



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA UNA PROPUESTA DE PLAN DE
MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO EN NORMAS
INTERNACIONALES PARA UNA AVÍCOLA PRODUCTORA DE HUEVOS
UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**

Eddy Jacinto Santos Ochoa

Asesorado por MSc. Ing. Daniel Ángel Figueroa García

Guatemala, enero 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA UNA PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO
PREVENTIVO BASADO EN NORMAS INTERNACIONALES DE MANTENIMIENTO PARA
UNA AVÍCOLA PRODUCTORA DE HUEVOS UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE
GUATEMALA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

Eddy Jacinto Santos Ochoa

Asesorado por MSc. Ing. Daniel Ángel Figueroa García

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICISTA

GUATEMALA, ENERO DE 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Ing. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

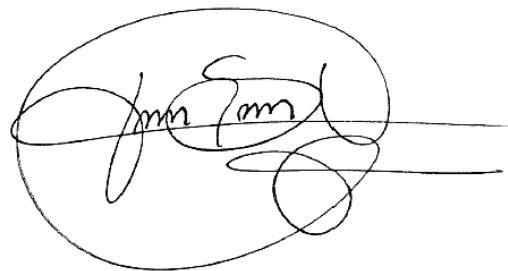
DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Otto Fernando Andrino González
EXAMINADOR	Ing. Jorge Gilberto González Padilla
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA UNA PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO EN NORMAS INTERNACIONALES PARA UNA AVÍCOLA PRODUCTORA DE HUEVOS UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha enero de 2024.

A handwritten signature in black ink, enclosed within a large, roughly circular oval. The signature reads "Eddy Jacinto Santos Ochoa".

Eddy Jacinto Santos Ochoa



EEPFI-PP-2010-2023

Guatemala, 5 de noviembre de 2023

Director

Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica
Presente.

Estimado Mtro. Rivera

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA UNA PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO EN NORMAS INTERNACIONALES PARA UNA AVÍCOLA PRODUCTORA DE HUEVOS UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Normalización del Mantenimiento - Fundamentación de Técnicas de Mantenimiento con Base a Normas Internacionales**, presentado por el estudiante **Eddy Jacinto Santos Ochoa** carné número **200412300**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Artes en Ingeniería De Mantenimiento.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

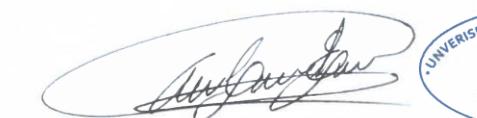

Mtro. Daniel Angel Figueroa García
Asesor(a)

Daniel Angel Figueroa García
Ing. Mecánico Electricista
Colegiado 13087


Mtra. Rocio Carolina Medina Galindo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
ESCUELA DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERIA
DE GUATEMALA

Coordinador(a) de Maestría


Mtra. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DIRECTORA
ESCUOLA DE ESTUDIOS DE
POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERIA

Oficina Virtual



<https://bit.ly/EEP-OficinaVirtual>



solicitudeep@ingenieria.usac.edu.gt

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

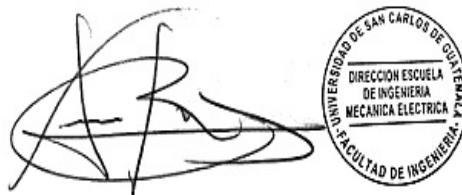


FACULTAD DE INGENIERÍA

EEP-EIME-1746-2023

El Director de la Escuela De Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA UNA PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO EN NORMAS INTERNACIONALES PARA UNA AVÍCOLA PRODUCTORA DE HUEVOS UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Eddy Jacinto Santos Ochoa**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Mtro. Armand Alonso Rivera Carrillo
Director
Escuela De Ingeniería Mecánica Eléctrica

Guatemala, noviembre de 2023



Decanato
Facultad e Ingeniería
24189101- 24189102

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA UNA PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO EN NORMAS INTERNACIONALES PARA UNA AVÍCOLA PRODUCTORA DE HUEVOS UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**, presentado por: **Eddy Jacinto Santos Ochoa** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Firmado electrónicamente por: José Francisco
Gómez Rivera
Motivo: Orden de impresión
Fecha: 28/01/2024 11:13:51
Lugar: Facultad de Ingeniería, USAC.

Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano a.i.

