

Plan de mantenimiento basado en RCM para el sistema de extrusión de la planta de alimentos de la empresa Incubadora Santander S.A.

Jairo Andrés Useda Vega

Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director

Jose Alfredo Paez Ibañez

Ing. Mecánico

Esp. En Gerencia de Mantenimiento

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bucaramanga

2025

Dedicatoria

A Dios, por haberme permitido culminar una etapa más en mi formación profesional, dándome la fortaleza y sabiduría para superar los desafíos.

A mis padres, Jairo Useda Castaño y Alba Luz Vega Ayala, por su amor incondicional, su apoyo inquebrantable y ser mi inspiración constante. Cada uno de sus sacrificios y esfuerzos han sido el motor que me impulsó a alcanzar esta meta.

A mi familia, por su cariño, comprensión y compañía. Son el pilar fundamental que me sostiene, y este logro es tan suyo como mío.

Agradecimientos

A la Universidad Industrial de Santander (UIS), por ser el hogar académico que me abrió las puertas al conocimiento, dándome las herramientas y la formación necesaria para este logro profesional.

A la empresa Incubadora Santander, por brindarme la oportunidad de desarrollarme profesional y personalmente, y por ser el espacio donde pude aplicar los conocimientos adquiridos en este trabajo de grado.

Al ingeniero José Alfredo Páez, por su invaluable dirección. Sus orientaciones fueron fundamentales para la culminación exitosa de esta investigación.

A mi equipo de Mantenimiento, por su apoyo incondicional, compromiso y colaboración. Su labor ha sido esencial para llevar a cabo este proyecto.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	10
1. Objetivos	12
1.1 Objetivo General.....	12
1.2 Objetivos Específicos	12
2. Descripción del problema	13
2.1 Planteamiento del Problema	13
3. Justificación.....	14
4. Marco Referencial	15
4.1 Marco Teórico.....	15
4.2 Marco Conceptual.....	16
4.2.1 RCM	16
4.2.2 Falla Funcional	16
4.2.3 Modo de Falla.....	17
4.2.4 Mantenimiento Preventivo	17
4.2.5 Mantenimiento Correctivo.....	17
4.2.6 Mantenimiento Predictivo	17
4.2.7 Análisis de Criticidad	17
5. Metodología	18
5.1 Estudio del Sistema de Extrusión	18
5.2 Aplicación de la Metodología RCM.....	18
5.3 Diseño del Plan de Mantenimiento RCM.....	18

6. Análisis de la Información	19
6.1 Estudio del Sistema de Extrusión	19
6.1.1 Sistema de Alimentación.....	19
6.1.2 Sistema de Precocinadores 1 y 2	19
6.1.3 Sistema de Embutidor.....	20
6.1.4 Sistema de Compresión	20
6.1.5 Sistema de Enfriamiento.....	20
6.1.6 Tablero Eléctrico	20
6.2 Aplicación de Metodología RCM.....	21
6.2.1 Identificación de Fallas.....	21
6.2.2 Análisis de Criticidad	23
6.3 Desarrollo de plan de Mantenimiento.....	26
7. Conclusiones	33
8. Recomendaciones.....	34

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Fallas más Recurrentes del Sistema de Extrusión	22
Tabla 2 Factores ponderados para sistema de extrusión.....	24
Tabla 3 Valores ponderados para cada sistema	24
Tabla 4 Tabla de cálculo de criticidad de los sistemas de extrusión	25
Tabla 5 Frecuencia de falla vs Consecuencia de falla	25
Tabla 6 Estado de criticidad de los sistemas de extrusión	26
Tabla 7 FMEA sistemas de extrusión	27
Tabla 8 Plan de mantenimiento de sistema de extrusión	30

Glosario

Análisis de criticidad: Proceso de clasificación que asigna niveles de importancia a equipos según su impacto operacional, permitiendo la priorización de los recursos de mantenimiento.

Consecuencia de falla: Valor que se obtiene al sumar el impacto de una falla en tres aspectos clave: la flexibilidad operacional, el impacto directo en la operación y los riesgos de seguridad/medio ambiente.

Falla Funcional: Ocurre cuando un activo deja de cumplir su función requerida.

FMEA (Failure Mode and Effects Analysis): Metodología que permite identificar las fallas potenciales, sus causas y las consecuencias dentro del contexto operacional de cada uno de los sistemas.

Frecuencia de falla: Cantidad de veces que un sistema falla en un periodo de tiempo determinado.

Frijol soya: Materia prima que se utiliza en el sistema de extrusión.

Modo de falla: Evento que conduce a una falla funcional.

Mantenimiento Preventivo: Intervenciones programadas que tienen como fin reducir la probabilidad de falla.

RCM: Mantenimiento centrado en confiabilidad.

Sistema de extrusión: Proceso que somete la materia prima a condiciones controladas de temperatura y presión para su cocción, garantizando la calidad del producto, asegurando el valor nutricional del alimento.

