado. Personal: Coordinador de Mantenimiento, 2 Mecánicos y 1 Electricista 3.
3. Tercer Turno: (Producción Eventual). Horario: 11:00 pm – 6:00 am (con 30 minutos de comida) de lunes a viernes. Personal: Supervisor de mantenimiento, 4 Mecánicos, 1 Electricista, 2 lavadores

Estudio de los métodos de trabajo

Las actividades de mantenimiento pueden ser realizados tanto por mecánicos de la planta, como por empresas externas que realicen el trabajo con la calidad que se les exige. La decisión de realizar las actividades de mantenimiento por una empresa externa es la opción menos buscada para la planta, ya que representa una inversión agregada a los gastos de la planta.

El personal de la planta, está capacitado para resolver cualquier problema que presenten los equipos, aunque en ciertos casos existen problemas en los que se necesita, para obtener resultados satisfactorios, de una dedicación exclusiva, o una cantidad mayor de personas dedicadas al problema que el personal disponible en la planta. En estos casos se decide, por falta de disponibilidad de personal, conceder el trabajo a empresas externas.

Otro factor que influye en las labores de mantenimiento, es la disponibilidad de los materiales, equipos e instrumentos necesarios para la realizar dichas actividades. En su mayoría, los materiales necesarios para el mantenimiento de los equipos son solicitados al momento de detectar el problema (cuando se trata de reparación de fallas) lo que disminuye la productividad de la planta debido a que en algunos casos las fallas detectadas se desarrollan y sus consecuencias resultan perjudiciales para la producción antes de la llegada de los repuestos solicitados. Por otro lado, existe una gran cantidad de repuestos en la planta que permiten

atender algunas de las fallas manifestadas.

Existen también otros tipos de inconvenientes que afectan a la empresa como el tiempo de ocupación del personal en las labores de mantenimiento pendientes y la oportunidad de realizar dichas actividades dentro de los turnos de trabajos de la planta. El primer caso, se refiere a actividades cuya duración puede afectar las labores de producción, ya que pueden coincidir con otras labores de mantenimiento o incluir equipos críticos que impidan el normal desenvolvimiento del proceso o disminuyan la calidad del producto. Así mismo, existen actividades que no pueden llevarse a cabo durante los turnos de producción y deben ser pospuestos hasta encontrar una oportunidad dentro de la planificación de la producción para poder ser ejecutados.

4.1.4. Debilidades detectadas

Tras un minucioso análisis del proceso de envasado en la Multi Alimentos Cojedes C.A., se han detectado ciertas áreas que requieren mejoras. A continuación, se presenta un desglose de las debilidades observadas durante el proceso:

- Condiciones de arranque insatisfactorias.
- Frecuencia de fallas en el embalaje que aumentan paralelamente a la capacidad de producción de la máquina.
- Efectividad total de la máquina insuficiente.
- No existe una comunicación efectiva entre los diferentes departamentos involucrados en el mantenimiento.
- Tareas de mantenimiento pasan a través de la planificación como medidas correctivas.
- La máquina trabaja continuamente presentando síntomas que pueden ocasionar futuros daños en el equipo.
- Etapa de fallo infantil.

4.2. Analizar la causa raíz de las debilidades encontradas en el diagnóstico

En este apartado, se analizarán las causas fundamentales o raíces de las debilidades identificadas en el proceso de envasado en la empresa Multi Alimentos Cojedes C.A. El objetivo es entender por qué estas debilidades están ocurriendo, en lugar de simplemente abordar los síntomas superficiales. Se llevará a cabo un análisis exhaustivo para identificar las causas subyacentes de cada debilidad observada. Este análisis puede implicar la aplicación de diversas técnicas y herramientas, como el diagrama de Ishikawa (también conocido como diagrama de espina de pescado o diagrama de causa-efecto) para visualizar las posibles causas de un problema, así como cualquier otra metodología adecuada para el contexto específico de la empresa y las debilidades observadas. El objetivo es determinar las razones fundamentales

detrás de cada debilidad, lo que permitirá desarrollar soluciones efectivas y sostenibles para mejorar el proceso de envasado.

4.2.1. Estado actual de la máquina

La identificación de curva de la bañera para el estado actual de la máquina proporciona la tasa de fallo que ayuda en el control del mantenimiento, principalmente, en el control del estado de condición del equipo, tiempo de garantía y confiabilidad en escoger medidas necesarias para el aumento de la disponibilidad de los sistemas que están bajo la gestión. Por lo informado en la entrevista previa la máquina es de una instalación reciente después de estar 5 años sin uno por lo que marca claramente como la primera etapa de la curva de la bañera es decir la de fallo infantil (ver figura 9).

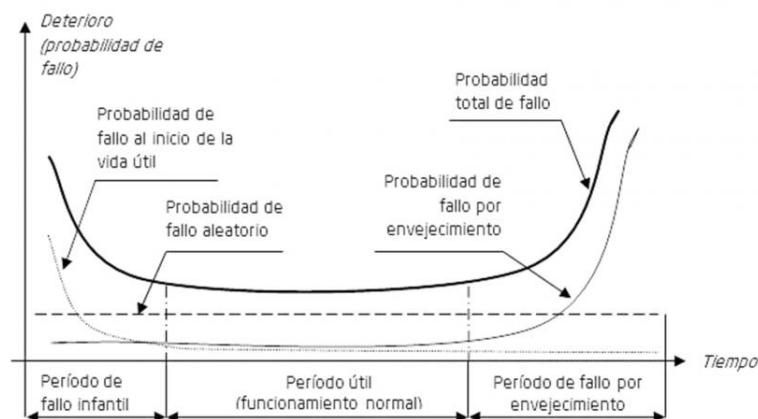


Figura 9. Curva de la bañera de mantenimiento

Fuente: Dounce Villanueva, E. (2014).

Depuración

Debido a la alta tasa de fallos en el período inicial, ensayos de depuración son ampliamente aceptados como una manera de detectar los fallos antes de que el equipo sea estudiado, hasta que el rendimiento alcance una tasa baja de fallos. Los ítems de repuestos defectuosos son descartados o mínimamente reparados si es posible. Es ideal para que el estudio sea de la máquina efectivo y conciso.

Un gran problema asociado con estos es decidir exactamente cuándo y en qué nivel de actuación deben ser probadas. Para eso existen tecnologías y sensores que recogen datos de los equipos en tiempo real, dándole a los equipos de mantenimiento una supervisión completa sobre la condición de la máquina. Los cuales se usará para hacer pruebas de aceptación que pueden ser periódicas de la confiabilidad del material de producción, especialmente cuando alguna pieza u otras características sufren alguna alteración o mudanza. Generalmente, aunque

existan riesgos engañosos de pruebas acelerados, los beneficios de esas pruebas pueden ser fundamentales.

4.2.2. Análisis causa-efecto de fallas

Para utilizar el análisis causa-efecto, primero se identificarán los defectos o problemas principales que se han observado en la máquina Braskop 5003/1 que son fallas relacionadas con el arranque, fallas asociadas con la indexación incorrecta de la mesa, fallas relacionadas con el dosador y fallas asociadas con la tapa. Se explorarán las características distintivas de cada tipo de falla, así como las posibles causas que las desencadenan. Una vez que se han identificado todas las posibles causas para cada defecto principal, se puede realizar un análisis más detallado para determinar qué causas son las más probables o relevantes en cada caso.

Fallas en el arranque

Las posibles causas de una máquina sin arranque pueden variar desde problemas relacionados con el suministro de aire y electricidad hasta fallos mecánicos en componentes específicos. Por un lado, la obstrucción en la entrada de aire, junto con problemas en la entrada de corriente eléctrica, como un cableado defectuoso o interrupciones en el suministro eléctrico, pueden impedir el arranque adecuado de la máquina.

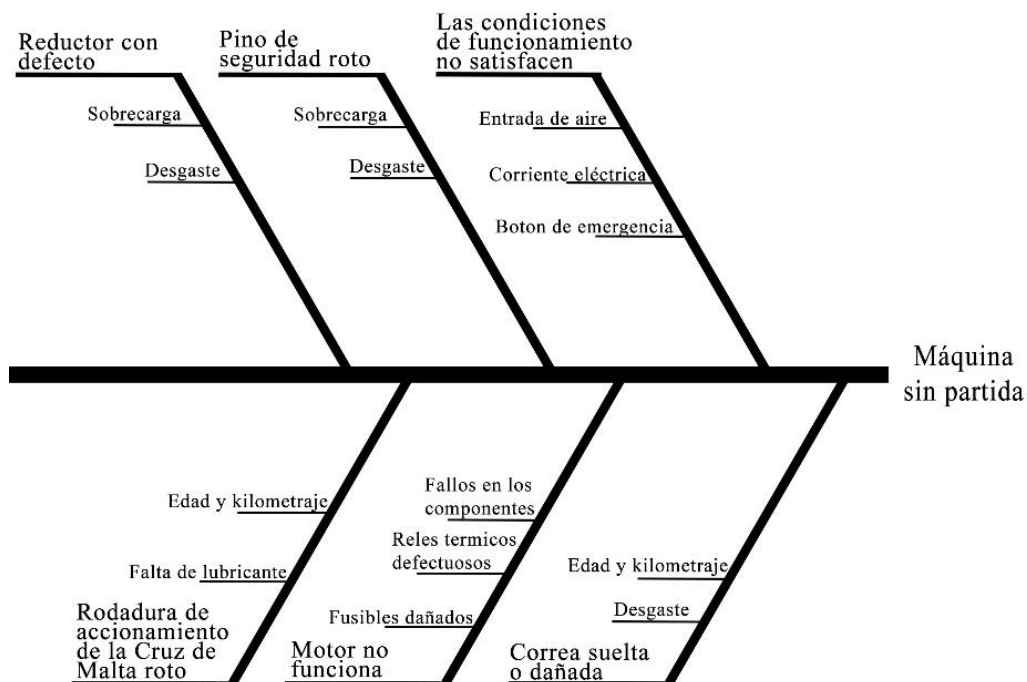


Figura 10. Diagrama causa-efecto de máquina sin partida

Fuente: Hernández D. (2024)

Además, un botón de emergencia activado también puede interrumpir el circuito eléctrico, evitando el arranque. Por otro lado, componentes mecánicos como un pino de seguridad roto, una correa suelta o dañada, o una rodadura de accionamiento de la Cruz de

Malta rota pueden afectar la transmisión de potencia necesaria desde el motor, lo que resulta en un fallo en el arranque. Además, problemas internos en el motor, como fusibles fundidos, relés térmicos defectuosos o fallos internos, también pueden ser causas potenciales de un arranque deficiente o nulo.

Para resolver un problema de arranque en una máquina, es crucial abordar cada causa potencial de manera efectiva. Esto implica desde asegurarse de que la entrada de aire esté despejada y que el suministro eléctrico sea adecuado hasta verificar componentes mecánicos como el pino de seguridad, la correa y la rodadura de accionamiento. Esto puede implicar acciones como verificar la entrada de aire y corriente eléctrica para eliminar obstrucciones o corregir problemas en el suministro eléctrico, reemplazar un pino de seguridad roto o ajustar una correa suelta. Además, puede ser necesario cambiar fusibles fundidos, relés térmicos defectuosos o piezas internas del motor para restaurar el funcionamiento adecuado del equipo. Una vez identificadas y abordadas todas las causas potenciales, la máquina debería ser capaz de arrancar y operar correctamente, asegurando así su funcionamiento óptimo y seguro.

Fallas asociadas con la indexación incorrecta de la mesa

Para abordar el problema de la mesa que no está indexando correctamente, es esencial identificar y resolver las posibles causas subyacentes. Si la mesa está desalineada, ajustar el buje de la Cruz de Malta puede ser necesario para corregir la holgura. Además, si la mesa se desplaza fuera de posición, varias acciones correctivas pueden ser necesarias.

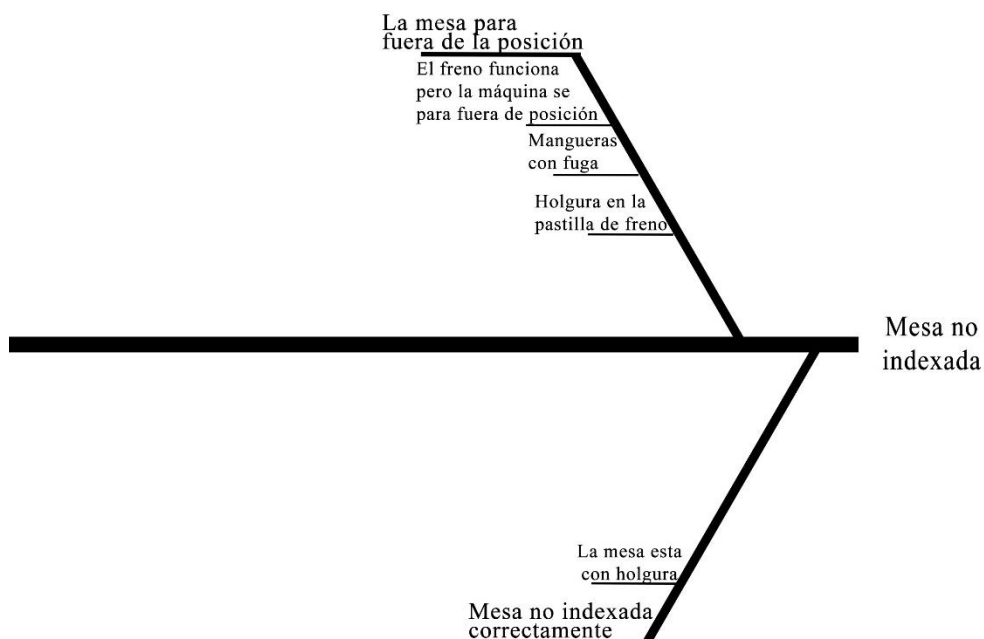


Figura 11. Diagrama causa-efecto de mesa no indexada

Fuente: Hernández D. (2024)

Primero, es importante verificar la holgura o distancia de la pastilla del freno y ajustarla según sea necesario. Esto implica comprobar la válvula neumática de comando del freno, la bobina solenoide y la llave fin de curso para garantizar su funcionamiento adecuado. En segundo lugar, si hay mangueras o conexiones que están vaciando, reapretarlas puede ayudar a evitar fugas y mantener la presión necesaria para el funcionamiento correcto de la mesa. Por último, si el freno funciona, pero la máquina se detiene fuera de posición, se debe ajustar la parada de la mesa y, en caso necesario, se debe solicitar información adicional para realizar ajustes precisos que aseguren el correcto posicionamiento de la mesa. Estas acciones combinadas ayudarán a resolver el problema y restaurar el funcionamiento adecuado de la mesa indexadora.