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hídricos (ERIS). Postgrado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Quien siempre ha estado a mi lado, cubriendome con su protección dándome la sabiduría para salir adelante.

Mis padres

Jacinto Santos y Marleny Ochoa por ser un pilar fuerte en cada etapa de mi vida, y por darme su apoyo incondicional, los amo con todo mi corazón.

Mi esposa

Cecilia Fernández, por su apoyo comprensión, las alegrías compartidas, y motivarme para conseguir mis metas, mi amor para ti.

Mi hijo

Renato Santos, por ser mi fuente de inspiración, te amo con todo mi corazón

Mis hermanos

Evelyn y Manolo, Santos, por sus consejos, apoyo y amor que han brindado.

Mis abuelos

Marcial Santos, María García, Hugo Ochoa, Esther Ordoñez, todos Q.E.P.D. por brindarme su amor y sabiduría, un abrazo hasta el cielo.

A toda mi familia

Por su apoyo, consejos y experiencias compartidas, especialmente a mis tíos Gustavo Santos y Elena Santos por brindarme la confianza de compartir muchas alegrías en sus hogares.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser el alma mater fuente de mis conocimientos para el desarrollo de mi carrera profesional.

Facultad de Ingeniería

Por forjar mis conocimientos en sus aulas.

Mi asesor

MSc. Ing. Daniel Ángel Figueroa García por haberme brindado su apoyo y conocimiento para elaborar este diseño de investigación.

Mis amigos

Por su apoyo, consejos y haber compartido alegres experiencias durante mi carrera.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
3.1. Contexto general	9
3.2. Descripción del problema	10
3.3. Delimitación del problema	11
3.4. Formulación del problema	11
3.4.1. Pregunta principal	11
3.4.2. Preguntas secundarias	12
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. OBJETIVOS	15
5.1. General	15
5.2. Específicos	15
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	17
7. MARCO TEÓRICO	21
7.1. Mantenimiento industrial	21
7.1.1. Historia del mantenimiento	21
7.1.1.1. Primera generación	21
7.1.1.2. Segunda generación	22

7.1.1.3. Tercera generación	22
7.1.1.4. Tipos de mantenimiento	23
7.1.1.4.1. Mantenimiento preventivo	23
7.1.1.4.2. Mantenimiento predictivo	24
7.1.1.4.3. Mantenimiento correctivo.....	24
7.2. Gestión de mantenimiento	25
7.2.1. Análisis de criticidad	26
7.2.2. Análisis de riesgo.....	27
7.2.3. Modelo de criticidad semicuantitativo “CTR” (Criticidad total por riesgo).....	28
7.3. Indicadores de mantenimiento.....	29
7.3.1. Indicador de mantenibilidad (MTTR).....	30
7.3.2. Indicador de fiabilidad (MTBF).....	30
7.3.3. Indicador de disponibilidad D.....	31
7.3.4. Costos de mantenimiento	32
7.3.5. Costo de ciclo de vida de un activo (CCV)	33
7.4. Normas internacionales de mantenimiento.....	35
7.4.1. Normas de mantenimiento eléctrico preventivo (MEP) ..	36
7.4.1.1. Beneficios de un mantenimiento eléctrico preventivo	37
7.4.1.2. Herramientas fundamentales para la elaboración de un mantenimiento eléctrico preventivo	38
7.5. Análisis costo-beneficio	39
7.6. Sistema de producción avícola de gallinas ponedoras	41
7.6.1. Historia de la empresa.....	43
7.6.2. Descripción de la planta avícola productora de huevos.	43
8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	47

9. METODOLOGÍA.....	51
9.1. Características del estudio.....	51
9.1.1. Enfoque	51
9.1.2. Diseño	51
9.1.3. Estudio	52
9.1.4. Alcance	52
9.2. Unidades de análisis.....	52
9.3. Variables	53
9.4. Fases de estudio.....	54
9.5. Resultados esperados	55
9.6. Población y muestra.....	55
10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	57
11. CRONOGRAMA.....	59
12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	61
REFERENCIAS	63
APÉNDICE.....	67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1.	Esquema de solución.....	19
Figura 2.	Plan de gestión del mantenimiento	26
Figura 3.	Matriz <i>de criticidad</i>	27
Figura 4.	Interpretación de MTTR y MTBF.....	31
Figura 5.	Esquema de vida de un activo o material	32
Figura 6.	Curva costo de vida respecto al tiempo	33
Figura 7.	Efecto de inspección de MPE contra costos generales	37
Figura 8.	Datos <i>de producción</i> de una gallina ponedora.....	41
Figura 9.	Equipo automático de producción de huevos	45
Figura 10.	Cronograma de actividades	59