Resumen

Título: Plan de mantenimiento basado en RCM para el sistema de extrusión de la planta de alimentos de la empresa Incubadora Santander S.A.

Autor: Jairo Andrés Useda Vega

Palabras Clave: RCM, FMEA, Sistemas de extrusión

Descripción:

Este trabajo de grado ha diseñado un plan de mantenimiento basado en la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) para optimizar la gestión de los activos del sistema de extrusión en la planta de alimentos de la empresa Incubadora Santander S.A. El propósito central del estudio ha sido abordar la problemática de las paradas no programadas y la limitada disponibilidad del sistema, las cuales generaban pérdidas de producción, altos costos por mantenimientos correctivos y riesgos de seguridad. La investigación ha logrado identificar y priorizar los principales sistemas del equipo de extrusión, determinando las fallas funcionales y los modos de falla que impactan directamente en el desempeño operacional.

Se ha empleado una metodología estructurada en tres fases. En primer lugar, se ha realizado un estudio detallado del sistema de extrusión, recopilando información técnica y el conocimiento empírico del personal. Posteriormente, se ha aplicado el análisis de modos y efectos de falla (FMEA) y un análisis de criticidad, lo que ha permitido jerarquizar los sistemas y establecer que el sistema de compresión es el más crítico para la operación, con un índice de 95. Este análisis ha servido como base para el diseño del plan de mantenimiento, que ha priorizado las intervenciones en los componentes más relevantes.

Como resultado, se ha diseñado un plan de mantenimiento proactivo, enfocado en reducir la probabilidad de fallas graves y mejorar la disponibilidad del equipo. El plan incluye actividades como inspecciones, lubricación y ajustes, así como el reemplazo de componentes en frecuencias preestablecidas. En conclusión, la aplicación del RCM ha demostrado ser una herramienta efectiva para la gestión de mantenimiento, logrando una mejora en la seguridad, la eficiencia operativa y una reducción de costos.

* Trabajo de Grado

**Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Jose Alfredo Paez Ibañez. Especialista en Gerencia de Mantenimiento.

Abstract

Title: RCM-based maintenance plan for the extrusion system at the food plant of Incubadora Santander S.A.

Author(s): Jairo Andrés Useda Vega

Key Words: RCM, FMEA, Extrusion Systems

Description:

This thesis has designed a maintenance plan based on the Reliability-Centered Maintenance (RCM) methodology to optimize the management of extrusion system assets at the food plant of Incubadora Santander S.A. The main purpose of the study was to address the problem of unscheduled downtime and limited system availability, which led to production losses, high corrective maintenance costs, and safety risks. The research identified and prioritized the main systems of the extrusion equipment, determining the functional failures and failure modes that directly impact operational performance.

A three-phase methodology was employed. First, a detailed study of the extrusion system was conducted, gathering technical information and empirical knowledge from staff. Subsequently, a failure mode and effects analysis (FMEA) and a criticality analysis were applied, which made it possible to rank the systems and establish that the compression system is the most critical for operation, with an index of 95. This analysis served as the basis for the design of the maintenance plan, which prioritized interventions on the most relevant components.

As a result, a proactive maintenance plan has been designed, focused on reducing the probability of serious failures and improving equipment availability. The plan includes activities such as inspections, lubrication, and adjustments, as well as the replacement of components at pre-established frequencies. In conclusion, the application of RCM has proven to be an effective tool for maintenance management, achieving improved safety, operational efficiency, and cost reduction.

* Degree Work

**School of Mechanical Engineering. Specialization in Maintenance Management. Advisor: Jose Alfredo Paez Ibañez. Maintenance Management Specialist.

Introducción

La planta de alimentos de Incubadora Santander S.A., con una capacidad de 500 toneladas diarias, opera bajo una exigencia constante para garantizar una producción continua y de alta calidad. En este contexto, el sistema de extrusión es fundamental para el procesamiento de los insumos. La soya, en particular, es un componente crítico y esencial en casi todas las fórmulas de alimento balanceado avícola. Este ingrediente es la principal fuente de proteína y aminoácidos para el desarrollo de las aves y la producción de huevos. Un procesamiento eficiente de la soya es vital para maximizar su valor nutricional, asegurando así que el alimento final cumpla con los estándares de calidad requeridos.

No obstante, su desempeño se ve comprometido por una disponibilidad limitada debido a paradas no programadas y fallas que afectan la calidad del producto. Esta problemática no solo genera pérdidas de producción y altos costos asociados a mantenimientos correctivos, sino que también incrementa los riesgos de seguridad

La presente investigación busca abordar esta problemática. La pregunta que guió el estudio fue: ¿Es posible implementar un plan de mantenimiento basado en RCM que permita optimizar la disponibilidad del sistema de extrusión de la planta de alimentos de la empresa Incubadora Santander S.A.?

El propósito de este trabajo es diseñar un plan de mantenimiento basado en RCM que permita reducir las fallas y aumentar la disponibilidad del sistema de extrusión. La hipótesis central es que la aplicación de esta metodología, al enfocarse en los modos de falla y sus

consecuencias, optimiza la gestión del mantenimiento, priorizando los sistemas más críticos y mejorando el desempeño operacional.