Fallas de dosificación

La situación en la que el dosador funciona sin vasos puede ser resultado de diversas causas que afectan tanto al sensor óptico como al mecanismo de dosificación. En primer lugar, los defectos en la lectura del sensor óptico pueden ser ocasionados por la presencia de suciedad o empañamiento en el sensor, una calibración incorrecta o una obstrucción en el haz de luz del sensor. Estos problemas impiden que el sensor detecte correctamente la presencia de vasos, lo que puede llevar a que el dosador funcione de manera inadecuada. Por otro lado, los fallos en la dosificación pueden ser el resultado de una holgura en el comando mecánico del pistón, desgaste del pistón del dosador o del anillo del dosador, lo que afecta la capacidad de la dosificación correctamente el producto.

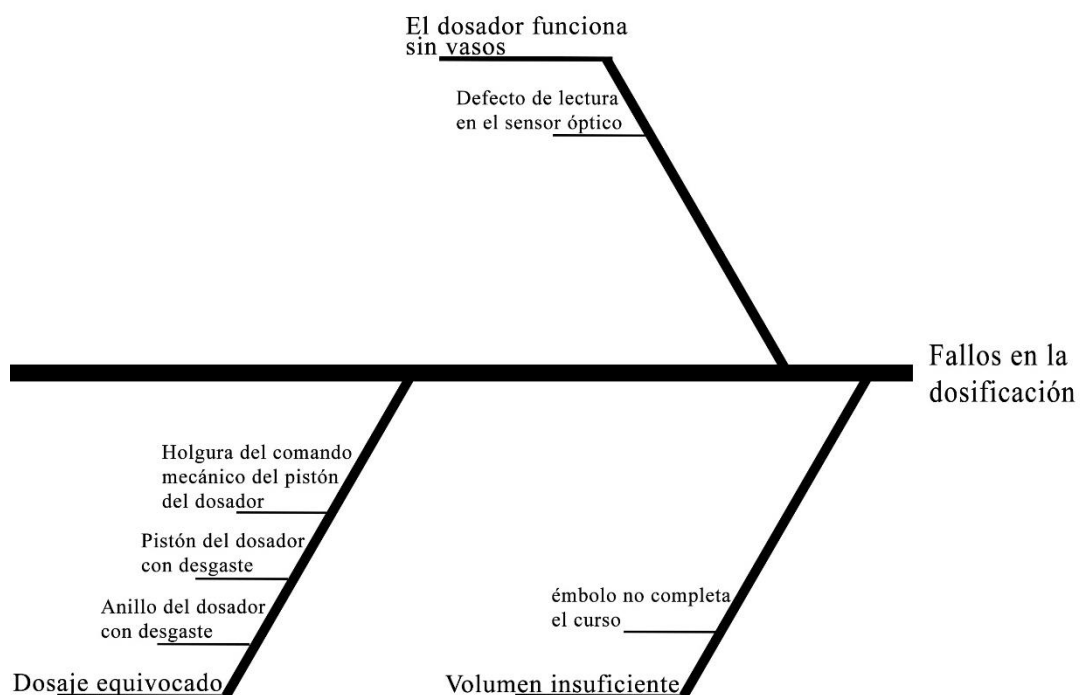


Figura 12. Diagrama causa-efecto fallos en la dosificación

Fuente: Hernández D. (2024)

Para abordar estas causas principales y secundarias, se requieren soluciones específicas que apunten a cada aspecto problemático del dosador. Por ejemplo, para corregir los problemas relacionados con el sensor óptico, es necesario realizar una limpieza y calibración adecuadas, así como verificar la posición y sincronización del sensor para garantizar su correcto funcionamiento. Asimismo, para resolver los fallos en la dosificación, es fundamental reemplazar los componentes desgastados, ajustar el volumen de dosificación y verificar y reemplazar cualquier reparo defectuoso que pueda estar afectando su funcionamiento. Además, es importante realizar un mantenimiento preventivo regular, que incluya limpiar y calibrar el sensor óptico, lubricar el comando mecánico del pistón y realizar inspecciones periódicas para identificar y reemplazar las piezas desgastadas. Por último, es esencial capacitar al personal en los procedimientos de calibración y operación, utilizar materiales de alta calidad y adecuados para la aplicación e implementar un sistema de control de calidad para detectar y corregir defectos de fabricación. Estas medidas correctivas contribuirán a mejorar el rendimiento y la fiabilidad del dosador, asegurando una dosificación precisa y eficiente en el proceso de producción.

Fallas de sellado

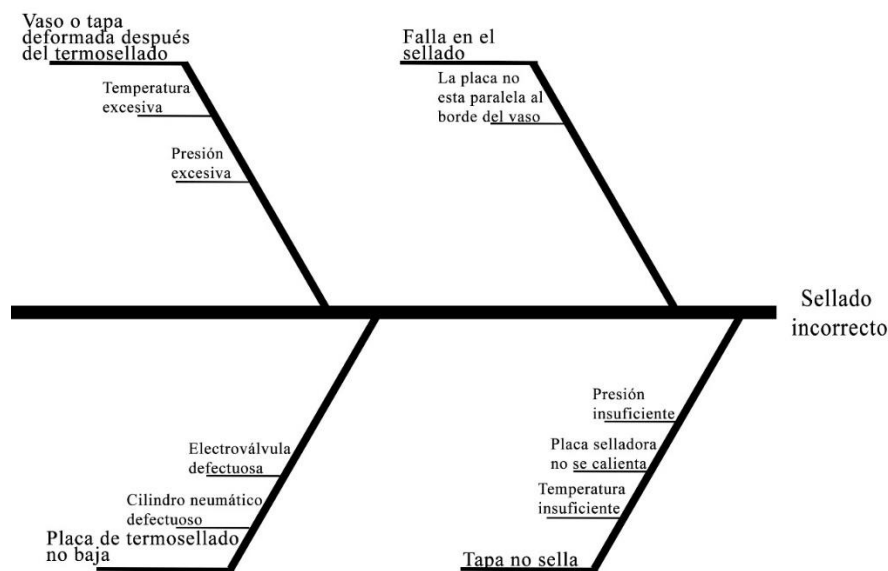


Figura 13. Diagrama causa-efecto de sellado incorrecto

Fuente: Hernández D. (2024)

Para abordar estos errores y garantizar un sellado efectivo y consistente, es crucial implementar soluciones específicas. Esto puede incluir ajustar correctamente los controles de temperatura y presión según las especificaciones del material de sellado y del proceso, realizar

el mantenimiento regular de los componentes mecánicos para garantizar su correcto funcionamiento, y reemplazar las piezas desgastadas o dañadas, como las tapas y las placas de termo-sellado. Además, es importante realizar ajustes de alineación y paralelismo en la placa selladora para asegurar un sellado uniforme y completo. Finalmente, la verificación y corrección de cualquier defecto en los componentes neumáticos, como el cilindro y la electroválvula, son fundamentales para garantizar una aplicación adecuada de presión durante el sellado.

Fallas de colocación de vasos y tapas y sobre-tapas

La deficiencia de vacío puede ocasionar problemas significativos en el proceso de sellado, los cuales pueden estar relacionados con diversos aspectos del sistema de sellado y envasado. Las causas de estos errores pueden variar desde problemas mecánicos hasta fallas en los componentes eléctricos, y abordar estas deficiencias de manera efectiva requiere identificar y solucionar cada problema específico.

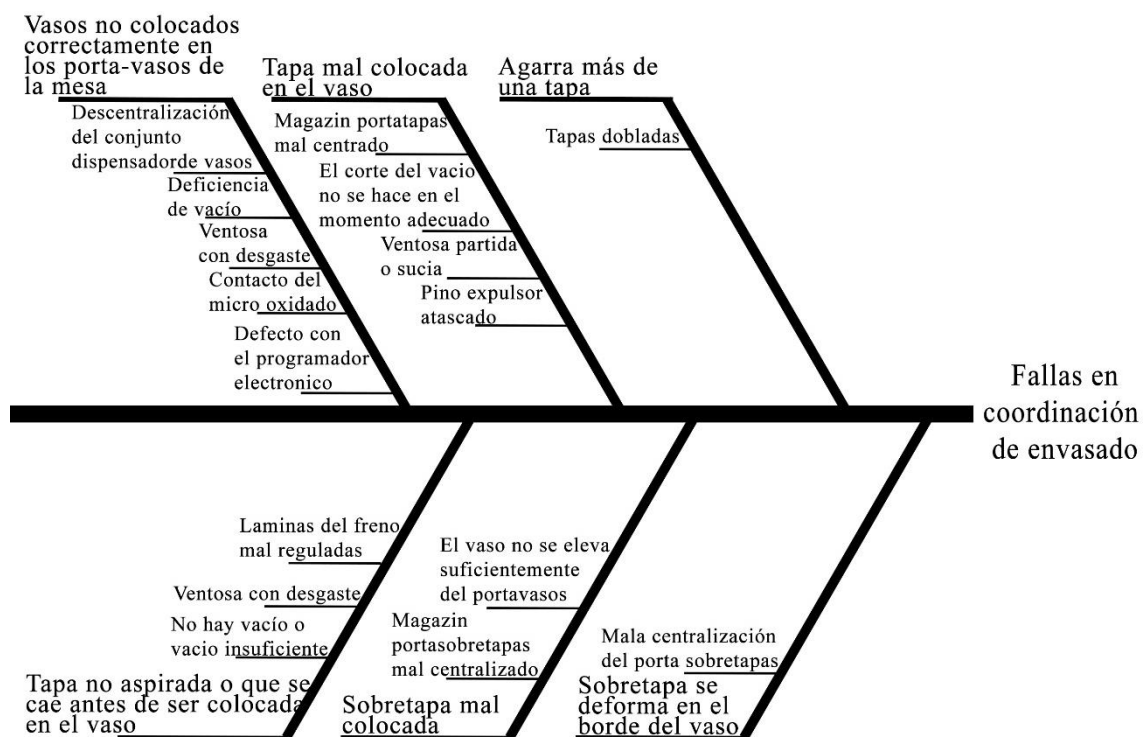


Figura 14. Diagrama causa-efecto de fallas en coordinación de envasado

Fuente: Hernández D. (2024)

Una de las causas comunes de la deficiencia de vacío es el desgaste de la ventosa, lo que puede provocar que no agarre correctamente el vaso. Esto puede ser consecuencia del uso continuo y el desgaste normal de las piezas, lo que puede comprometer la capacidad de crear un sellado hermético. Además, si la ventosa está partida o sucia, esto también puede interferir con la creación de un sellado adecuado, ya que la suciedad o los daños pueden afectar su

capacidad para sellar correctamente el vaso. Otro factor importante es el momento del corte del vacío, ya que si este no se realiza en el momento adecuado, se puede perder el vacío antes de sellar el vaso, lo que compromete la calidad del sellado. Para abordar estas deficiencias de vacío, es fundamental llevar a cabo una serie de soluciones específicas. Por ejemplo, para remediar el desgaste de la ventosa, se puede considerar reemplazarla por una nueva que esté en óptimas condiciones. Asimismo, es crucial mantener las ventosas limpias y libres de suciedad para garantizar un agarre adecuado. Además, ajustar el momento del corte del vacío para asegurar que se mantenga el vacío necesario hasta que se complete el sellado del vaso es fundamental para evitar la pérdida prematura del vacío. En cuanto a las válvulas de vacío defectuosas, se deben reparar o reemplazar para asegurar que se genere suficiente vacío para un sellado adecuado. Estas medidas correctivas ayudarán a garantizar un sellado eficaz y consistente en el proceso de envasado.

El desplazamiento del vaso durante el proceso de sellado puede ser causado por diversos factores, como el mal posicionamiento de los vasos en los porta-vasos de la mesa o una tapa mal colocada en el vaso. Estos problemas pueden resultar en un sellado desigual o incompleto, lo que afecta la calidad del producto envasado. Asimismo, si la ventosa agarra más de una tapa al mismo tiempo o si el conjunto de sellado se desplaza durante el proceso, esto puede provocar un mal sellado y comprometer la integridad del producto envasado.

Para resolver estos problemas de desplazamiento del vaso, es necesario abordar las causas subyacentes de manera específica. Por ejemplo, para corregir el mal posicionamiento de los vasos en los porta-vasos de la mesa, se deben realizar ajustes en el sistema de alimentación de vasos para garantizar que se coloquen correctamente. Del mismo modo, es crucial asegurar que las tapas se coloquen correctamente en los vasos antes del sellado, lo que puede lograrse mediante una revisión y ajuste del sistema de colocación de tapas. Además, es importante verificar y corregir cualquier problema relacionado con la ventosa, como agarre múltiple de tapas o desplazamiento del conjunto de sellado, para garantizar un sellado adecuado y consistente. Estas medidas correctivas contribuirán a mejorar la calidad del sellado y a garantizar la integridad del producto envasado durante el proceso de envasado.