TABLAS

Tabla 1.	Operacionalización de variables	53
Tabla 2.	Unidades de muestra	56
Tabla 3.	Técnicas de análisis.....	57
Tabla 4.	Presupuesto.....	62

GLOSARIO

Activo	Es un bien material que forma parte de la riqueza de quien lo posee.
Advenimiento	Es un suceso o acontecimiento.
Criticidad	Nivel de importancia que tiene un equipo dentro del proceso productivo.
Esquema	Representación gráfica de un proceso lógico.
Estandarización	Proceso de adaptar las características de un procedimiento, con el objetivo que se asemejen a una norma.
Indicador	Unidades de medición que permite evaluar el rendimiento de los procesos.
Innovación	Es un cambio que se produce a algún proceso siendo útil para el incremento de la productividad.

KPI'S	El significado por sus siglas en inglés “Key Performance Indicator” son métricas usadas para cuantificar objetivos de desempeño en las empresas.
Matriz de criticidad	Define la clasificación de activos de acuerdo a una evaluación de impactos negativos a los procesos productivos.
MTBF	Tiempo Medio Entre Fallos.
MTTR	Tiempo Medio de Reparación.
NFPA	Asociación Nacional de Protección Contra el Fuego.
Paros no programados	Eventos imprevistos que obligan a detener un equipo para resolver un problema.
Producción avícola	Proceso de criar aves con un objetivo comercial.
Stock	Conjunto de productos que se encuentran almacenados.
Viabilidad	Es la capacidad de finalizar un proyecto, entregando los resultados esperados con la innovación.

RESUMEN

En Guatemala, algunas empresas no ejecutan adecuadamente los planes de mantenimiento o en el peor de los casos no tienen un plan de mantenimiento, en la mayoría de los casos, los departamentos de mantenimiento tienen la característica de ir solucionando los problemas sobre la marcha, ejecutando únicamente un mantenimiento correctivo a sus instalaciones. Causando perdidas en el proceso de producción; pero es importante mencionar el beneficio de aplicar un programa de mantenimiento, los programas de mantenimiento nos brindan las herramientas necesarias para la gestión y protección de los equipos de producción, garantizando alargar al máximo la vida útil de los equipos y la continuidad del proceso de producción.

En la mayoría de plantas avícola productora de huevos, no existe un plan de mantenimiento preventivo, provocando paros de equipos de producción no programados, en algunos casos las fallas de ciertos equipos han causado el paro total de la planta, causando pérdidas importantes que afectan no solo el paro de producción, también se atrasa el envío del producto a los clientes, se eleva el costo de mantenimiento y en algunos casos en sanciones de parte de algunos clientes hacia la empresa por falta de suministro de huevos.

Tomando en cuenta la problemática actual de los paros no programados en la avícola productora de huevos, el objetivo principal de este estudio es desarrollar una propuesta de plan de mantenimiento preventivo basado en normas internacionales de mantenimiento. La aplicación de normas internacionales en el mantenimiento, puede provocar un aumento en la

confiabilidad del trabajo continuo de los equipos de producción, aumentando el rendimiento, minimizando los paros en producción, generando una mejor gestión en el departamento de mantenimiento.

1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio de investigación es un proyecto sistematizado dado que se basa en una propuesta de mantenimiento preventivo basado en normas internacionales de aplicado a una empresa avícola productora de huevos, el propósito de desarrollar un plan de mantenimiento, es crear un sistema de recolección de datos de todas las actividades de reparación de los equipos, utilizando estos datos para una toma de decisiones de las actividades a realizar en la maquinaria instalada, tomando en cuenta su criticidad y las cualidades que tenga, alargando su vida útil y al mismo tiempo reducir la probabilidad de falla. La estandarización de procesos en una empresa, es importante, debido a que aumenta la confiabilidad de funcionamiento y calidad del producto

El problema que tiene la planta avícola productora de huevos, es que han tenido varios paros no programados en producción, incrementando sus pérdidas económicas, y por ende quedan en evidencia los problemas de planificación, dado que las actividades de rutinas de mantenimiento de la planta de producción son nulas, únicamente se van solucionando los problemas técnicos conforme se van presentando, también se puede mencionar que ante la falta de documentación de las fallas que se presentan y alguna de ellas son recurrentes no se puede detectar la causa raíz del problema, llegando en algunos casos que la falla se puede catalogar como severa.