La justificación de la investigación reside en la importancia de resolver un problema que tiene un impacto directo en la producción, la economía y la seguridad física de la compañía. Adicionalmente, la investigación busca contribuir a una cultura de mantenimiento más proactiva y segura para el personal, lo cual puede ser replicado en otros sistemas de la planta.

Para alcanzar estos objetivos, se utilizó un enfoque metodológico estructurado en tres fases: un diagnóstico inicial del sistema de extrusión, la aplicación de herramientas como el análisis de modos y efectos de falla (FMEA) y el análisis de criticidad. Finalmente el diseño de un plan de mantenimiento basado en los hallazgos.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Diseñar un plan de mantenimiento basado en RCM que permita reducir las fallas y aumentar la disponibilidad del sistema de extrusión de la planta de alimentos de la empresa Incubadora Santander S.A.

1.2 Objetivos Específicos

Identificar los principales sistemas, subsistemas y componentes que hacen parte del funcionamiento del sistema de extrusión.

Determinar las fallas funcionales y sus modos de falla del sistema de extrusión, y analizar sus efectos y consecuencias.

Diseñar un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM para el sistema de extrusión.

2. Descripción del problema

2.1 Planteamiento del Problema

Incubadora Santander S.A dentro de sus sedes de trabajo cuenta con la planta de alimentos ubicada en la granja Egipto, con una capacidad de producción de 500 Ton/día, cuya función es garantizar la producción continua y de calidad para las aves en sus diferentes etapas de desarrollo.

Cabe destacar que esta planta opera de manera automatizada y está compuesta por diversos equipos de transporte mecánico, tales como tornillos transportadores, bazucas, elevadores de cangilones, silos de almacenamiento y descarga, además de sistemas críticos como el de extrusión, molinos, tolvas de dosificación, sistemas de pesaje, mezclado y peletizado.

Particularmente, el sistema de extrusión constituye un activo fundamental en el proceso productivo del alimento. No obstante, su operación puede verse comprometida por una disponibilidad limitada, ocasionada por paradas no programadas, fallas en la calidad del producto o disminuciones en la capacidad de producción, lo que conduce a desempeños por debajo de su rendimiento óptimo.

Estas paradas no solo representan una pérdida de producción, sino que también generan altos costos asociados a mantenimientos correctivos, riesgo de seguridad por atascamiento o fugas de vapor, e impacto ambiental por pérdida de producto. Estos factores llevan a plantear la aplicación de una metodología RCM al sistema de extrusión, que permitirá minimizar las paradas

no programadas, mejorar su disponibilidad, asegurar el estándar de calidad del producto, fortalecer la seguridad operativa y mitigar el impacto ambiental.

3. Justificación

La producción de alimento balanceado de calidad y el cumplimiento de la dieta de las aves, es necesaria para la producción de huevo, por lo tanto el diseño de un plan de mantenimiento basado en RCM, permitirá reducir fallas y aumentará la disponibilidad del sistema de extrusión, su vida útil, reduciendo costos operativos y de mantenimiento.

La capacidad de producción de la planta de alimentos exige una alta disponibilidad de sus equipos, una parada en su sistema de extrusión se traduce en pérdidas de producción y económicas para la compañía. Un sistema de extrusión disponible asegura el cumplimiento de los objetivos de la producción y la demanda de alimento para las aves por lo tanto impacta a la eficiencia general de la planta.

Un plan de mantenimiento basado en RCM permite identificar las fallas y sus modos de falla y diseñar estrategias de mantenimiento que aborden los modos de fallas. Por lo tanto un plan basado en RCM asegura que el personal de mantenimiento y sus recursos se utilicen de formas más eficientes y planificadas, contribuyendo a un ambiente de trabajo seguro del personal de operación y mantenimiento, minimizando las fallas de seguridad y su exposición a condiciones peligrosas.

El plan propuesto brinda una cultura de mantenimiento más proactiva y orientada a la mejora continua dentro del equipo de mantenimiento, por lo tanto sirve como aporte metodológico para ser replicado en los demás sistemas de la planta y/o de la empresa.

4. Marco Referencial

4.1 Marco Teórico

En el desarrollo de este trabajo de grado, y a partir de la experiencia en plantas de producción de alimento balanceado, se evidencia que los conceptos de confiabilidad y disponibilidad son decisivos para la continuidad productiva y el desempeño económico de la operación. La confiabilidad describe la probabilidad de que un activo cumpla la función para la cual fue diseñado durante el tiempo planeado (Mobley, 2002). La disponibilidad, por su parte, es la proporción del tiempo planeado en que el equipo realmente está en condición operativa cuando se le necesita (Smith, 2011).