4.2.3. Efectividad total de la máquina

El cálculo ETE (Eficiencia Total del Equipo) en la máquina Braskop 5003/1 se aplicará mediante un proceso sistemático que evalúa la eficiencia global de la máquina en términos de producción, tiempos de inactividad y otros factores relevantes. Para calcular ETE en Braskop 5003/1, primero se definirán los parámetros clave, como la producción esperada, los tiempos de funcionamiento óptimos y los tiempos de inactividad aceptables:

- Disponibilidad: Tiene en cuenta todos los eventos que detienen la producción planificada el tiempo suficiente como para que tenga sentido rastrear una razón para la parada. La disponibilidad se calcula con la siguiente relación:

$$disponibilidad = \frac{1 - \text{Tiempo indispuerto} + \text{Tiempo SMED}}{\text{Tiempo disponible}}$$

- Rendimiento: Tiene en cuenta cualquier cosa que haga que el proceso de fabricación funcione a una velocidad menor que la máxima posible cuando está en funcionamiento (incluyendo tanto corridas lentas como Pequeñas Paradas). El rendimiento es la relación entre el Tiempo de Funcionamiento Neto y el Tiempo de Funcionamiento. Se calcula como:

$$rendimiento = \frac{\text{Tiempo trabajando}}{\text{Tiempo disponible} - \text{Tiempo indispuerto} + \text{Tiempo SMED}}$$

- Calidad: Tiene en cuenta las partes fabricadas que no cumplen con los estándares de calidad, incluyendo las partes que necesitan retrabajo. La Calidad ETE mide el Rendimiento al Primer Paso, en el sentido de que define las Partes Buenas como las partes que pasan exitosamente a través del proceso de fabricación la primera vez sin necesidad de ningún retrabajo.

$$calidad = \frac{\text{Unidades defectuosas}}{\text{Unidades procesadas}}$$

Luego de que se recopilarán datos precisos sobre la producción real y los tiempos de inactividad observados. El producto de éstos tres factores es lo que constituye el ETE:

$$ETE = \text{ratio de disponibilidad} \times \text{ratio de rendimiento} \times \text{ratio de calidad}$$

El estudio del ETE se tomó como la muestra los registros de una semana de la máquina lo que equivale a los tres (03) turnos diarios de lunes a viernes y los dos (02) turnos de los sábados. Las muestras obtenidas se ven en la tabla a continuación:

Tabla 3. Horas laborables de la máquina

Descripción	Horas
Horas disponible	129.5
Tiempo trabajando	99
Tiempo indispuerto	14
Tiempo SMED	6
Unidades procesadas	128700
Unidades defectuosas	251

Fuente: Hernández D. (2024)

Luego se obtiene:

Tabla 4. Efectividad total de los equipos

Descripción	Porcentaje
-------------	------------

Ratio de disponibilidad	83.8%
Ratio de rendimiento	91.2%
Ratio de calidad	99.9%
Efectividad total del equipo	76.3%

Fuente: Hernández D. (2024)

Con el índice ETE se puede clasificar según el nivel de excelencia, siendo en términos generales:

- $0\% < ETE < 65\%$ = Inaceptable. Muy baja competitividad.
- $65\% < ETE < 75\%$ = Regular. Baja competitividad. Aceptable sólo si se está en proceso de mejora.
- $75\% < ETE < 85\%$ = Aceptable. Competitividad ligeramente baja.
- $85\% < ETE < 95\%$ = Buena competitividad.
- $95\% < ETE < 100\%$ = Excelente competitividad.

Con un valor ETE igual a 76.3% entra en la categoría de Aceptable sin embargo genera pérdidas económicas lo suficientemente relevantes donde se encuentra un 23.7% el cual se pierden horas-máquina.

4.3. Diseñar plan de mantenimiento predictivo en el área de envasado

El objetivo informa los trabajos relacionados, destacando los posibles enfoques, los problemas comunes y las soluciones propuestas de mantenimiento para crear sistemas de detección, clasificación y predicción de las fallas en la máquina y así a su vez tener como respuesta a estas predicciones un plan que complementen el plan de mantenimiento predictivo. En este apartado se explicarán los conceptos de análisis de datos y aprendizaje automático, con especial atención a las técnicas de clasificación existentes.

4.3.1. Recolección de datos

La recolección de datos es un proceso esencial en numerosas aplicaciones, desde la monitorización industrial hasta la investigación científica. En este contexto, un componente clave para la adquisición y procesamiento de datos es el Arduino, una plataforma de hardware de código abierto que ofrece flexibilidad y versatilidad para una amplia gama de proyectos. Utilizando un Arduino, se pueden recopilar datos en bruto de diversas fuentes, como sensores instalados en una máquina específica.

El proceso de recolección de datos comienza con la configuración del Arduino para adquirir información de los sensores. Estos sensores pueden ser tanto los incorporados en la máquina como aquellos añadidos como parte de una propuesta para mejorar el monitoreo. Por ejemplo, los sensores integrados pueden proporcionar datos sobre la temperatura, la presión o el flujo, mientras que los sensores adicionales pueden capturar variables específicas que no

están disponibles de manera predeterminada. Una vez que los datos son adquiridos por el Arduino, se procesan y formatean para su almacenamiento utilizando una estructura sugerida por los conjuntos de datos relevantes. Esta estructura puede incluir la creación de archivos CSV (*Comma Separated Values*) que contienen muestras de datos.

Cada archivo CSV generado por el Arduino representa un conjunto de datos que contiene valores de las diferentes variables monitoreadas de la máquina. Estos archivos son esenciales para construir una base de datos robusta que refleje tanto las variables reales proporcionadas por los sensores instalados en la máquina como las variables simuladas introducidas como parte de la propuesta de mejora del monitoreo. Esta diversidad de datos permite una comprensión más completa del funcionamiento de la máquina, ya que se pueden analizar tanto las condiciones reales como las situaciones simuladas para identificar patrones, tendencias o anomalías que puedan afectar su rendimiento o eficiencia.

4.3.2. Instrumentación

En el ámbito de la investigación y la creación de *datasets*, es fundamental contar con una variedad de sensores que puedan capturar datos relevantes y precisos para el estudio o proyecto en cuestión. Dependiendo de la aplicación, se pueden seleccionar sensores con diferentes rangos de y niveles de precisión para garantizar una recopilación de datos adecuada. Estos sensores son fundamentales en aplicaciones donde se requiere el control y la monitorización precisos del flujo de líquidos o gases, como en sistemas de ventilación, sistemas de riego o procesos industriales. En conclusión, la elección y utilización de diversos sensores según los requisitos específicos del estudio o proyecto permiten una recopilación de datos exhaustiva y precisa, sentando así las bases para una investigación sólida y la creación de *datasets* de alta calidad.

Transmisión de datos

Para la transmisión de datos se utiliza el protocolo MQTT la cual es un protocolo de conectividad de *machine-to-machine* (M2M) como así lo exige la industria 4.0 en su aplicación del IoT (*Internet of things*). El MQTT Fue diseñado como un transporte de mensajería de publicación/suscripción extremadamente liviana. Es útil para conexiones con ubicaciones remotas donde se requiere un código pequeño y/o el ancho de banda de la red es escaso. Por ejemplo, se ha utilizado en sensores que se comunican con un corredor a través de un enlace satelital, a través de conexiones telefónicas ocasionales con proveedores de atención médica y en una variedad de escenarios de automatización del hogar y dispositivos pequeños. También es ideal para aplicaciones móviles debido a su pequeño tamaño, bajo consumo de energía,

paquetes de datos minimizados y distribución eficiente de información a uno o varios receptores.



Figura 15 Diagrama transmisión de protocolo MQTT

Fuente: Hernández D. (2024)

En este escenario, después de un muestreo de vibración, un script que se ejecuta dentro del Raspberry Pi y registra el archivo CSV en una "suscripción" la cual se envía a un bróker MQTT que reenviará el mensaje a todos aquellos clientes suscritos al mismo tópico. En el cliente otro script en RStudio que se ejecuta en la computadora así mismo al estar inscrito en la "suscripción", recibirá todos los archivos producidos por la Raspberry Pi y los guardará en una carpeta específica que luego servirá para realizar los análisis necesarios mediante algoritmos de aprendizaje automático.

Manómetros

Se tiene un manómetro marca FESTO modelo MA-50-16-1/4 (356759) caracterizado por su rango de medición de presión de hasta 50 bar (aproximadamente 725 psi), lo que lo hace adecuado para una amplia gama de aplicaciones donde se requiere una precisión en la medición de la presión. Su tamaño compacto y su conexión de 1/4 de pulgada lo hacen fácil de instalar en diversos sistemas y equipos. Así mismo ya integrado en la máquina se puede apreciar en el manómetro situado en la línea de entrada; su funcionalidad es medir el valor de la presión de entrada que debe estar comprendido entre 3,5 y 4 kg/cm², esta medida se debe obtener después de activar en la pantalla de operación. Para obtener esta presión de trabajo, también hay que ajustar la válvula de retorno de producto que va al tanque que estén utilizando al momento.

Un segundo manómetro igual que la anterior marca se puede visualizar en el manómetro ubicado en la parte posterior, donde está localizado el mecanismo sellador, dicha presión debe estar en 6kg/cm² o aproximadamente en 90 Psi. La presión en los dosadores debe ser superior a la presión de entrada del producto. El sistema neumático es responsable de diversos accionamientos de la máquina, debiendo poseer un trabajo sincronizado con la misma. Para que eso ocurra, existe el programador por llaves y excéntricos (o *Encoder*) acoplado en uno de

los ejes de salida del accionamiento principal. El programador por llave y excéntricos se constituye de varias llaves fin-decurso accionadas por excéntricos presos al eje de salida, eses conjuntas, llaves/excéntricos, son responsables por el comando de inicio y fin de la acción de cada ítem neumático. También es útil para diagnosticar problemas en el sistema si la presión es demasiado baja o demasiado alta, lo que puede indicar fugas, obstrucciones u otros problemas potenciales.

Acelerómetro

Para el estudio se escogió el acelerómetro MPU6050 por su sencillez y sus características que contiene todo lo necesario para medir movimiento en 6 grados de libertad, combinando un giroscopio de 3 ejes y un acelerómetro de 3 ejes en un mismo chip. Integra un DMP (Procesador digital de movimiento) capaz de realizar complejos algoritmos de captura de movimiento de 9 ejes. Se comunica a través de una interfaz I2C y posee una librería muy difundida para su uso inmediato. Este sensor incorpora un regulador de tensión a 3.3V y resistencias *pull-up* para su uso directo por I2C. Su conexión es sencilla a través de su interfaz I2C master, permitiendo así controlar sensores externos sin intervención del procesador principal para así economizar recursos. Para una captura precisa de movimiento rápido y lento, posee un rango de escala programable de 250/500/1000/2000 grados/seg para el giroscopio y de 2g/4g/8g/16g para el acelerómetro. El primer manómetro ubicado estratégicamente en los rodamientos con el fin como objetivo minimizar los efectos de esta impedancia mecánica ya que lo que interesa medir son las fuerzas cíclicas internas.

Un segundo acelerómetro igual al anterior está colocado en el motor interno de la máquina Braskop 5003/1 para monitorear las vibraciones generadas durante su funcionamiento. Esta ubicación es estratégica porque el motor es una parte fundamental para el funcionamiento y sus vibraciones pueden indicar problemas relacionados con el desequilibrio, la alineación incorrecta, el desgaste de los rodamientos u otros fallos mecánicos. La presencia del acelerómetro en el motor permite detectar y diagnosticar posibles anomalías en el funcionamiento del motor, lo que ayuda a prevenir fallos.

Amperímetro

El medidor de corriente alterna de alta amperaje está montado de forma permanente en la máquina Braskop 5003/1, específicamente en su entrada principal o alimentación principal. Este dispositivo, conocido comúnmente como amperímetro, se encarga de medir la intensidad de la corriente eléctrica que fluye a través del circuito en amperios. Su diseño está orientado para manejar corrientes eléctricas de alta magnitud, lo que lo hace ideal para aplicaciones industriales como la mencionada en la máquina Braskop 5003/1.

El amperímetro instalado es de origen genérico, lo que significa que no está vinculado a una marca específica y puede ser fabricado por diferentes empresas bajo especificaciones estándar. Este tipo de dispositivo es esencial en entornos industriales donde se requiere monitorear y controlar el flujo de corriente eléctrica de manera precisa y confiable para garantizar el funcionamiento seguro y eficiente de maquinarias como la Braskop 5003/1. Su colocación en la entrada principal de la máquina permite una supervisión continua de la corriente eléctrica que alimenta el equipo, lo que facilita la detección temprana de posibles problemas eléctricos y contribuye a mantener la operatividad y seguridad de la instalación.

Voltímetro

El Medidor Voltímetro AC Panel Digital 20-500V X2 instalado en la máquina Braskop 5003/1 en los bornes de entrada del motor es un dispositivo que cumple una función esencial en el monitoreo y control de la energía eléctrica generada por dicho motor. Este medidor es de procedencia genérica diseñada para medir el voltaje en un rango amplio, desde 20 hasta 500 voltios, lo que lo hace versátil y adecuado para el estudio. Al estar ubicado en los bornes de entrada del motor, proporciona información crucial sobre la tensión eléctrica que el motor está recibiendo y suministrando al sistema. Esta información es fundamental para garantizar un funcionamiento óptimo del motor y para detectar cualquier anomalía o fluctuación en el voltaje que pueda afectar su rendimiento o seguridad.