La importancia que tiene la realización de este trabajo de investigación es que se concentra en la generar un plan de mantenimiento preventivo eficiente,

considerando todos los elementos importantes, los cuales se puede mencionar como la gestión, planificación, crear rutinas de inspección, identificar los equipos críticos y así darles la importancia necesaria para que su operación no sea interrumpida.

El enfoque que tendrá el estudio propuesto es mixto, debido a que se realizará un estudio cualitativo el cual consiste en evaluar los equipos críticos en la planta avícola productora de huevos. Así también se hará un estudio costo-beneficio, donde la gerencia podrá evaluar el nivel de factibilidad y podrá obtener los datos necesarios que le indicaran, cuando podrá recuperar el costo de inversión si llegara a implementar el plan de mantenimiento preventivo, por lo tanto, debido a las variables utilizadas en esta fase se determina que esta parte del estudio es cuantitativo.

El trabajo de investigación es factible ya que se cuentan con todos los recursos para el desarrollo de todas las fases propuestas para el desarrollo del plan de mantenimiento propuesto, la empresa pondrá a su disposición el recurso humano necesario, los permisos necesarios para ingreso a las instalaciones y uso de los equipos tecnológicos para hacer las evaluaciones necesarias.

El informe final estará conformado por cinco capítulos los cuales se describen a continuación.

En el primer capítulo, se realizará el marco referencial en donde se realizará una investigación teórica relacionada de todos los equipos de la planta avícola productora de huevos y en el segundo capítulo, la teoría relacionada con las normas internacionales de mantenimiento.

En el segundo capítulo, se desarrollará la investigación donde se realizará un diagrama de flujo de proceso de producción, identificando y documentando los equipos involucrados en cada fase del proceso, después se analizará los equipos y su nivel de criticidad por medio de un análisis de criticidad total por riesgo y así poder determinar los procedimientos para la gestión eficiente del mantenimiento preventivo.

El cuarto capítulo se mostrarán los resultados obtenidos durante la realización del estudio, estos datos servirán para proponer un plan de mantenimiento eficiente, también se mostrarán los resultados del análisis costo-beneficio del estudio si llegara a implementar el plan de mantenimiento basado en normas internacionales.

En el quinto capítulo, se presentará una discusión de resultados con respecto a la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo basado en normas internacionales de mantenimiento, y la viabilidad del análisis costo-beneficio para la implementación del plan de mantenimiento propuesto.

2. ANTECEDENTES

Para realizar un diseño de una propuesta de plan de mantenimiento preventivo basado en normas internacionales es necesario hacer una serie de estudios para para recopilar los datos necesarios y así elaborar el proyecto de manera correcta siguiendo la metodología del mantenimiento.

En el estudio titulado “Protocolo de mantenimiento correctivo y preventivo de una caldera acuapiro tubular con referencia en la norma API RP 572 para evitar tiempos muertos en una industria de alimentos ubicada en la republica de Guatemala” para optar el grado de Maestro en Artes en Ingeniería de Mantenimiento presentado en la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Tiene como objetivo desarrollar un protocolo de mantenimiento preventivo y correctivo para una caldera teniendo como referencia la norma API RP 572, obtuvo como resultado, mejorar el funcionamiento del equipo otorgando un mayor tiempo de operación de la caldera. (Coronado, 2022)

Esto aporta a la investigación, la importancia del uso de las normas internacionales del mantenimiento como guía para poder estructurar de manera adecuada un plan de mantenimiento preventivo.

En el estudio “Diseño de una herramienta tecnológica basada en Excel avanzado e indicadores de control del plan de mantenimiento para servicios y línea productiva de productos perecederos” para optar el grado de Maestro en Artes en Ingeniería de Mantenimiento presentado en la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. El objetivo de este trabajo es desarrollar una herramienta digital basada en Excel avanzado que tome como parámetros de análisis a las variables de operación e indicadores de mantenimiento, al desarrollar el estudio otorgo una herramienta digital que presenta la criticidad de los equipos. (Rivera,2023)

El antecedente anterior contribuye a la investigación una técnica de análisis de criticidad e indicadores para los equipos y así poder crear un historial de mantenimiento y proyecciones para poder tomar decisiones sobre el mantenimiento de la maquinaria.