Desde la perspectiva de la gerencia de mantenimiento, sostener niveles altos de disponibilidad requiere tomar decisiones informadas sobre dónde invertir tiempo, personal y presupuesto. Las metodologías estructuradas ayudan a priorizar; entre ellas, el enfoque de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) ha ganado amplio uso porque obliga a relacionar funciones, modos de falla y consecuencias antes de definir tareas (Moubray, 1997). El análisis desarrollado para esta monografía, ese marco resulta especialmente útil porque la extrusora es un cuello de botella del proceso: cuando se detiene, obliga el cambio en la formulación del alimento.

El RCM también incentiva un equilibrio práctico entre lo técnico y lo económico: no todo debe inspeccionarse ni reemplazarse de forma anticipada; las tareas deben justificarse por la criticidad, el modo de falla y el costo de no intervenir (Wireman, 2020). Así, se evita sobremantenimiento y se concentran recursos en lo que realmente afecta seguridad, ambiente, calidad o producción.

En el caso específico de la industria avícola, el proceso de extrusión es crítico dentro de la producción de alimentos balanceados. Este proceso consiste en someter los ingredientes a condiciones controladas de temperatura y presión, lo cual permite su cocción y garantiza una calidad adecuada del producto final. Un funcionamiento eficiente del sistema de extrusión es esencial para asegurar el valor nutricional del alimento y la productividad del proceso industrial.

4.2 Marco Conceptual

4.2.1 RCM

Metodología estructurada que relaciona funciones, fallas potenciales, consecuencias y tareas de mantenimiento para asegurar que el equipo cumpla su rol en operación. En este trabajo se aplicará al sistema de extrusión para priorizar intervenciones que sostengan disponibilidad y confiabilidad (Moubray, 1997).

4.2.2 Falla Funcional

Cuando un activo deja de cumplir una función requerida o lo hace fuera de tolerancias aceptables (ISO 14224, 2016).

4.2.3 Modo de Falla

Evento o mecanismo específico que conduce a la falla funcional (ISO 14224, 2016).

4.2.4 Mantenimiento Preventivo

Intervenciones programadas (inspecciones, lubricación, ajustes, recambios por tiempo/uso) destinadas a reducir la probabilidad de falla (Wireman, 2020).

4.2.5 Mantenimiento Correctivo

Acción reactiva posterior a una avería o degradación significativa; busca restablecer el servicio en el menor tiempo posible y recuperar parámetros de proceso (Moblely, 2002).

4.2.6 Mantenimiento Predictivo

Uso de monitoreo de condición (vibraciones, temperatura, ultrasonido, análisis de aceite) para anticipar fallas y programar intervenciones justo a tiempo (Moblely, 2002).

4.2.7 Análisis de Criticidad

Proceso de clasificación que asigna niveles de importancia a equipos según consecuencias en seguridad, ambiente, calidad y producción; guía la priorización de recursos de mantenimiento (Smith, 2011).

5. Metodología

5.1 Estudio del Sistema de Extrusión

Se recopilará y se analizará la información técnica de los sistemas, subsistemas, componentes y su funcionamiento en el proceso de extrusión de la planta de alimentos de la empresa Incubadora Santander S.A, esto incluye la revisión de manuales, observación directa del equipo y recopilar los conocimientos empíricos del personal operativo y de mantenimiento.

5.2 Aplicación de la Metodología RCM

Una vez recopilada la información, se procederá a aplicar la metodología RCM, identificando las fallas funcionales y aplicando la metodología FMEA, basado en el histórico de fallas del sistema y la información suministrada por el personal operativo y de mantenimiento, se evaluarán las consecuencias de cada modo de falla en términos de su impacto en la seguridad, el medio ambiente, las operaciones y los costos, lo que permitirá establecer su criticidad y priorizar las tareas de mantenimiento más apropiadas para cada uno de los subsistemas del proceso de extrusión.

5.3 Diseño del Plan de Mantenimiento RCM

Con base en los análisis anteriores, se diseñará un plan de mantenimiento específico para el sistema de extrusión. Este plan incluirá las tareas de mantenimiento propuestas para cada uno de los sistemas, especificando el tipo de mantenimiento y su frecuencia, que tendrá como objetivo la reducción de las fallas y aumentar la disponibilidad del proceso de extrusión.

6. Análisis de la Información

6.1 Estudio del Sistema de Extrusión

Los sistemas de extrusión son equipos esenciales para la producción de soya extruida. Están diseñados para someter la materia prima a altas temperaturas y presiones, logrando una cocción completa y controlada. Este proceso no solo mejora la calidad nutricional al aumentar la disponibilidad de nutrientes, sino que también optimiza la eficiencia de la producción.

Para el estudio de los equipos del sistema de extrusión, se han identificado varios subsistemas. Estos componentes son los más relevantes en el proceso operativo y su funcionamiento coordinado es fundamental para el procesamiento de la materia prima.

6.1.1 Sistema de Alimentación

El sistema de alimentación es el punto inicial del proceso, incluye un motorreductor, transmisión de potencia de cadena y un transportador helicoidal. Su función principal consiste en la dosificación de frijol soya molido de manera controlada y uniforme. El flujo constante al sistema de precocinadores permite la estabilidad del proceso y garantiza la calidad del producto final.