Pirómetro

El pirómetro integrado en la máquina Braskop, suministrado por el proveedor como parte del sistema de control, despliega información precisa sobre la temperatura del sellador en la pantalla del panel de control. Este dispositivo es esencial para garantizar el funcionamiento óptimo de la máquina, ya que el sellador requiere mantener una temperatura específica para asegurar un sellado eficaz en los productos procesados. El pirómetro, también conocido como termómetro infrarrojo, utiliza tecnología de detección de temperatura sin contacto para medir la temperatura superficial del sellador de manera rápida y precisa.

La visualización de la temperatura del sellador en la pantalla del panel de control proporciona a los operadores información en tiempo real sobre el estado térmico del sellador, lo que les permite ajustar y controlar la temperatura según las necesidades del proceso de sellado. Esto no solo garantiza la calidad del sellado, sino que también contribuye a la eficiencia del proceso al evitar posibles defectos debido a temperaturas inadecuadas. La integración de este pirómetro en la máquina Braskop proporciona herramientas de monitoreo precisas y prácticas que facilitan la operación y el mantenimiento de la máquina.

Termopar

En la parte exterior del compresor, se ha instalado un termopar modelo Tipo K, caracterizado por su sonda y un cable de 2 metros de longitud. Este tipo de termopar es comúnmente utilizado en aplicaciones industriales debido a su versatilidad y resistencia a altas temperaturas. La sonda del termopar está diseñada para soportar condiciones ambientales adversas y se encuentra estratégicamente ubicada en una posición que permite una medición precisa de la temperatura del compresor.

El termopar Tipo K funciona detectando la diferencia de temperatura entre la punta de la sonda y la base del cable, generando una señal eléctrica proporcional a dicha diferencia. Esta señal es transmitida a un dispositivo de medición donde se convierte en una lectura de temperatura. La instalación del termopar en la parte exterior del compresor permite monitorear de manera continua la temperatura de funcionamiento del equipo, lo que facilita la detección temprana de cualquier anomalía que pueda afectar su rendimiento o seguridad. Además, el cable de 2 metros proporciona flexibilidad en la colocación del dispositivo, permitiendo su instalación en diversas configuraciones de compresores industriales.

Caudalimetro

Instalado en la tubería de alimentación de materia prima de la máquina un sensor un sensor de flujo YF-S201 diseñado para medir el flujo de líquidos en diversas aplicaciones, tanto industriales. Su estructura básica incluye un cuerpo de válvula de plástico, un rotor y un sensor de efecto *Hall*. El funcionamiento del sensor se basa en el principio de que el rotor de molinete gira a medida que el líquido fluye a través de la válvula, y esta velocidad de giro es directamente proporcional a la velocidad de flujo del líquido. Cada revolución del rotor genera un impulso eléctrico detectado por el sensor de efecto Hall, proporcionando así una señal que puede ser utilizada para medir el flujo. Este sensor permite monitorear la intensidad con la que la máquina está trabajando, ya que la velocidad del flujo de líquido está directamente relacionada con la velocidad de trabajo. Esta información es invaluable para mantener un funcionamiento óptimo de la máquina, ya que proporciona una visión en tiempo real de cómo el flujo de materia prima afecta su rendimiento. Además, al ser un sensor de fácil integración, su instalación no requiere grandes modificaciones en el sistema existente, lo que lo hace una solución eficiente y rentable para el monitoreo del flujo en procesos industriales.

Estructura de los datos

Hay cuatro conjuntos de datos y se diferencian entre sí según su configuración operativa. Cada uno tiene conjuntos de entrenamiento y pruebas en el repositorio. En este estudio, todos los conjuntos de datos (DS001, DS002, DS003, DS004) se utilizan para experimentos. Cada conjunto de datos contiene 9 mediciones de sensores diferentes, datos

Describiendo condiciones de las máquinas y el tiempo de trabajo. El cuadro 4 contiene una descripción del conjunto de datos y ayuda a comprenderlo mejor.

Los motores funcionan normalmente al comienzo de la serie temporal, pero después de algunos ciclos, los motores comienzan a funcionar mal y fallan repentinamente. Cada uno de los cuatro conjuntos de datos contiene subconjuntos de datos reales de tren, prueba y tierra.

- El conjunto de datos del entrenamiento son los datos del funcionamiento de la máquina normalmente y con una falla en particular.
- El conjunto de datos de prueba no contiene registros de fallas.

En la Figura 16 se puede apreciar un resumen del conjunto del conjunto de datos DS001 que incluye muestras (filas) y características (columnas) del *dataset* para una mayor comprensión de los datos.

Cuadro 4. Descripción de los datos

Dato	Descripción
<i>accelerometer1RMS</i>	Muestra una aceleración de vibración (Cantidad de unidades g)
<i>accelerometer2RMS</i>	Muestra una aceleración de vibración (Cantidad de unidades g)
<i>current</i>	Muestra el amperaje del motor eléctrico (Amperios)
<i>temperature</i>	Muestra la temperatura de la placa de sellado(grado Celsius)
<i>thermocouple</i>	Representa la temperatura del fluido en el circuito de circulación (grado Celsius)
<i>voltage</i>	Muestra el voltaje en el motor eléctrico (Voltios)
<i>massflowrate</i>	Representa el caudal de circulación del fluido dentro del circuito (kilogramo por hora)
<i>psis</i>	Representa la presión en el circuito neumático (kg/cm ²)
<i>pin</i>	Representa la presión del producto en la entrada (kg/cm ²)
<i>anomaly</i>	Muestra si hay una anomalía (0 o 1)

Fuente: Hernández D. (2024)

El conjunto de datos (DS001) proporciona un análisis estadístico completo de 1130 lecturas para cada sensor. En él se encuentran el valor máximo, que representa la lectura más alta registrada; el valor mínimo, la lectura más baja; los cuartiles, que dividen la distribución de datos en cinco partes iguales, y la media, que indica el valor central de las lecturas. Esta información permite comprender mejor el rango de valores, la tendencia central y la dispersión de las lecturas de cada sensor, lo que resulta útil para diversas aplicaciones como la detección de anomalías, el análisis de tendencias y la comparación entre sensores.

accelerometer1RMS	accelerometer2RMS	current	temperature	thermocouple
Min. :0.02653	Min. :0.03642	Min. :0.3836	Min. :65.70	Min. :24.15
1st Qu.:0.02737	1st Qu.:0.03932	1st Qu.:0.7676	1st Qu.:67.41	1st Qu.:24.18
Median :0.02761	Median :0.04024	Median :1.0014	Median :68.26	Median :24.20
Mean :0.02761	Mean :0.04020	Mean :0.9842	Mean :68.04	Mean :24.20
3rd Qu.:0.02785	3rd Qu.:0.04109	3rd Qu.:1.2121	3rd Qu.:68.72	3rd Qu.:24.22
Max. :0.03134	Max. :0.04352	Max. :1.5258	Max. :69.33	Max. :24.26

voltage	massflowrate	psis	pin	anomaly
Min. :204.2	Min. :731.2	Min. :5.701	Min. :3.800	0:734
1st Qu.:225.5	1st Qu.:732.5	1st Qu.:5.856	1st Qu.:3.905	1:395
Median :231.1	Median :734.0	Median :6.021	Median :4.013	
Mean :230.9	Mean :733.9	Mean :6.012	Mean :4.014	
3rd Qu.:236.7	3rd Qu.:735.4	3rd Qu.:6.165	3rd Qu.:4.118	
Max. :254.7	Max. :736.7	Max. :6.298	Max. :4.230	

Figura 16. Resumen de dataset DS001

Fuente: Hernández D. (2024)

4.3.3. Modelo y evaluación

El objetivo para alcanzar para este proyecto era poder discernir entre un estado de funcionamiento normal de la máquina y otro con algunas anomalías. Por lo tanto, queremos obtener un servicio capaz de proporcionar diagnósticos. Para cada etapa, se explicará la metodología empleada y las razones de las decisiones tomadas, así como los resultados obtenidos, aunque sean parciales o intermedios.

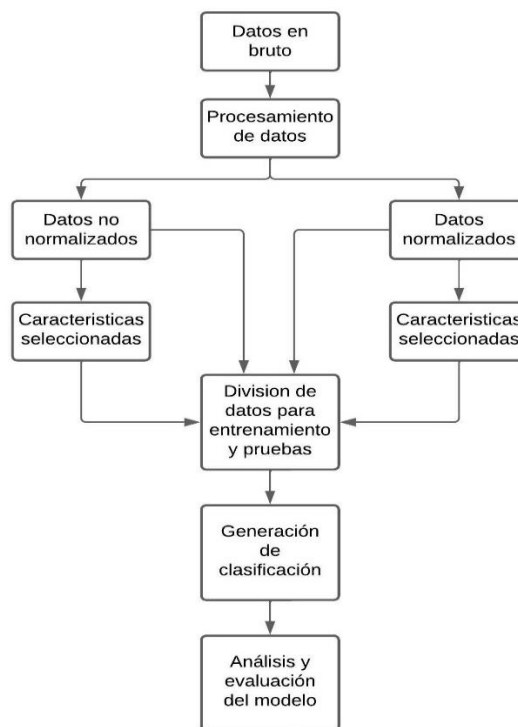


Figura 17. Procesos fundamentales de los modelos

Fuente: Hernández D. (2024)

Se ha prestado mucha atención al pre-procesamiento de los datos brutos, en el caso específico caso específico de las vibraciones de piezas mecánicas giratorias y en la evaluación y selección de características, porque se considera la parte más importante y de mayor impacto en la creación de un modelo de aprendizaje automático, ya que es mayor la calidad de las

características más fácil y rápido será desde el punto de vista del algoritmo entrenar y obtener mejores resultados. Por este motivo, se han tomado dos caminos paralelos, con el fin de ventajas e inconvenientes en los dos casos examinados, lo que conducirá a la elección de una arquitectura definitiva teniendo en cuenta los requisitos en un proyecto del que nace esta tesis.

En la figura 17, representan la parte común de todos los algoritmos analizados comenzando con la recogida de datos y la creación de un Conjunto de Datos. Los siguientes representan los dos caminos paralelos: a la izquierda la creación de los datos no normalizados mientras que a la derecha la creación de datos normalizados, para ambos continúa con la creación de las características y finalmente con la selección de las mismas. Por último, los bloques representan en cambio los pasos para la creación de los modelos predictivos generales, se utilizan tanto después de la creación de las características como después de la selección de las mismas para buscar una cantidad mínima de datos para realizar predicciones correctas.

Se ha optado por abordar el problema utilizando algoritmos de aprendizaje automático para resolver la clasificación. Los modelos en cuestión se muestran a continuación:

Árbol de decisiones

En el caso de los árboles de decisiones, la calidad de los datos de entrada también es fundamental. La precisión y el formato de los datos de entrenamiento afectan directamente la capacidad del modelo para generalizar y tomar decisiones precisas sobre nuevas instancias. Los datos de entrada en este método fueron pre-procesados y estructurados de manera que facilitaran la construcción del árbol de decisiones.

La normalización de datos no es tan relevante en los árboles de decisiones como lo es en las, ya que estos modelos no son sensibles a la escala de las características. Sin embargo, el pre-procesamiento de datos puede incluir pasos como la eliminación de valores atípicos o la codificación de variables categóricas para mejorar el rendimiento del árbol de decisiones.

- Número de niveles: en el árbol de decisiones es un parámetro importante que afecta la complejidad del modelo y su capacidad para generalizar patrones en los datos. Se debe encontrar un equilibrio entre la profundidad del árbol y la capacidad de generalización para evitar el sobreajuste o subajuste del modelo a los datos de entrenamiento.
- Método: Si y es un objeto de supervivencia, entonces se asume el método "exp", si y tiene 2 columnas entonces se asume el método "poisson", si y es un factor entonces se asume el método "class", de lo contrario se asume el método "anova". Lo más prudente es especificar el método directamente, sobre todo porque en el futuro pueden añadirse más criterios a la función. En este caso se optó por el método anova por el análisis de varianza que permite descubrir si los resultados de una prueba son significativos, es decir, permiten determinar si es necesario rechazar la hipótesis nula o aceptar la hipótesis alternativa.

Se muestra un ejemplo de la estructura de un árbol de decisiones utilizado en esta metodología (ver figura 18). Cada nodo representa una condición sobre una característica, y las ramas representan el flujo de decisiones basado en esas condiciones. Las hojas del árbol contienen las decisiones finales o predicciones.

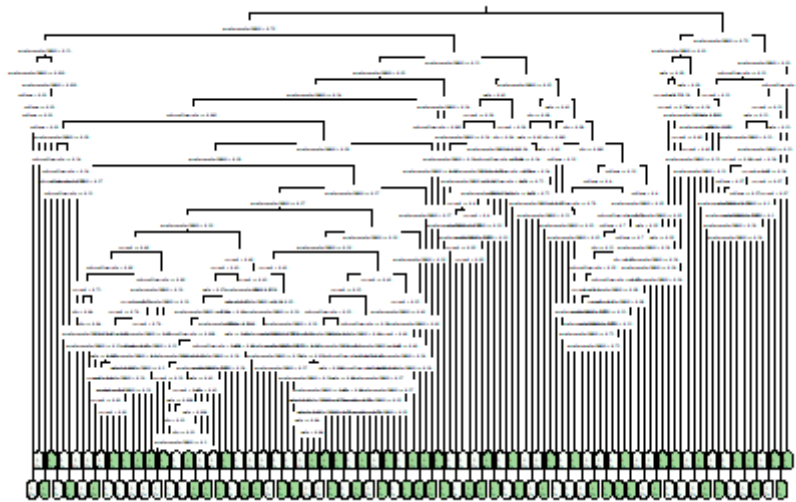


Figura 18. Árbol de decisiones resultante

Fuente: Hernández D. (2024)

Una vez que todos los parámetros fueron configurados, se procedió a construir y evaluar los árboles de decisiones utilizando diferentes combinaciones de parámetros para encontrar la configuración óptima que se ajustara a los datos y produjera resultados precisos.