En el estudio “Mantenimiento preventivo en equipos de automatización e instrumentación del proceso de extracción de jugo en tandem de molinos de un ingenio azucarero ubicado en el departamento de Escuintla, Guatemala” para optar el grado de Maestro en Artes en Ingeniería de Mantenimiento presentado en la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Tiene como objetivo definir el mantenimiento preventivo de equipos de automatización e instrumentación y desarrollar rutinas de inspección y mantenimiento de los equipos de automatización e instrumentación del proceso de extracción de jugo, obteniendo como resultado que al desarrollar las rutinas de inspección antes de puesta en operación de los equipos, se garantiza un mantenimiento eficiente y

una instalación adecuada para que el instrumento se desempeñe correctamente y no presente fallas. (Cárdenas, 2022)

Este estudio aporta que al realizar las rutinas necesarias y correctas a los equipos de producción se puede obtener una mejora importante en la disponibilidad de los equipos de producción de huevos.

En el estudio “Diseño de un sistema de gestión de mantenimiento centrado en confiabilidad para mejorar la productividad en una línea de producción de fideos de la empresa Perupast S.R.L.” para optar el Grado Académico de Maestro en Ingeniería Industrial con Mención en Gestión de Operaciones y Logística, presentado en la Escuela de Postgrado de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, Perú. El objetivo principal es mejorar la productividad en la línea de producción de fideos Perupast mediante un sistema de gestión de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM). Aplicando la metodología de análisis de criticidad y RCM, aumentaron la productividad a 394 bolsas de fideo/día, que representa el 82.1 % del valor ideal. (Arévalo, 2021)

Esto aporta a la investigación la importancia de gestionar un plan de mantenimiento preventivo y como se relaciona con otros tipos de mantenimiento.

En el estudio realizado titulado “Metodología de administración para el mantenimiento preventivo como base de la confiabilidad de las maquinas, publicado en la Revista Iberoamericana para la Investigación y Desarrollo, Ciudad Juárez, México, el objetivo principal es desarrollar una metodología para la gestión de mantenimiento preventivo descentralizando el análisis de fallas, haciendo un análisis de fallas con una orientación más objetiva, desarrollando

una estructura amigable disminuyendo las dificultades que incurren en mejorar la prevención de las técnicas de mantenimiento, tales como, equipos que no se encuentran en la base de datos, procedimientos de mantenimiento equivocados, entre otras. Dando como resultado reducir los costos de mantenimiento de una empresa al menos un tercio y mejorar los niveles de producción. (Castillo, de la Riva y Pillado, 2022)

La anterior investigación aporta la importancia de tener un estudio bien estructurado para la realización de un plan de mantenimiento preventivo y así poder identificar todas las variables relacionadas en el mantenimiento preventivo a nivel técnico como administrativo.

En el estudio titulado “Análisis costo-beneficio para los usuarios de los servicios que prestan las operadoras del servicio móvil avanzado en Ecuador” para optar el grado de Maestro en Administración de Empresas presentada en la Universidad Andina Simón Bolívar de Ecuador, el objetivo del estudio es analizar el costo-beneficio para los usuarios de los planes prepago y pos pago en las operadoras de SMA del Ecuador, teniendo como resultado al aplicar el análisis costo beneficio, determinaron el nivel de satisfacción con sus costos de servicios de las distintas operadoras que prestan sus servicios en Ecuador.(Aguilar, 2021)

Este estudio aporta a la investigación un método de análisis para medir el alcance de las metas de producción de huevos que necesite cumplir la avícola si se implementa el plan de mantenimiento.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Contexto general

La planta avícola productora de huevos ubicada en el departamento de Guatemala, actualmente la planta no posee un plan de mantenimiento detallado para la ejecución de este y esto ha provocado un aumento económico en la producción de huevos. El mantenimiento a los bienes inmuebles se puede realizar desde las viviendas, edificios, hospitales o en cualquier tipo de empresa en la industria. El mantenimiento en una empresa nace con la necesidad de prolongar la vida útil al máximo de maquinaria y equipos.