6.1.2 Sistema de Precocinadores 1 y 2

Este sistema prepara la soya antes de la extrusión. Cuentan con motorreductores, chumaceras, sinfines tipo paleta y transmisión de potencia por cadena. Su función principal es desplazar la soya molida y realizar una precocción mediante la inyección directa de vapor.

6.1.3 Sistema de Embutidor

El sistema de embutidor comprime la soya de manera progresiva, está compuesto por un motorreductor y un sinfín. Su función principal es transportar el material densificado hacia la cámara de compresión donde tendrá lugar su cocción final.

6.1.4 Sistema de Compresión

Este es el sistema principal del sistema de extrusión. Está compuesto por un motor de 125HP que impulsa el eje principal a través de una transmisión por correa, junto con los sinfines y los platos retenedores, crean la presión y fricción necesaria para la cocción de la soya. La cocción se logra mediante la retención interna del material. Finalmente, la boquilla de salida y el trompo dan forma al producto y permiten su descompresión.

6.1.5 Sistema de Enfriamiento

Este sistema está compuesto por un motorreductor, transmisión de potencia por cadena y un cilindro rotativo con deflectores internos. Su función principal es estabilizar la soya extruida, mediante la rotación del cilindro y el movimiento de los deflectores reducen la temperatura de la soya.

6.1.6 Tablero Eléctrico

Es el centro de control del sistema. Entre sus componentes están los pulsadores, contactores, relés térmicos, guardamotores y variadores de velocidad. Su función principal es la protección, arranque y control eléctrico de los diferentes motores del sistema.

6.2 Aplicación de Metodología RCM

6.2.1 Identificación de Fallas

La identificación de las fallas más recurrentes en el sistema de extrusión se basó en una metodología dual. Se comenzó con la revisión del histórico de averías y reportes de mantenimiento de los años 2024 y 2025. Este análisis se complementó con la realización de grupos de trabajo con el personal de mantenimiento y los operadores, quienes aportaron su experiencia y conocimiento sobre las fallas que no solo son más frecuentes, sino que también ocasionaron un mayor impacto en la disponibilidad y la eficiencia operativa.

Tabla 1 Fallas más Recurrentes del Sistema de Extrusión

Sistema	Tipo de Falla	Modo de falla	Tiempo de paro (Horas)
Alimentación	Transportador helicoidal no operativo	Falla de rodamientos de la chumacera	1
Alimentación	Sistema no dosifica	Desalineación sistema de transmisión de potencia	0,5
Precocinadores	Daño de sinfines	Daño en paletas por sobrecarga de producto	2
Precocinadores	Sistema no realiza la precocción	Ruptura de la línea de vapor	1,5
Embutidor	El producto no se comprime	Daño en sinfín, ingreso de vapor al sistema, contaminación por lubricante	6
Compresión	Fractura de trompo	Atascamiento del sistema debido a la presencia de material rígido en la boquilla.	3
Compresión	Daño en rodamiento axial	Ingreso de producto por el retén del rodamiento	12
Compresión	Falla del sistema	Daño en chumacera principal por sobrecarga, aumentando su temperatura y provocando daño en sus partes rodantes	6
Enfriamiento	Falla del sistema	Daño en chumacera principal, eje principal desgastado	4
Eléctrico	Equipo no enciende	Cables expuestos, sobrecargas en las líneas	1

Nota: La tabla 1 corresponde a las fallas recurrentes que se encuentran en el sistema de extrusión dentro de su entorno operacional. Fuente: Elaboración propia.

6.2.2 Análisis de Criticidad

La priorización de los sistemas críticos en la extrusora se determina mediante un análisis de criticidad. Esta metodología, que se fundamenta en la evaluación de la frecuencia de fallas y sus consecuencias operacionales, permite jerarquizar los sistemas. Para su aplicación, se emplean criterios estandarizados y se analiza el histórico de fallas, lo cual proporciona los datos cuantitativos esenciales para el estudio. El indicador de criticidad será definido por la siguiente ecuación

$$\text{Criticidad} = \text{FF} \times \text{CF}$$

FF= Frecuencia de falla

CF= Consecuencia de falla

Para el cálculo de la consecuencia de falla se definieron los siguientes criterios y valores ponderados ajustados a la operación del sistema de extrusión.

$$\text{CF} = \text{FO} + \text{IO} + \text{SMA}$$

Tabla 2 Factores ponderados para sistema de extrusión

Frecuencia de falla (FF)	Menos de 2 fallas al año	1
	Entre 2 a 6 fallas al año	3
	Mayor a 6 fallas al año	5
Impacto Operacional (IO)	Tiempo de paro entre 0 a 2 horas	2
	Tiempo de paro entre 2 a 5 horas	4
	Tiempo de paro mayor a 6 horas	6
Flexibilidad Operacional (FO)	Se cuenta con stock de repuesto, el equipo puede seguir operando	1
	Se cuenta con stock de repuesto, el equipo no puede seguir operando	3
	No se cuenta con stock de repuestos y el equipo no puede seguir operando	5
Seguridad y medio ambiente (SMA)	Sin riesgo de seguridad o medio ambiente	1
	Riesgo menor para el personal y medio ambiente	6
	Riesgo de accidente grave o impacto ambiental	10