K-nearest neighbors

Elegir un k apropiado y decidir cuántos vecinos usar para KNN determina qué tan bien se generalizará el modelo a datos futuros. El equilibrio entre el sobreajuste y el desajuste de los datos de entrenamiento es un problema conocido como equilibrio entre sesgo y varianza. Elegir una k grande reduce el impacto o la variación causada por datos ruidosos, pero puede sesgar el estudio de tal manera que corre el riesgo de ignorar patrones pequeños pero importantes.

Si se adopta la postura extrema de establecer un k muy grande, igual al número total de observaciones en los datos de entrenamiento. Como cada instancia de formación está representada en la votación final, la clase de formación más común siempre tiene la mayoría de los votantes. Por tanto, el modelo siempre predeciría la clase mayoritaria, independientemente de qué vecinos sean más cercanos.

En el extremo opuesto, el uso de un único vecino más cercano permite que datos ruidosos o valores atípicos influyan indebidamente en la clasificación de los ejemplos. Por ejemplo, supongamos que algunos de los ejemplos de capacitación estuvieran mal etiquetados

accidentalmente. Se predecirá que cualquier ejemplo sin etiquetar que esté más cerca del vecino etiquetado incorrectamente tendrá la clase incorrecta, incluso si los otros nueve vecinos más cercanos hubieran votado de manera diferente. Obviamente, el mejor valor de k se encuentra entre estos dos extremos como se ilustra de manera más general cómo el límite de decisión (representado por una línea discontinua) se ve afectado por valores k mayores o menores. Los valores más pequeños permiten límites de decisión más complejos que se ajustan más cuidadosamente a los datos de entrenamiento. El problema es que no se sabe si el límite recto o el límite curvo representa mejor el verdadero concepto subyacente que se debe aprender (ver figura 19).

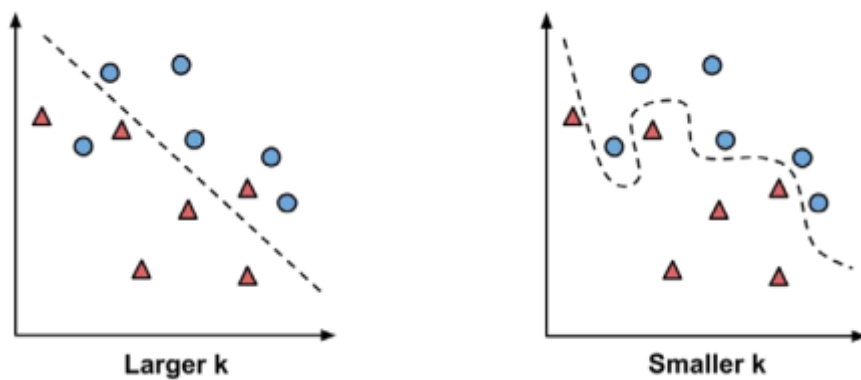


Figura 19. Límite de decisión de constante k

Fuente: Lantz B. (2013).

En la práctica, elegir k depende de la dificultad del concepto a aprender y del número de registros en los datos de entrenamiento. Normalmente, k se establece entre 3 y 10. Una práctica común es establecer k igual a la raíz cuadrada del número de ejemplos de entrenamiento. Sin embargo, es posible que tales reglas no siempre den como resultado la mejor k . Un enfoque alternativo es probar varios valores de k en una variedad de conjuntos de datos de prueba y elegir el que ofrezca el mejor rendimiento de clasificación. Por otro lado, a menos que los datos sean muy ruidosos, conjuntos de datos de entrenamiento más grandes y representativos pueden hacer que la elección de k sea menos importante. Esto se debe a que incluso los conceptos más sutiles tendrán un conjunto de ejemplos lo suficientemente grande como para votar como vecinos más cercanos.

Siguiendo la metodología expuesta se consigue unos resultados expuestos en la matriz de confusión con una k óptima igual a dos (02) proporcionando los mejores resultados en cuanto precisión y otros indicadores suministrados por la matriz de confusión.

Tabla 5. Matriz de confusión KNN

	Real	
Predicción	Condiciones estables	Anomalía

Condiciones estables	161	15
Anomalía	8	60

Fuente: Hernández D. (2024)

Red neuronal

El modelo de redes neuronales es el más complejo, por lo tanto, su entrenamiento requiere de diferentes parámetros de funcionamiento, tales como, funciones internas, arquitectura, formato de datos de entrada, entre otros. Las redes neuronales se basan en un modelo iterativo en el cual fue necesario variar todos los parámetros hasta encontrar la combinación óptima que se ajustara a los resultados esperados. Entre los parámetros variados se encuentran: los datos de entrada, normalización de datos, número de capas de la red neuronal, neuronas por capa y función de activación.

- Datos de entrada: fue uno de los parámetros fundamentales en el diseño y aplicación de redes neuronales, ya que, dependiendo de la calidad y formato de los mismos, el modelo puede obtener un mejor desempeño y lograr obtener resultados en menor tiempo. Los datos de entrada en este método fueron los anteriormente mostrados para la creación del *dataset*.
- Normalización de datos: Al momento de usar datos reales, los valores más elevados como la tasa de vibración tendrán mayor influencia sobre el parámetro de salida que aquellos parámetros más pequeños. Por esta razón se trabaja de igual forma con los *datasets* estandarizados y normalizados por la Ecuación 1, con la finalidad de comparar y verificar si los cálculos que se realizaron en la red neuronal son más rápidos y la influencia que cada parámetro de entrada tiene sobre el resultado es equitativo.

$$Dataset_n = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}$$

Donde:

$Dataset_n$ = *Dataset* normalizado

x = La variable evaluada

$\max(x)$ = El valor máximo de la variable en el *dataset*

$\min(x)$ = El valor mínimo de la variable en el *dataset*

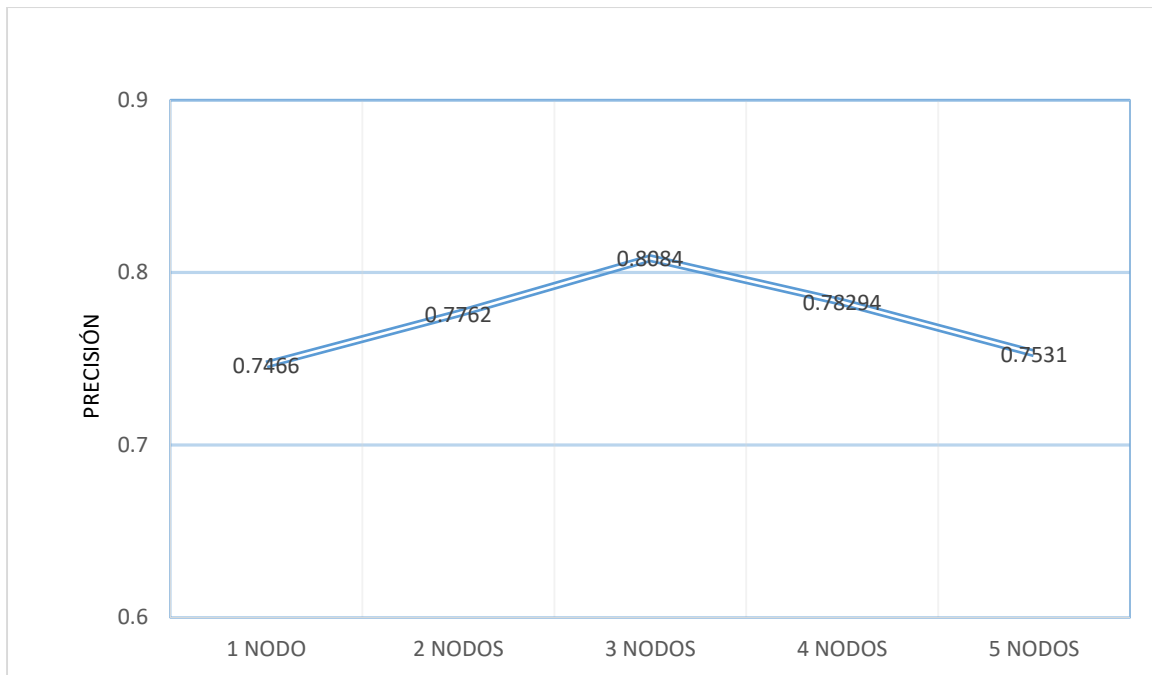
- Número de capas de la red neuronal: El número de capas intermedias fueron muy importantes en el modelo, ya que fueron la base estructural de las neuronas encargadas de realizar los cálculos desde la capa de entrada hasta la capa de salida. Se decidió variar el número de capas intermedias desde una (01) capa a tres (03) capas, ya que, es el número de capas común en tareas simples de clasificación o

regresión, colocar más capas intermedias puede generar un sobre entrenamiento del modelo, por lo general modelos con más capas son usados para procesamiento de imágenes y videos, lo cual no es parte de esta investigación.

- El número de neuronas en las capas ocultas es definido por el usuario, sin embargo, no existe una forma directa para definir cuantas neuronas de este tipo son necesarias para un trabajo determinado, y, por lo tanto, es considerado un trabajo de ensayo y error. Para este procedimiento se realizaron varias pruebas y se fue ajustando el número de neuronas en la capa oculta de acuerdo con los resultados obtenidos. Al igual que con el número de capas, la cantidad de neuronas en cada capa no debe ser muy elevado, ya que el diseño será muy robusto y el modelo resultaría sobreentrenado. Si bien no hay una forma directa de saber el número de neuronas óptimo para una RNA varios autores han desarrollado algunas reglas que permiten tener una idea aproximada del número de neuronas que se debería tener para obtener resultados aceptables.
- Función de activación: En este estudio, la función de activación seleccionada fue ReLU (Rectified Linear Unit), dado que es un problema de regresión, cuyos valores de salida tienen que ser números reales y mayores o iguales a cero.

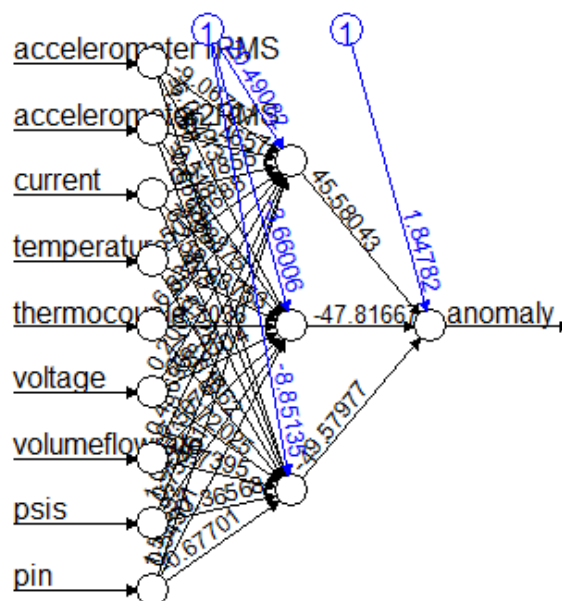
Se evaluaron modelos con capas ocultas de 1 a 5 nodos, registrando su rendimiento según la métrica de precisión. Se encontró que el modelo con 3 nodos en la capa oculta obtuvo la métrica más alta de 0.8084, mientras que el rendimiento disminuyó al aumentar o disminuir la cantidad de nodos en la capa oculta. Este proceso iterativo ayudó a identificar la configuración óptima para el conjunto de datos y métrica específicos, destacando la importancia de la experimentación sistemática y la evaluación exhaustiva en el desarrollo de redes neuronales.

Figura 20. Precisión vs neuronas en la capa oculta



Fuente: Hernández D. (2024)

Se muestra la estructura base de la RNA (Red Neuronal Artificial) a usar en esta metodología (ver figura 21), la cual comprende del lado izquierdo la capa de entrada y en su interior las neuronas de entrada con los 9 parámetros base, en la parte central se encuentran las capas ocultas, que en este caso se representan una (01) capa con sus respectivas neuronas intermedias y del lado derecho se encuentran la capa de salida con las neuronas de salida, mientras cada una de las líneas que las conecta representa el peso de cada conexión entre neuronas. Cada axón de neurona tiene el peso correspondiente asignado por el modelo.



Error: 16.262951 Steps: 25194

Figura 21. Red neuronal artificial resultante

Fuente: Hernández D. (2024)

Una vez que todos los parámetros fueron establecidos, se procedió a modelar la RNA e ir evaluando los mismos. Es necesario tomar en cuenta todas las combinaciones posibles de acuerdo con los parámetros.

Cada modelo de clasificación se prueba con estos grupos de características para comprender cuál es la mejor solución para cada modelo de clasificación, el 75% del conjunto de datos se utilizó para entrenamiento y el resto para pruebas.

Los resultados obtenidos se reportan para cada algoritmo, destacando el desempeño en términos de:

- **Precisión:** es la capacidad de un clasificador de no etiquetar una instancia positiva que es en realidad negativo. Para cada clase se define como la proporción de verdaderos positivos (TP) a la suma de verdaderos y falsos positivos (FP);

$$\text{Precisión} = \frac{TP}{TP + FP}$$

- **Sensibilidad:** es la capacidad de un clasificador de encontrar todas las instancias positivas. Para cada clase se define como la relación entre los verdaderos positivos y la suma de los verdaderos positivos y los falsos negativos (FN);

$$\text{Sensibilidad} = \frac{TP}{TP + FN}$$

- **F1-Score:** es una media armónica ponderada de precisión y recuperación tal que la mejor puntuación es 1,0 y la peor es 0,0;

$$\text{F1 - score} = \frac{2 \times \text{Sensibilidad} * \text{Precisión}}{\text{Sensibilidad} + \text{Precisión}}$$

- **Exactitud:** es la fracción de predicciones que nuestro modelo acertó;

$$\text{Exactitud} = \frac{TP + TN}{P + N}$$

- **Tiempo de Entrenamiento:** el tiempo necesario para finalizar el entrenamiento. Los valores generales de precisión y recuperación se obtienen calculando los valores individuales para cada clase y promediándolos. Este procedimiento es posible porque las clases del conjunto de datos están equilibradas.

Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6. Comparación de clasificadores

Modelo	Precisión	Sensibilidad	F1-Score	Exactitud	Tiempo T (s)
Árbol de decisiones	0.8343	0.8342	0.8120	0.7982	0.81
RNA	0.8320	0.8577	0.8124	0.826	0.96
KNN	0.9089	0.9230	0.9159	0.9057	0.78

Fuente: Hernández D. (2024)

En las figuras siguientes se representan gráficamente los datos que se acaban de describir para facilitar su interpretación.

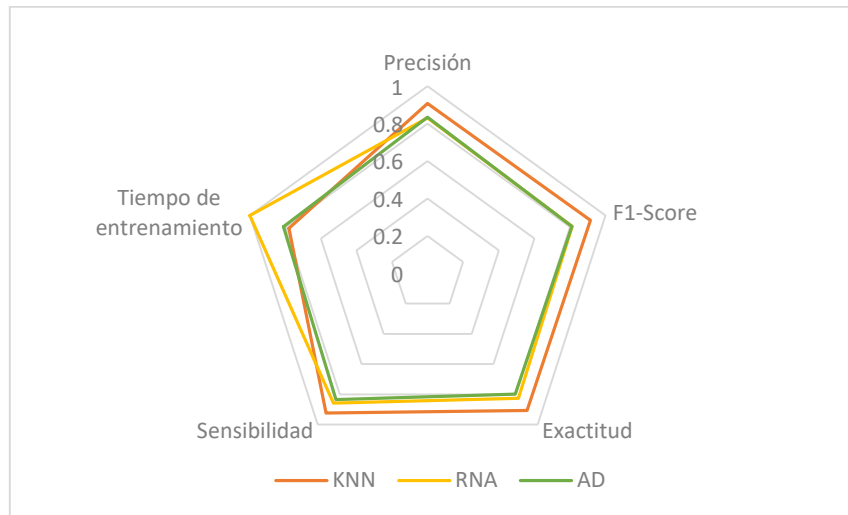


Figura 22. Comparación de clasificadores

Fuente: Hernández D. (2024)

Los modelos de clasificación requieren un conjunto de datos de entrenamiento en el que debe haber ejemplos relacionados con todas las clases que desea reconocer en la fase de prueba. Esto significa que la máquina debe entrar en un estado de falla para la creación del conjunto de datos. Además, los modelos de clasificación durante las pruebas se limitan a etiquetar las entradas que reciben con una de las clases presentes en el conjunto de datos. Esto significa que, si se produce un nuevo tipo de anomalía en la máquina, necesariamente se incluirá en uno de los casos conocidos incluso si los patrones de la entrada particular difieren de cada uno de ellos.

4.3.4. Plan de mantenimiento

El enfoque predictivo complementa el mantenimiento preventivo al agregar una capa adicional de vigilancia y respuesta proactiva a las posibles fallas en la máquina de envasado. Mientras que el mantenimiento preventivo se centra en la realización de inspecciones y tareas programadas para evitar fallas conocidas, el enfoque predictivo utiliza datos en tiempo real y análisis avanzado para detectar anomalías tempranas y tomar medidas correctivas antes de que se conviertan en problemas mayores. Juntos, estos enfoques crean un sistema de mantenimiento integral que maximiza la disponibilidad y confiabilidad de la máquina de envasado. El

mantenimiento preventivo establece una base sólida al abordar las fallas conocidas de manera planificada, mientras que el enfoque predictivo agrega una capa de protección adicional al identificar y resolver problemas antes de que impacten negativamente en la producción.

Plan predictivo

Este enfoque se basa en la combinación de dos elementos clave: la capacidad predictiva y la respuesta reactiva. Por un lado, utilizamos modelos predictivos y algoritmos avanzados para analizar datos en tiempo real y anticipar posibles escenarios futuros. Por otro lado, implementamos un sistema de respuesta rápida que nos permite ajustar dinámicamente nuestros procesos y recursos para adaptarnos a cambios repentinos.

Para ilustrar mejor cómo funciona este diseño en la práctica, presentaremos un diagrama de flujo que muestra los procesos involucrados en nuestro plan predictivo operado de forma reactiva. Este diagrama proporcionará una visión clara y concisa de cómo se integra la reacción en nuestras operaciones diarias, desde la recopilación de datos hasta la toma de decisiones y la ejecución de acciones correctivas.

Con este enfoque, no solo buscamos mejorar la eficiencia y la efectividad de las operaciones, sino también fortalecer la capacidad para adaptarse a un entorno cambiante. En detalle nuestro diseño del plan predictivo operado de forma reactiva, junto con el diagrama de flujo que lo acompaña

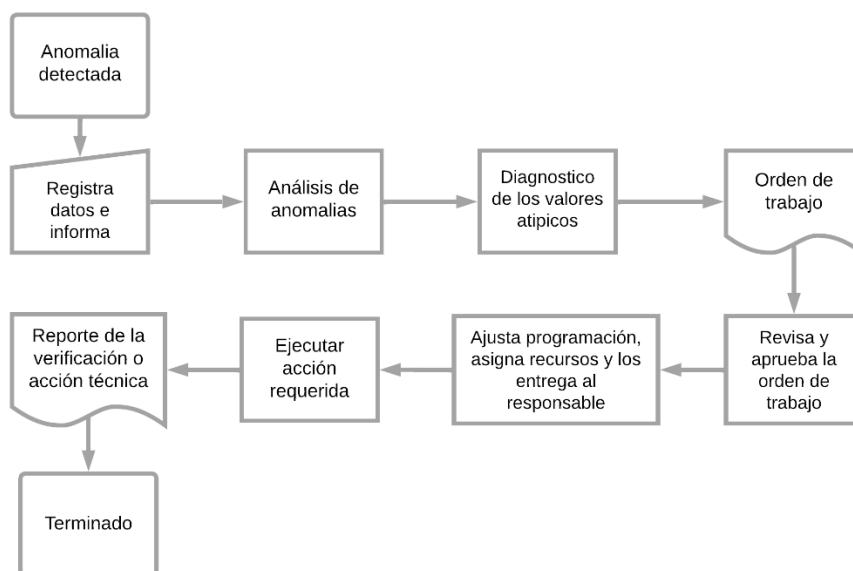


Figura 23. Diagrama de flujo reactivo

Fuente: Hernández D. (2024)

Respuesta de anomalía

El uso de alarmas para la predicción de fallas es una medida proactiva común contra eventos inevitables con una ventana de mantenimiento y confiabilidad determinada por la precisión del modelo en predecir las fallas. En consecuencia, esto da como resultado “poco tiempo para planificar y, por lo tanto, poner a la organización de mantenimiento en modo reactivo”. (Li et al., 2014, p. 20). Para conseguir que la respuesta del plan de mantenimiento sea efectiva en su capacidad de respuesta era necesario abordar los siguientes desafíos:

- Generar reglas que los humanos puedan interpretar fácilmente para facilitar el proceso de decisión.
- Definir las soluciones indicadas para cada situación

Clasificación de fallos

La máquina solo se puede ver afectada por dos tipos de fallos los cuales serían el fallo funcional que impide al equipo o sistema cumplir su función, para el que fue diseñado y el fallo técnico que no impide el funcionamiento del equipo o sistema, pero si presenta un funcionamiento anormal que se puede notar. Las fuentes de información son:

- Fallo a evitar: Este fallo se da cuando sus consecuencias son inadmisibles, corregir este tipo de fallos es costoso por tal motivo estos fallos deben ser evitados en equipos con modelos de Mantenimiento de Alta Disponibilidad.
- Fallo a amortiguar: Busca formas de amortiguar los efectos de un fallo para que sean mínimos, mientras siga funcionando el equipo.

Se detallan los modos de fallo encontrados en la máquina del área de envasado. En la primera columna se detalla el sistema analizado, la segunda columna detalla el elemento del sistema, la tercera columna lleva los componentes de cada elemento, la cuarta columna clasifica el tipo de fallo, que puede ser funcional o técnico. En la quinta columna se detallan los fallos que pueden presentarse, en la sexta están los modos de fallo, en la última columna se indican la clasificación de actuación ante el fallo que sería a evitar o amortiguar.

Cuadro 5. Clasificación de fallos de la máquina Braskop 5003/1

Sistema	Elemento	Componente	Tipo de fallo	Fallo	Modo de fallo	Clasificación
Braskop 5003/1	Motor	Conjunto de protección	Funcional	Corrida en vacío	Fusil mecánico dañado	A evitar
		Relés térmicos	Funcional	No hay paso de energía	Disparo de relé	A evitar
		Componentes primarios	Funcional	Sin accionamiento	Desgaste de piezas	A evitar

		y secundarios	Funcional			
Sistema neumático	Compresor	Funcional	Presión insuficiente	Falla de elementos críticos	A evitar	
	Controlador de presión	Funcional	Fuga de presión	Manguera fisurada	Amortiguar	
			Falla de señal	Falla de cables conectores	A evitar	
	Conjunto de vacío	Técnico	Vacío insuficiente	Obstrucción en el filtro	Amortiguar	
Sistema eléctrico	Conjunto circuito de arranque PCB	Funcional	No hay señal de control	Falla de elementos electrónicos	A evitar	
				Falla en cables conectores	A evitar	
	TCI control PCB3	Funcional	No hay señal de energía	Falla en elementos electrónicos	A evitar	
				Falla en cables conectores	A evitar	
	Panel de distribución de energía PCB2	Funcional	No hay paso de energía	Falla en elementos electrónicos	A evitar	
				Fusibles quemados	A evitar	
	Conjunto sellador	accionado de sellado	Técnico		Cilindro neumático dañado	Amortiguar
					Rotura de juntas tóricas	
	Placa de sellado	Técnico	Temperatura excesiva	Pirómetro desajustado	Amortiguar	

				Temperatura insuficiente	Resistencia a quemada	
--	--	--	--	-----------------------------	--------------------------	--

Fuente: Hernández D. (2024)

La información obtenida en el cuadro 5 muestra las partes que presentan un fallo funcional, según la teoría expuesta anteriormente, este tipo de fallos son los que imposibilitan el funcionamiento del equipo y son los que se debe evitar que sucedan, de este cuadro 5 más adelante se realizara una clasificación de partes con fallos en las cuales la aplicación del mantenimiento predictivo es importante para asegurar el funcionamiento del sistema y equipo del cual forma parte, también indicara el tipo de técnica predictiva más adecuada para aplicar en el plan de mantenimiento predictivo.

Orden de mantenimiento

El formato de Orden de Mantenimiento Predictivo (Ver APENDICE C) establece un marco organizado para la gestión proactiva del mantenimiento, involucrando a cuatro responsables clave: el Jefe de Mantenimiento, el Analista de Mantenimiento, el Supervisor y el Operador. Este documento estructurado identifica nueve variables críticas monitoreadas por un modelo predictivo: Vibración A, Vibración B, Corriente, Temperatura A, Temperatura B, Voltaje, Flujo Másico, Presión del Sistema y Presión de Entrada. Cada una de estas variables se evalúa en función de su estado actual y se asigna una acción correspondiente codificada como A (Satisfactorio), B (Ajustado), C (Se Cambió) o D (Comentario). Además, el formato incluye espacio para observaciones adicionales o comentarios relevantes sobre el equipo, proporcionando una visión holística del estado y el mantenimiento necesario. La firma de aprobación del Jefe de Mantenimiento o Supervisor valida la orden y garantiza que se tomen las medidas adecuadas para mantener la operatividad y fiabilidad del equipo.

Este formato condensado ofrece una herramienta efectiva para la gestión predictiva del mantenimiento al proporcionar un registro claro y conciso de las acciones requeridas en respuesta a las variables monitoreadas. Al involucrar a los responsables designados, se garantiza una distribución clara de responsabilidades y una comunicación efectiva en todo el proceso de mantenimiento. La codificación de acciones permite una rápida identificación de las medidas necesarias, optimizando así el tiempo de respuesta y la eficiencia operativa. Además, la inclusión de observaciones adicionales permite una documentación detallada de cualquier aspecto relevante relacionado con el equipo, lo que facilita un análisis más profundo y una toma de decisiones informada en futuras operaciones de mantenimiento. En última instancia, este formato no solo asegura la continuidad y fiabilidad de las operaciones, sino que también sienta las bases para una mejora continua del proceso de mantenimiento predictivo.

Respuesta de anomalías

El cuadro 6 presenta una lista de posibles fallos en un sistema mecánico o eléctrico, junto con los indicadores que podrían sugerir la presencia de cada fallo, la ventana de tiempo recomendada para abordar cada problema y la acción específica a tomar una vez que se detecta la anomalía. Cada fila del cuadro 6 identifica un fallo potencial, como un reductor con defecto, un pino de seguridad roto o una correa suelta o dañada, y proporciona información clave para gestionar eficazmente cada situación. Por ejemplo, para un reductor con defecto, el predictor de falla es la vibración, y la ventana de mantenimiento recomendada es de 2 a 4 días. Una vez detectada la anomalía, la acción sugerida es verificar y cambiar el reductor si es necesario. Esto implica realizar una inspección detallada del reductor para identificar cualquier defecto o daño que pueda estar causando la vibración, y luego proceder con el reemplazo si se determina que es necesario para restaurar el funcionamiento adecuado del equipo.