Las empresas en Guatemala siguiendo un modelo de prevención y protección de activos desarrollaron programas de mantenimiento para cubrir sus necesidades, no solo para proteger sus instalaciones, maquinaria y equipos que son muy importantes, sino para garantizar el suministro y calidad de sus productos no solo a nivel local sino también a nivel internacional. De esta manera pueden seguir mejorando su competitividad en el mercado.

Un plan de mantenimiento no solo es importante para prolongar la vida útil de los equipos sino también para gestionar los diferentes activos, recopilando datos como, por ejemplo, el tiempo de paro, el tipo de repuesto utilizado para reparar la falla causa de la falla, quien realizó la reparación (personal externo o interno), costo de reparación, entre otros.

Cuando en una empresa no existe un plan de mantenimiento como tal, no pueden llegar a controlar el funcionamiento de las maquinas. “Esto genera como consecuencia un bajo rendimiento o eficiencia en el funcionamiento de las máquinas y equipos, provocando así sobre costos por fallas, paros en producción y disminuyendo la vida útil de las maquinas al no tener información confiable de las condiciones del equipo” (Arroyo y Obando, 2022 pág. 67)

3.2. Descripción del problema

En el caso de la plana avícola productora de huevos, ubicada en el departamento de Guatemala, tiene una capacidad de producción de 70,000 huevos diarios inicio sus operaciones desde hace más de 30 años, inicialmente el proceso de producción era de manera artesanal, teniendo las aves en galeras, y la recolección de huevos era manual con la ayuda de una carreta, de la misma manera se alimentaban con comederos y bebederos colgantes y se extraía la gallinaza por medio de carretas y palas cada cierto tiempo. Actualmente ya cuentan con equipos automatizados para la producción del mismo.

El problema surge debido a que los tiempos de paro de producción han ido en aumento aumentando los costos de producción, en el año 2022 tuvieron dos paros totales en la producción de huevos debido a un fallo en el suministro de energía eléctrica debido a que las instalaciones han crecido y la potencia contratada actualmente no cumple demanda actual. Ese mismo año tuvieron un paro en una línea de producción causado por una falla en un tablero de distribución de energía, causado por falta de mantenimiento y que las instalaciones en esa línea de producción ya son muy antiguas, el suministro de repuestos es muy escaso.

En el año 2023 se ha generado un paro total de la planta debido a que un transformador de corriente ubicado en el área de clasificadora de huevos tuvo una falla saliendo no solo afectado el equipo como tal sino también al medidor de energía principal y como consecuencia se tuvo que solicitar el apoyo de empresas externas, tales como el alquiler de un generador y personal contratista, entre otros, todo esto para garantizar la continuidad del proceso de producción, generando mayores pérdidas a la empresa.

3.3. Delimitación del problema

El desarrollo del plan de mantenimiento preventivo basado en normas internacionales de mantenimiento aplicado a una planta avícola productora de huevos en el área a mantenimiento ubicada en el departamento de Guatemala del 6 de noviembre del 2023 a marzo del 2024, sobre la línea de investigación de administración del mantenimiento.

3.4. Formulación del problema

Para solucionar los problemas que se generan por paros no programados en la planta avícola se formula las siguientes preguntas.

3.4.1. Pregunta principal

¿Como desarrollar un plan de mantenimiento preventivo para una avícola, basándose en normas internacionales de mantenimiento, en el departamento de Guatemala?

3.4.2. Preguntas secundarias

- ¿Cuáles son los equipos y su criticidad en una planta avícola productora de huevos?
- ¿Cuáles son los indicadores necesarios para evaluar el funcionamiento de los equipos de producción en una planta avícola?
- ¿Cómo obtener las condiciones adecuadas de funcionamiento de los diferentes equipos en el proceso de producción de huevos?
- ¿Cuál es el método económico que se necesita para determinar la viabilidad del plan de mantenimiento preventivo a través de los costos y los beneficios?

4. JUSTIFICACIÓN

El presente estudio se realizará bajo las líneas de investigación de Administración del Mantenimiento de la Maestría en Ingeniería del Mantenimiento de la Universidad de San Carlos de Guatemala, relacionándose directamente con un análisis de matriz de criticidad basándose en normas internacionales de mantenimiento, aplicando estos conceptos a los equipos de producción de huevos.