Nota: La tabla 2 define los criterios y sus valores ponderados para el cálculo de criticidad de los sistemas de extrusión. Fuente: Elaboración propia

Tabla 3 Valores ponderados para cada sistema

Sistema	FF	FO	IO	SMA
Alimentación	3	3	2	1
Precocinadores	5	3	2	6
Embutidor	3	3	6	6
Compresión	5	3	6	10
Enfriamiento	1	1	4	6
Eléctrico	3	3	2	1

Nota: La tabla 3 presenta los valores de ponderación asignados a cada sistema de extrusión, los cuales son empleados para el cálculo de criticidad. Fuente: Elaboración propia

Tabla 4 Tabla de cálculo de criticidad de los sistemas de extrusión

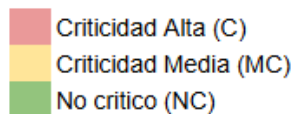
Sistema	FF	CF	C
Alimentación	3	6	18
Precocinadores	5	11	55
Embutidor	3	15	45
Compresión	5	19	95
Enfriamiento	1	11	11
Eléctrico	3	6	18

Nota: La tabla 4 presenta la ponderación del cálculo de criticidad en los sistemas de extrusión. Fuente: Elaboración propia

Con los valores calculados en la tabla 4 podemos determinar la matriz de riesgo para la evaluación de los sistemas de extrusión

Tabla 5 Frecuencia de falla vs Consecuencia de falla

Frecuencia de falla	5	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150		
	4	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100	104	108	112	116	120		
	3	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90		
	2	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60		
	1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
	Consecuencia de falla																												



Nota: La tabla 5 corresponde a la matriz de criticidad, de acuerdo a los cálculos de criticidad de los sistemas de extrusión. Fuente: Elaboración propia.

Con base en la matriz de criticidad realizada en la tabla 5, se determina el estado de criticidad de los sistemas de extrusión

Tabla 6 Estado de criticidad de los sistemas de extrusión

Sistema	C	Estado
Alimentación	18	NC
Precocinadores	55	MC
Embutidor	45	MC
Compresión	95	C
Enfriamiento	11	NC
Eléctrico	18	NC

La tabla 6 presenta el cálculo del índice de criticidad para los sistemas de extrusión, con este análisis podemos identificar el nivel de criticidad de cada sistema y priorizar las actividades de mantenimiento preventivo. Fuente: Elaboración propia

6.3 Desarrollo de plan de Mantenimiento

Con el propósito de determinar y priorizar las estrategias de mantenimiento, es imprescindible realizar un análisis de modos y efectos de fallas (FMEA). Esta metodología permite identificar las fallas potenciales, sus causas y las consecuencias en el contexto operacional de cada uno de los sistemas de extrusión.

Tabla 7 FMEA sistemas de extrusión

Sistema	Función	Tipo de Falla	Modo de falla	Efectos de Falla
Alimentación	Dosificación de materia prima de manera controlada y uniforme	Transportador helicoidal no operativo	Falla de rodamientos de la chumacera	Interrupción de la alimentación de la materia prima, impidiendo la continuidad del proceso
		Sistema no dosifica	Desalineación sistema de transmisión de potencia	Desgaste del sistema de transmisión de potencia, generando la inoperatividad del equipo
Precocinadores	Precocción de la materia prima mediante la inyección directa de vapor	Daño de sinfines	Daño en paletas por sobrecarga de producto	Afecta el funcionamiento del sistema y su transmisión de potencia del sistema, generando inoperatividad del equipo
		Sistema no realiza la precocción	Ruptura de la línea de vapor	Afectación de la calidad de la materia prima
Embutidor	Transporte de la materia prima densificado hacia el sistema de compresión	El producto no se comprime	Daño en sinfín, ingreso de vapor al sistema, contaminación por lubricante	Interrupción de la alimentación de la materia prima al sistema de compresión, generando atascamientos e inoperatividad del equipo

Compresión	Cocción final de la materia prima y entrega por medio de la boquilla de salida al sistema de enfriamiento	Fractura de trompo	Atascamiento del sistema debido a la presencia de material rígido en la boquilla.	Inoperatividad del equipo y riesgo grave de seguridad física en los operarios
		Daño en rodamiento axial	Ingreso de producto por el retén del rodamiento	Reducción de la capacidad de trabajo del equipo y aumento de tiempos de operación. Riesgo de daño en los demás componentes del sistema de compresión
		Falla del sistema	Daño en chumacera principal por sobrecarga, aumentando su temperatura y provocando daño en sus partes rodantes	Inoperatividad del equipo, genera riesgo de daños en los demás componentes del sistema que puede aumentar tiempos de parada y costos de mantenimiento
Enfriamiento	Reducir la temperatura de la materia prima extruida	Falla del sistema	Daño en chumacera principal, eje principal desgastado	Reducción de la capacidad de trabajo del equipo, aumentando tiempos de operación y afecta la calidad de la materia prima
Eléctrico	Protección, arranque y control eléctrico de los sistemas	Equipo no enciende	Cables expuestos, sobrecargas en las líneas	Inoperatividad del equipo y riesgo de seguridad física del personal