Cuadro 6. Respuesta de las anomalías

Fallo	Predictores	Ventana de mantenimiento	Acción
Reductor con defecto	Vibración	próximos 2 a 4 días	Verificar y cambiar, si es necesario
Pino de seguridad roto	Vibración	24 horas	Cambiar el pino
Rodadura de accionamiento roto	Vibración	24 horas	Cambiar la rodadura
Correa suelta o dañada	Vibración	24 a 48 horas	Reajusta la correa o cambiarla, si es necesario
Relés térmicos defectuosos	Voltaje y corriente	2 a 3 días	Verificar los relés térmicos
Componentes del motor dañificados	Vibración, voltaje y corriente	2 a 4 días	Verificar motor y verificar
Fusibles dañados	Voltaje y corriente	24 horas	Sustituir fusibles
Manguera con fuga	Presión	24 a 48	Reapretar las mangueras o sustituir
Cilindro neumático defectuoso	Presión	2 a 4 días	Cambiar o reparar cilindro
Presión insuficiente	Presión y temperatura	24 a 48 horas	Verificar compresor
Placa selladura no se caliente	Temperatura	2 a 4 días	Verificar la resistencia, el sensor y el regulador de temperatura y

			cambiar la piezas defectuosas.
Vaso deformado	Temperatura y presión	24 horas	Regular temperatura o regular la presión con auxilio del muelle superior del cilindro neumático
Deficiencia de vacío	Presión	24 a 48 horas	Verificar el circuito de vacío y verificar el venturi, limpiarlo o cambiarlo si es necesario

Fuente: Hernández D. (2024)

Cada fila del cuadro 6 sigue un patrón similar, proporcionando información clara y concisa sobre cómo identificar y abordar cada anomalía de manera oportuna y efectiva. Esta estructura facilita la gestión de mantenimiento al proporcionar una guía clara sobre cómo responder a una variedad de posibles problemas en el sistema, lo que ayuda a minimizar el tiempo de inactividad no planificado y a garantizar un funcionamiento seguro y eficiente del equipo.

4.4. Evaluar la factibilidad operativa, económica, técnica, ambiental y social en el diseño elaborado

4.4.1. Factibilidad operativa

La propuesta de implementar un plan de mantenimiento predictivo en Multi Alimentos Cojedes es factible operacionalmente debido a la capacidad del personal y de la empresa para llevar a cabo las acciones propuestas. En primer lugar, la empresa cuenta con un equipo de mantenimiento altamente capacitado y experimentado en técnicas de monitoreo predictivo. Este personal cuenta con formación específica en el uso de la tecnología y los sistemas necesarios para el monitoreo predictivo, lo que les permite realizar las tareas requeridas de manera eficiente y precisa. Además, la empresa cuenta con una infraestructura adecuada, incluyendo instalaciones físicas y equipos necesarios para llevar a cabo el plan de mantenimiento predictivo. Además, la empresa ha demostrado capacidad para integrar tecnología y sistemas de información en sus operaciones, lo que facilita la implementación y gestión efectiva del plan propuesto.

4.4.2. Factibilidad económica

La factibilidad económica de una propuesta se evalúa determinando si es financieramente viable. Para ello, se identifican los recursos necesarios y se estiman los costos asociados. La efectividad total del equipo (ETE) se utiliza para medir la eficiencia con la que se utilizan estos recursos y se logran los objetivos del proyecto. Se evalúa la productividad, eficiencia y calidad del trabajo del equipo en relación con los costos y beneficios esperados. Con base en esta evaluación, se toma una decisión informada sobre la viabilidad económica del proyecto, considerando los ingresos económicos que generan las horas-máquina.

El mantenimiento predictivo cubre una parte de las fallas antes de que ocurran, lo que reduce la cantidad de tiempo de inactividad y el costo asociado con las reparaciones no planificadas. Por lo tanto, al mejorar el plan de mantenimiento para cubrir un mayor porcentaje de las fallas, se espera reducir aún más el tiempo de inactividad y aumentar la efectividad total del equipo.

Tabla 7. Inversión en instrumentación

Descripción	Precio unitario	Cantidad	Total
Sensor Acelerómetro Giroscopio Tres Ejes Mpu6050 Arduino	5\$	2	10\$
Cables Dupont 30cm	5\$	1	5\$
Cables Dupont 20cm	2\$	1	2\$
Tarjeta Raspberry Pi Pico Rp2040 Dual Core 264kb	8\$	1	8\$
Tarjeta Arduino UNO	10\$	1	10\$
Batería de 9v con conector	5\$	1	5\$
Kit de resistencias	6\$	1	6\$
Total			46\$

Fuente: Hernández D. (2024)

Anteriormente se obtuvo un valor ETE del 76.3% clasificado como un desempeño regular. Si actualmente el plan de mantenimiento predictivo cubre las fallas mostradas anteriormente, una mejora significativa podría aumentar este porcentaje. Al aumentar la cobertura del plan de mantenimiento preventivo con el predictivo, se reduciría la frecuencia y gravedad de las fallas no planificadas, lo que aumentaría la disponibilidad y eficiencia del equipo. Por lo tanto, un objetivo alcanzable podría ser aspirar a una ETE del 80% o más, lo que reflejaría una mejora significativa en la efectividad total del equipo junto sus factores económicos asociados.

Tomando como punto de partida una disminución de catorce (14) horas semanales donde la máquina esta indisponible a siete (07) horas semanales y un decrecimiento de 251 en productos defectuosos hasta los 100, estos datos funcionarían como la base de cálculo.

Tabla 8. Unidades producidas semanalmente

Producción	Tiempo trabajando	Unidades por hora	Unidades producidas
Actual	99	1300	128700
Sin fallas predecibles	106	1300	137800

Fuente: Hernández D. (2024)

La empresa como por sus servicios en la producción de una unidad obtiene un 0.2225\$

Tabla 9. Ingresos de producción

Unidades producidas	Ingresos por unidad	Ingresos totales
128700	0.2225\$	28635.75\$
137800	0.2225\$	30660.5\$

Fuente: Hernández D. (2024)

$$\text{incremento de ingresos \%} = 100 \times \frac{\text{Ingresos esperados} - \text{ingresos iniciales}}{\text{ingresos iniciales}}$$

$$\text{incremento de ingresos \%} = 100 \times \frac{30660.5 - 28635.75}{28635.75}$$

$$\text{incremento de ingresos \%} = 7.07\%$$

4.4.3. Factibilidad técnica

Para evaluar la factibilidad técnica del plan de mantenimiento predictivo, es esencial considerar los recursos y capacidades que la empresa Multi Alimentos Cojedes tiene a su disposición. Se cuenta con una amplia gama de herramientas y equipos especializados, tales como sensores integrados e instalados en la máquina, todos ellos respaldados por registros detallados de adquisición y mantenimiento, así como certificados de calibración que garantizan su precisión. Además, se cuenta con personal altamente capacitado en técnicas con conocimiento de monitoreo predictivo, respaldado por programas de formación continua y certificaciones que demuestran su experiencia y habilidades en el uso de estas herramientas y equipos.

A su vez también se tiene acceso a los conocimientos y sistemas de información adecuados, como el sistema de gestión de mantenimiento, que almacena historiales completos de mantenimiento, datos de operación de equipos y registros de fallas. Demostrando capacidad

para integrar estos datos en herramientas de análisis predictivo, incluyendo software de diagnóstico de condición de equipos y plataformas de análisis de datos en la nube. Además, hemos asegurado instalaciones adecuadas para la implementación de técnicas de monitoreo predictivo, con áreas específicas designadas para el monitoreo de vibraciones

4.4.4. Viabilidad ambiental

La implementación de un mantenimiento predictivo en una empresa que ya cumple con todos los requisitos ambientales puede fortalecer aún más su compromiso con la sostenibilidad y el cuidado del medio ambiente. Al adoptar esta práctica, la empresa puede reducir la generación de residuos al detectar y corregir problemas en equipos y maquinaria antes de que se conviertan en fallas mayores, lo que a su vez disminuye la necesidad de reemplazar estos activos y contribuye a la conservación de recursos naturales. Además, el mantenimiento predictivo puede mejorar la eficiencia energética al evitar consumos innecesarios de energía asociados a problemas no detectados, lo que ayuda a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y promueve un uso más responsable de los recursos energéticos. Esta estrategia no solo cumple con las regulaciones ambientales vigentes, sino que también refuerza la imagen corporativa de la empresa al demostrar su compromiso con la protección del medio ambiente y la adopción de prácticas empresariales responsables.

Al prolongar la vida útil de los equipos y maquinaria a través del mantenimiento predictivo, la empresa también puede obtener beneficios económicos a largo plazo al reducir los costos asociados con reparaciones extensas o el reemplazo prematuro de activos. Esto no solo se traduce en ahorros directos para la empresa, sino que también puede generar oportunidades de negocio al mejorar su competitividad y su capacidad para satisfacer las expectativas de los clientes que valoran la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental. En última instancia, la implementación de un mantenimiento predictivo en una empresa que ya cumple con todos los requisitos ambientales representa una oportunidad para integrar la eficiencia operativa, la sostenibilidad y la responsabilidad corporativa en la estrategia empresarial, generando beneficios tanto para la empresa como para el medio ambiente.

4.4.5. Viabilidad social

Al adoptar tecnologías avanzadas como sensores y análisis de datos, se puede optimizar la eficiencia de las operaciones de mantenimiento, reducir los tiempos de inactividad no planificados y prolongar la vida útil de los equipos. Esta mejora en la productividad no solo beneficia a la empresa, sino que también crea un entorno laboral más estable y predecible para el personal de mantenimiento.

En cuanto al contrato del personal de mantenimiento, la introducción de un sistema de mantenimiento predictivo podría cambiar la dinámica laboral. Si bien la reducción de las intervenciones no planificadas puede disminuir la necesidad de horas extraordinarias, la disponibilidad de datos en tiempo real puede permitir una asignación más eficiente de recursos humanos, minimizando la necesidad de trabajo fuera del horario regular. Esto no solo impacta positivamente en el equilibrio entre trabajo y vida personal de los empleados, sino que también puede mejorar la moral y la satisfacción laboral al ofrecer un ambiente de trabajo más predecible. En este contexto, la viabilidad social de un plan de mantenimiento predictivo se traduce en una gestión más equitativa del tiempo de trabajo del personal de mantenimiento, mejorando la calidad de vida laboral y fortaleciendo la cohesión dentro de la organización.

CONCLUSIONES

La efectividad total del equipo tiene se ve afectada por su estado de “condición”, este al presentar anomalías o estados de operación en el caso del estudio la vibración, la presión, la temperatura, el voltaje, la corriente y el flujo másico para monitorear la intensidad de trabajo, estos fuera de los estándares conduce a un estado indeseado que tiene repercusiones tanto de producción, calidad, operacional y económicas. Para la presente investigación se realizó una investigación documental para la recopilación de información que presta soporte al entendimiento de la problemática y su solución. Así a su solución se emplearon técnicas y herramientas para el diagnóstico de la problemática como la entrevista que dio información vital para las bases del diagnóstico y por lo tanto en la tesis en general. Por otro lado, con la observación directa se dio a conocer procesos básicos de operación de la máquina tanto como el proceso de mantenimiento y trabajo de la empresa Multi Alimentos Cojedes C.A. en general.

Para el análisis del diagnóstico se comenzó por el estado de la máquina la cual se encontraba en el inicio de la bañera de mantenimiento es decir la de fallo infantil, esto para el estudio signífico una condición irregular para la efectividad del estudio pues hacer el estudio en cierto estado inestable iba a generar resultados alejados a la realidad después de que la máquina se estabilice, por lo que primero se comenzó con una depuración que permitió estudiar la máquina en su estado regular a una tasa de fallos baja. También se utilizó el diagrama causa-efecto, este diagrama permitió apreciar como los fallos se desglosan en sus causas las cuales sirvieron al estudio como su objetivo y de hecho el propósito fundamental de la problemática a tratar en la tesis. Por último, se hizo un estudio de la eficiencia total del equipo para conocer el rendimiento y establece un punto de comparación a futuro.

Para la solución de la problemática y el diseño del plan de mantenimiento predictivo se basó en dos puntos clave, el primero la capacidad para predecir una anomalía en el estado de la máquina la cual se utilizó tres (03) algoritmos para los modelos los cuales fueron redes neuronales artificiales, árbol de decisiones y *k-nearest neighbors* este último el que brindo mejores resultados con una precisión del 90% al igual que los otros indicadores de la matriz de confusión, también presento un mejor tiempo de respuesta, esto en la industria 4.0 es apreciado por la velocidad de respuesta inmediata que brinda el modelo. El segundo punto clave es la respuesta que se brinda al detectar la anomalía, básicamente la respuesta reactiva a la anomalía es el plan de contingencia que brinda los puntos a tratar junto con una ventana de mantenimiento para tratar la anomalía antes de que este empiece a presentar fallas en la máquina.

la implementación de un plan de mantenimiento predictivo en Multi Alimentos Cojedes no solo es económicamente viable, sino que también ofrece beneficios técnicos, ambientales y sociales significativos. Desde una perspectiva económica, la mejora en la efectividad total del equipo (ETE) puede conducir a un aumento en la productividad y la eficiencia, lo que se refleja en un incremento en los ingresos y una reducción de los costos asociados con las fallas no planificadas. Técnicamente, la empresa cuenta con los recursos y capacidades necesarios para implementar el mantenimiento predictivo de manera efectiva, incluyendo herramientas especializadas, personal capacitado y sistemas de información adecuados. Esto garantiza una gestión eficiente de los activos y una reducción del tiempo de inactividad no planificado. Desde una perspectiva ambiental, el mantenimiento predictivo contribuye a la sostenibilidad al reducir la generación de residuos, mejorar la eficiencia energética y prolongar la vida útil de los equipos, lo que a su vez disminuye la necesidad de reemplazar activos y conserva recursos naturales. Finalmente, en términos sociales, la implementación del mantenimiento predictivo

mejora el ambiente laboral al proporcionar estabilidad, previsibilidad y equidad en la asignación de trabajo para el personal de mantenimiento, lo que conlleva a una mejor calidad de vida laboral y fortalece la cohesión organizacional.