La realización de esta investigación es de importancia para reducir los paros no programados en los equipos de producción de huevos, debido a que los equipos desde su instalación empiezan a sufrir desgaste y el tiempo de vida útil disminuye con el paso del tiempo, debido a los factores que conlleva lo antes mencionado es necesario desarrollar un plan de mantenimiento preventivo.

Este trabajo de investigación se propondrá un método para obtener datos importantes de las rutinas de inspección y control de los insumos utilizados en la reparación de equipos para poder planificar la compra y tener el stock necesario de repuestos y materiales; También se podrá proyectar los costos de mantenimiento hasta un análisis complejo de estado de los equipos y de esta manera hacer todas gestiones necesarias de mantenimiento

La realización de esta investigación dejará un estudio de análisis de beneficio-costo, para que la planta productora de huevos tenga la información necesaria de todas las variables de inversión que se necesita para poner en

marcha el plan de mantenimiento y los beneficios que obtendrá a mediano y largo plazo en la producción de huevos.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Desarrollar un plan de mantenimiento preventivo para una avícola basado en normas internacionales de mantenimiento, en el departamento de Guatemala.

5.2. Específicos

1. Identificar los equipos y su nivel de criticidad en el proceso de producción de huevos.
2. Evaluar los indicadores de funcionamiento del equipo de producción para la elaboración de un plan de mantenimiento.
3. Generar una guía de rutinas de mantenimiento preventivo para obtener las condiciones adecuadas de funcionamiento de los equipos utilizando normas internacionales.
4. Determinar la viabilidad de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo a través del costo-beneficio.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

La necesidad principal para cubrir es minimizar los paros no programados en el área de producción de huevos en una avícola ubicada en el departamento de Guatemala; desarrollando un plan de mantenimiento preventivo basado en normas internacionales de mantenimiento aplicado a los equipos de producción, esperando mejorar los tiempos de disponibilidad de los equipos de producción de huevos y así lograr reducir los costos de mantenimiento.

Una de las posibles causas de los paros no programados de los equipos de producción seria que no existe un programa de capacitación al personal de mantenimiento; así también podemos mencionar otra de las causas es que el personal de mantenimiento no cumple con todas las capacidades necesarias para cubrir con todas las tareas asignadas en el departamento de mantenimiento.

Este trabajo de investigación aspira a mejorar los tiempos de producción efectiva, de igual manera impactar de la mejor manera el área económica, reduciendo los gastos ya que las fallas se reducirían y por ende también todos los factores que influye en todos los paros en el área de producción.