Nota: La tabla 7 se refiere a la metodología FMEA de los sistemas de extrusión. Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la información presentada en la tabla 7, derivados de la metodología FMEA, se establece una base sólida para la estructuración del plan de mantenimiento. Este enfoque permite definir la prioridad de las intervenciones a realizar en cada uno de los sistemas, basándose en el nivel de criticidad de los sistemas.

Tabla 8 Plan de mantenimiento de sistema de extrusión

Plan de mantenimiento de sistema de extrusión						
Sistema	Actividad	Frecuencia	Duración	Prioridad	Tipo de Mantenimiento	Responsable
Primer nivel	Verificación de ruidos anormales	Semanal	00 h 10 m	Alta	Mecánica	Operario
	Revisión de niveles de aceite	Semanal	00 h 10 m	Alta	Lubricación	Operario
	Limpieza de precocinadores	Semanal	00 h 30 m	Alta	Mecánica	Operario
	Limpieza de dosificador	Semanal	00 h 30 m	Alta	Mecánica	Operario
	Limpieza de motores	Semanal	00 h 20 m	Alta	Mecánica	Operario
	Limpieza de embutidor	Semanal	00 h 30 m	Alta	Mecánica	Operario
	Verificación de estado de pintura y estructura	Semanal	00 h 10 m	Alta	Mecánica	Operario
	Lubricación de cadenas y chumaceras	Semanal	00 h 30 m	Alta	Lubricación	Operario
Alimentación	Inspección y verificación del sistema de transmisión de potencia	1 mes (es)	00 h 30 m	Baja	Mecánica	Técnico
	Inspección de sinfín	1 mes (es)	00 h 30 m	Baja	Mecánica	Técnico
	Inspección de chumaceras	1 mes (es)	00 h 30 m	Baja	Mecánica	Técnico
Precocinadores	Inspección y verificación de transportador	1 mes (es)	00 h 30 m	Media	Mecánica	Técnico
	Inspección de eje principal y paletas del sinfín	1 mes (es)	00 h 30 m	Media	Mecánica	Técnico
	Inspección de chumaceras	1 mes (es)	00 h 30 m	Media	Mecánica	Técnico
	Inspección y verificación del sistema de transmisión de potencia	1 mes (es)	00 h 30 m	Media	Mecánica	Técnico
	Realizar mantenimiento sistema de transmisión de potencia	12 mes (es)	03 h 00 m	Media	Mecánica	Técnico
	Inspección y verificación de rupturas o fugas en la línea de vapor	1 mes (es)	00 h 30 m	Media	Mecánica	Técnico
Embutidor	Inspección y verificación de funcionamiento de motorreductor	1 mes (es)	00 h 40 m	Media	Mecánica	Técnico

	Inspección de eje principal y sinfín	1 mes (es)	00 h 30 m	Media	Mecánica	Técnico
	Cambio de sinfín	24 mes (es)	03 h 00 m	Media	Mecánica	Técnico
	Realizar mantenimiento motorreductor	12 mes (es)	36 h 00 m	Media	Mecánica/Eléctrica	Proveedor
Compresión	Inspección y verificación de estado de platos retenedores	1 mes (es)	00 h 30 m	Alta	Mecánica	Técnico
	Inspección y verificación de estado sinfines	1 mes (es)	00 h 30 m	Alta	Mecánica	Técnico
	Inspección y verificación de estado de camisas	1 mes (es)	00 h 30 m	Alta	Mecánica	Técnico
	Inspección y verificación de estado eje principal	1 mes (es)	00 h 30 m	Alta	Mecánica	Técnico
	Revisar y/o cambiar trompo	1 mes (es)	00 h 20 m	Alta	Mecánica	Técnico
	Inspección y verificación de estado de boquilla	1 mes (es)	00 h 30 m	Alta	Mecánica	Técnico
	Inspección y verificación de estado de rodamiento radial	1 mes (es)	00 h 30 m	Alta	Mecánica	Técnico
	Inspección y verificación de estado de rodamiento axial	1 mes (es)	00 h 30 m	Alta	Mecánica	Técnico
	Inspección y verificación de estado de chumacera principal	1 mes (es)	00 h 30 m	Alta	Mecánica	Técnico
	Inspección y verificación de funcionamiento de sistema de transmisión de potencia volante motriz	1 mes (es)	00 h 30 m	Alta	Mecánica	Técnico
	Inspección y verificación de funcionamiento de sistema de transmisión de potencia volante conducida	1 mes (es)	00 h 30 m	Alta	Mecánica	Técnico
	Inspección sistema de transmisión de potencia correa dentada	1 mes (es)	00 h 30 m	Alta	Mecánica	Técnico
	Revisión de la cámara de aceite	2 semanas	00 h 20 m	Alta	Lubricación	Técnico
	Prueba megger motor principal	6 mes (es)	00 2h 00 m	Alta	Eléctrica	Proveedor
	Mantenimiento mayor del motorreductor	18 mes (es)	36 h 00 m	Alta	Mecánica/Eléctrica	Proveedor
Cambio de retenedores y rodamientos	18 mes (es)	00 3h 00 m	Alta	Mecánica	Técnico	
Cambio de correa dentada principal y rodamientos	24 mes (es)	02 h 00 m	Alta	Mecánica	Técnico	