RECOMENDACIONES

Se propone realizar un seguimiento detallado de los datos recopilados por el sistema automatizado durante las operaciones diarias, basándose en un formato actual utilizado en la tesis con el objetivo de asegurar la integridad y calidad de los datos. Además, se sugiere estandarizar la información proporcionada por cada departamento para facilitar futuras mejoras en el *script* y centralizar la recolección de datos para un manejo eficiente que permita la intersección de todas las bases de datos, mejorando así el análisis de los parámetros de producción y operatividad.

Esta metodología se puede aplicar otro proceso para optimizar el algoritmo y verificar el comportamiento de los procesos. Se contempla la inclusión de mediciones además de la propuesta de vibración, otras variables de interés para el estudio predictivo como lo son la termografía infrarroja y el ultrasonido industrial en el campo en el estudio para mejorar la caracterización de fallas, así como la incorporación de propiedades y estudios de producción para enriquecer el análisis.

Se propone también la creación de un sistema de alertas dentro del algoritmo para que el personal en campo pueda identificar fallas en los sensores y caracterizar los datos anómalos automáticamente, es decir el modelo proporcionaría la clasificación de la falla en su detección. Para resultados óptimos en este ámbito se sugiere utilizar computadoras de alta gama, preferiblemente con GPU, para garantizar respuestas rápidas sin limitaciones computacionales. Por último, se recomienda mantener el software actualizado para detectar, analizar y caracterizar nuevos comportamientos anómalos durante la operación de la máquina.

REFERENCIAS

- Alvarado, O. (2015). **Gestión de Proyectos Educativos**. Perú: Fondo Editorial UNMSM.
- Balestrini, M. (2006). **Como se elabora el proyecto de investigación**. Séptima edición. Consultores asociados. Venezuela.
- Curcio, S. (2014). **Investigación Cualitativa: Retos e Interrogantes**. Colombia: Editorial Kinesis.
- Dounce Villanueva, E. (2014). **La productividad en el mantenimiento industrial**. México. Grupo Editorial Patria
- Elena G. Popkova y Yulia V. Ragulina (2019) **Industry 4.0: Industrial Revolution of the 21st Century**, página 7.
- F. Guedea M. Macchi E. Sezer, D. Romero y C. Emmanouilidis (2018). **An industry 4.0-enabled low-cost predictive maintenance approach for SMEs**, página 8.
- García S. (2018) **Mantenimiento basado en condición**, pagina 6. Recuperado de https://www.renovetec.com/irim/revista/REVISTA_IRIM_NUMERO10_%20MTO%20BASADO%20EN%20CONDICION.pdf
- John Tukey (1961) **The Future of Data Analysis**.
- Lantz B. (2013). **Machine Learning with R**.
- Li, H., Parikh, D., He, Q., Qian, B., Li, Z., Fang, D., & Hampapur, A. (2014). **Improving rail network velocity: A machine learning approach to predictive maintenance. Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, página 20. <https://doi.org/10.1016/J.TRC.2014.04.013>
- Mago B. y Meza G. (2022) **Plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para la empresa de mantenimiento de bombas centrífugas SERMI BOMBAS 5, C.A.** Informe de pasantía, Universidad José Antonio Páez, Venezuela, Carabobo.
- Manfrè M. (2019) **Creación de un modelo de aprendizaje automático para un Mantenimiento Predictivo de un motor equipado con un eje giratorio**. Trabajo de Maestría, Politécnico de Torino, Italia, Torino.
- Martinez, C. (2017). **Observación directa: características, tipos y ejemplo**, página 1–5. Recuperado de <https://www.lifeder.com/observacion-directa/>.
- Medina, L. (2012). **Método de las Ciencias Sociales**. Barcelona: Editorial Aries.
- Mijares A. y Sánchez J. (2020) **Desarrollo de una herramienta de análisis de datos de producción y operatividad de un grupo de pozos, usando métodos de data science y machine learning** Trabajo de grado especial, Universidad Central de Venezuela, Venezuela, Caracas.

- Morales M. y Zamora M. (2021) **Análisis de Sentimientos y Minería de Opinión sobre Publicaciones en Medios Sociales por venezolanos respecto al Tema de Migración** Trabajo de grado, Universidad Carlos Andrés Bello, Venezuela, Caracas.
- Ocaña, Y., Valenzuela, L., y Garro, L. (2019). **Inteligencia artificial y sus implicaciones en la educación superior. Propósitos y Representaciones, Revista de Psicología educativa.** Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2307-79992019000200021&script=sci_arttext.
- Olivera, Oscar Garcia-Olalla (2020) **Redes neuronales artificiales: Que son y cómo se entrenan Parte I.** Recuperado de <https://www.xeridia.com/blog/redes-neuronales-artificiales-que-son-y-como-seentrenan-parte-i>.
- Palella, S. y Martins, F. (2012) **Metodología de la Investigación Cuantitativa 3ra edición.** Editorial Fedupel. Caracas. Venezuela.
- Pineda B.; De Alvarado E.; De Canales F. (1994) **Metodología de la investigación, manual para el desarrollo de personal de condición, Segunda edición,** página 108.
- Ramírez J. (2023) **Diseño de un plan de mantenimiento para la máquina j21-j22 del área de vulcanizado en la empresa ALICE NEUMÁTICOS C.A.** Informe de pasantía, Universidad José Antonio Páez, Venezuela, Carabobo.
- R. K. Mobley (2002). **An introduction to predictive maintenance.** Elsevier.
- Tamayo y Tamayo, M. (2010). **El Proceso de la Investigación Científica (4° ed) editorial Limusa,** Noriega: México.
- UNE (2018). **13306:2018**

APÉNDICES

Apéndice A

Guía de entrevistas



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL


INSTRUCCIONES PARA EL GUIÓN DE ENTREVISTA

- Indique su función dentro de la empresa
- Proceda a leer detenidamente cada una de las preguntas
- Responda de manera objetiva
- En caso de dudas, consulte con la persona encargada de aplicar el cuestionario

N°	Guion de Entrevista
1	Por lo que usted ha observado, ¿Cómo describiría la condición actual de la máquina?
2	En su conocimiento operacional, ¿Qué tipo de fallas son las más comunes?
3	Desde una perspectiva más amplia ¿Cómo afectan las fallas en el área de envasado a los procesos previos y posteriores ?
4	¿Cuáles son las variables de proceso que se monitorean en la máquina?
5	¿Cómo se utilizan las variables de proceso para ajustar los parámetros de operación?
6	¿Cómo se utiliza la información de las reparaciones correctivas para mejorar el diseño y la operación de la máquina?
7	para garantizar que se realice de manera consistente y efectiva, ¿Cómo se documenta el mantenimiento preventivo en la máquina?
8	¿Cuáles son los repuestos y suplementos necesarios para garantizar el buen funcionamiento de la máquina?
9	Con el fin de encontrar una relación ¿ qué elementos externos a la máquina pueden ser incluidos en su estudio ?

Apéndice B

Validación del instrumento


REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (GUION DE LA ENTREVISTA)

Coloque con una (X), en la alternativa que corresponda según opinión sobre los aspectos planteados.
 anote las observaciones que considere necesario en el recuadro destinado para ello.


Ítems	Redacción de Ítems			Pertinencia de los objetivos		Observaciones
	Clara	Confusa	Tendenciosa	Pertinente	No pertinente	
1	✓			✓		
2	✓			✓		
3	✓			✓		
4	✓			✓		
5	✓			✓		
6	✓			✓		
7	✓			✓		
8	✓			✓		
9	✓			✓		

Fecha: 10/11/2023


 Firma del Especialista:
Angélico Jaramillo

Breve descripción del perfil académico del Especialista:	Ingeniero Industrial, Especialista en Finanzas, Maestría en Higiene y Seguridad Industrial
--	--

Validación del instrumento



REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (GUION DE LA ENTREVISTA)

Coloque con una (X) en la alternativa que corresponda según opinión sobre los aspectos planteados, anote las observaciones que considere necesario en el recuadro destinado para ello.

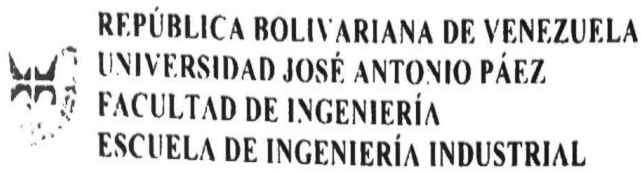
Ítems	Redacción de Ítems			Pertinencia de los objetivos		Observaciones
	Clara	Confusa	Tendenciosa	Pertinente	No pertinente	
1	X			X		
2	X			X		
3	X			X		
4	X			X		
5	X			X		
6	X			X		
7	X			X		
8	X			X		
9	X			X		

Fecha: 10/11/2023


 Firma del Especialista:

Breve descripción del perfil académico del Especialista:	Ingeniero Industrial. Experiencia en Gerencia y Docencia (Educativa).
--	---

Validación del instrumento



VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (GUION DE LA ENTREVISTA)

Coloque con una (X) en la alternativa que corresponda según opinión sobre los aspectos planteados, anote las observaciones que considere necesario en el recuadro destinado para ello.

Ítems	Redacción de Ítems			Pertinencia de los objetivos		Observaciones
	Clara	Confusa	Tendenciosa	Pertinente	No pertinente	
1	/			/		
2	/			/		
3	/			/		
4	/			/		
5	/			/		
6	/			/		
7	/			/		
8	/			/		
9	/			/		

Fecha: 10/11/2023




Firma del Especialista:

Jose Seavedra Tirado

Breve descripción del perfil académico del Especialista:	Ingeniero en Computación
--	--------------------------

APENDICE C

Orden de mantenimiento

	Multi Alimentos Cojedes C.A.	Fecha: _____
	Orden de mantenimiento	N°Orden: _____

Orden de mantenimiento predictivo


Máquina: Braskop 5003/1	
Realizado por:	Jefe de mantenimiento:
Fecha de culminación:	Analista de mantenimiento:
Archivo de prueba:	Supervisor:
Control	

Item	Descripción	Verificación	Código de resultado	Observaciones
1	Vibración A – Motor – Sistema mecánico			
1.1	Verificar reductor			
1.2	Verificar pin de seguridad			
1.3	Verificar correa del motor			
1.4	Verificar motor			
1.5	Verificar rotación de accionamiento			
1.6	Verificar lubricación			
2	Vibración B – Motor del compresor			
2.1	Verificar correa del motor			
2.2	Verificar motor			
2.3	Verificar lubricación			
3	Corriente y voltaje			
3.1	Verificar sistema eléctrico			
4	Temperatura A – Conjunto sellador			
4.1	Verificar temperatura de placa selladora			
4.2	Verificar la resistencia			
4.3	Verificar pirómetro			
5	Temperatura B – Compresor			
5.1	Verificar compresor			
6	Presión A – Sistema neumático			
6.1	Verificar compresor			
6.2	Verificar mangueras			
6.3	Verificar controlador neumático			
7	Presión B – Presión de entrada			
7.1	Verificar controlador neumático			
7.2	Verificar cilindros neumáticos			
7.3	Verificar mangueras			
7.3	Verificar circuito de vacío			

ANEXO

ANEXO A

Plan de mantenimiento preventivo

	Multi Alimentos Cojedes C.A.	
	Identificación: MACMP-001	Tinaquillo, Cojedes
	Título: Plan de mantenimiento preventivo	Fecha: 15/12/2023

PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS			
N°	Parámetros	Valor	Unidad

1	BRASKOP		
2	5003/1		
3	Alimentación neumática	6	kgf/cm ²
4	Alimentación eléctrica trifásica	220/380	Volteos
5	Potencia instalada	2	kW

OBSERVACIONES	
	

INSTRUCCIÓN TÉCNICA			
N°	TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	ESPECIALIDAD

1	Limpieza general	Diaria	Operador
2	Control de nivel del óleo y preparación de aire (Lubrifiil)	Diaria	Operador
3	Limpieza general del filtro de aire	Diaria	Operador
4	Lubricación de las engrasadoras, correas y excéntricos	Semanal	Mecánico
5	Verificación del dosador y del émbolo dosificador	Semanal	Mecánico
6	Verificación del circuito de aspiración de los vasos y tapas	Semanal	Operador
7	Verificación del estado de limpieza de las ventosas	Semanal	Mecánico
8	Control del óleo en el mecanismo de Cruz de Malta	Semestral	Mecánico
9	Control de los retentores	Semestral	Mecánico
10	Verificación general del circuito neumático	Semestral	Mecánico
11	Verificación de las condiciones de los muelles y rodaduras de gui:	Semestral	Mecánico
12	Reapretar todos los tornillos y conexiones de cables	Semestral	Eléctrico
13	Verificación de las llaves fin de curso y de sus fijaciones	Semestral	Eléctrico
14	Verificación de las ligaciones eléctricas de la máquina	Semestral	Eléctrico
15	Control de todos los puntos citados anteriormente	Anual	Todos
16	Efectuar el cambio del óleo de la caja de accionamiento	Anual	Mecánico
17	Cambiar los kits de las válvulas y de los cilindros neumáticos	Anual	Mecánico