	Cambio de chumacera principal	24 mes (es)	02 h 00 m	Alta	Mecánica	Técnico
Enfriamiento	Inspección y verificación del sistema de transmisión de potencia	1 mes (es)	00 h 30 m	Baja	Mecánica	Técnico
	Inspección y verificación de estado de eje y sinfín	1 mes (es)	00 h 30 m	Baja	Mecánica	Técnico
	Realizar mantenimiento sistema de transmisión de potencia	12 mes (es)	02 h 00 m	Baja	Mecánica	Técnico
	Cambio de chumaceras y rodamientos	12 mes (es)	02 h 00 m	Baja	Mecánica	Técnico
	Mantenimiento mayor del motorreductor	12 mes (es)	36 h 00 m	Baja	Mecánica/Eléctrica	Proveedor
Eléctrico	Verificación y ajustes de borneras	1 mes (es)	00 h 20 m	Media	Eléctrica	Técnico
	Verificación de protecciones eléctricas	1 mes (es)	00 h 20 m	Media	Eléctrica	Técnico
	Revisión del sistema de control y potencia	1 mes (es)	00 h 20 m	Media	Eléctrica	Técnico
	Verificación de estado de acometida eléctrica	1 mes (es)	00 h 20 m	Media	Eléctrica	Técnico
	Verificación de variadores de frecuencia	1 mes (es)	00 h 20 m	Media	Electrica	Técnico

Nota: La tabla 8 corresponde a las actividades de mantenimiento para cada uno de los sistemas de extrusión. Fuente:

Elaboración propia.

7. Conclusiones

A través de la aplicación de la metodología RCM, se logró identificar y clasificar las fallas funcionales más relevantes del sistema de extrusión. El análisis de criticidad demostró que el componente más crítico para la operación, con un 16.6% del total de los sistemas, es el sistema de compresión. Por su parte, el 33.3% de los sistemas se clasificaron como de criticidad media y el 50.1% restante como de baja criticidad. Esta priorización es fundamental para enfocar los recursos de mantenimiento en los sistemas que tienen el mayor impacto en la disponibilidad y la seguridad.

La aplicación del RCM permitió relacionar las fallas con sus modos de falla y consecuencias, se diseñaron estrategias de mantenimiento proactivas, como el mantenimiento preventivo y tareas de primer nivel; que no solo reducen los costos operativos y de mantenimiento, sino que también mejoran la vida útil del equipo

El plan de mantenimiento propuesto está diseñado para asegurar el estándar de calidad del producto, fortalecer la seguridad operativa y mitigar el impacto ambiental. Las tareas de mantenimiento definidas, especialmente para el sistema de compresión, apuntan directamente a reducir la probabilidad de fallas graves que afectan la disponibilidad y minimizan la exposición del personal a condiciones peligrosas, promoviendo una cultura de trabajo más segura.

El trabajo evidencia que una metodología estructurada como el RCM es aplicable al contexto de la industria avícola. El plan de mantenimiento desarrollado para el sistema de extrusión puede servir como un modelo metodológico para ser replicado en otros sistemas

críticos dentro de la planta de alimentos o en otras sedes de la empresa, contribuyendo a la mejora continua y a la eficiencia general.

8. Recomendaciones

La efectividad del plan de mantenimiento propuesto depende de un cambio cultural hacia un enfoque proactivo. Se recomienda establecer programas de capacitación formal para el personal operativo y de mantenimiento, centrados en la identificación de fallas y la aplicación de la metodología RCM. Este fortalecimiento de capacidades no solo mejora la ejecución del plan en el sistema de extrusión, sino que también establece un modelo de mejora continua que puede ser replicado en otros equipos críticos de la planta, maximizando así los beneficios a nivel empresarial.

Referencias Bibliográficas

ISO 14224. (2016). Petroleum, petrochemical and natural gas industries-Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. International Organization for Standardization

Mobley, R. K. (2002). An introduction to predictive maintenance (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.

Moubray, J. (1997). Reliability-centered maintenance (2nd ed.). Industrial Press.

Smith, A. M. (2011). Reliability-centered maintenance: Implementation made simple. McGraw-Hill.

Wireman, T. (2020). Preventive maintenance. Industrial Press.