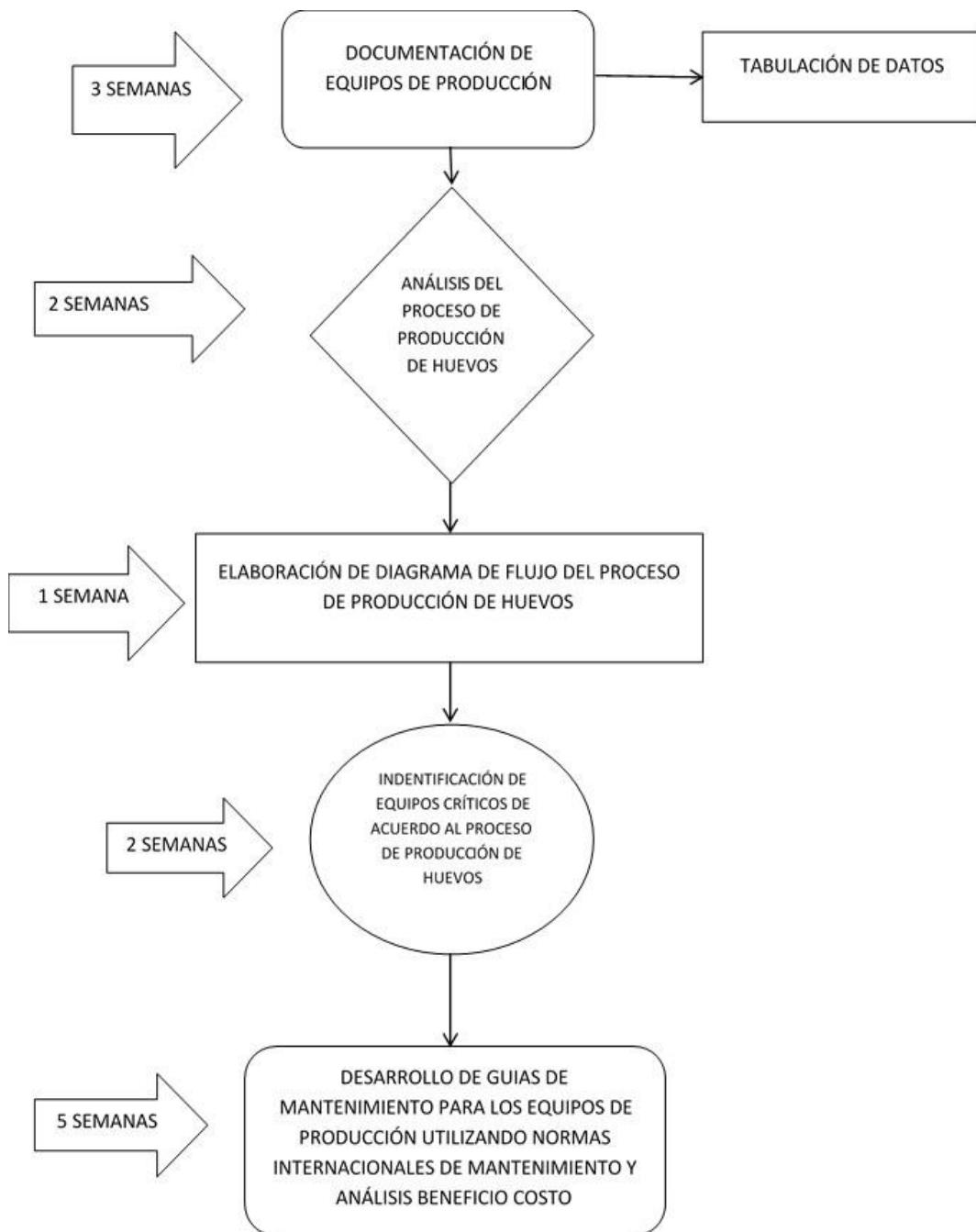
El esquema de solución consta de cinco fases, siendo la primera fase una revisión documental de todos los equipos instalados, obteniendo la información necesaria del tipo de maquinaria que utilizan en el proceso de producción de huevos; en la segunda fase se procederá a analizar el proceso de producción de

huevos recopilando los datos en un formato de diagrama de flujo. En la tercera fase se elaborará un diagrama de flujo del proceso de producción de huevos.

En la cuarta fase se identificará el nivel de criticidad de los equipos por medio de un análisis de matriz de riesgo dependiendo de su ubicación en el diagrama de flujo del proceso de producción y se evaluarán los diferentes KPI's de acuerdo a los indicadores de mantenimiento MTTR, MTBF y D, con estos métodos se analizará el efecto económico que influye directamente a la empresa el tener un equipo sin operar.

Finalmente, en la última fase se presentará un plan de mantenimiento basado en normas internacionales de mantenimiento, generando las condiciones adecuadas de funcionamiento de todos los equipos instalados y un estudio beneficio costo y así tener las bases para una posible implementación del plan de mantenimiento.

Figura 1.
Esquema de solución



Nota. Diagrama esquema de solución. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Mantenimiento industrial

"El mantenimiento industrial se define como, todo un conjunto de actividades que realizan los encargados de esa área, con el objetivo de garantizar que la maquinaria se encuentre en las condiciones de funcionamiento requerida o para las cuales fue diseñada y puesta en funcionamiento".(Pérez, 2021, pág.21)

7.1.1. Historia del mantenimiento

"El mantenimiento industrial tiene sus orígenes desde las antiguas civilizaciones, ya que cuando empezaron a crear herramientas se vieron en la necesidad de mantenerlas en buenas condiciones para poder seguir utilizándolas. Durante la época de la revolución industrial, el mantenimiento se desarrolló en tres etapas las cuales son: (Pérez, 2021, pág. 27 – 29)

- Primera generación
- Segunda generación
- Tercera generación

7.1.1.1. Primera generación

La primera generación del mantenimiento cubre el periodo hasta la segunda guerra mundial. En este periodo la industria no era altamente mecanizada y la inactividad de los equipos no era tan relevante. Dada esta

característica en los equipos la prevención de fallas no era importante para los gerentes de las empresas. Dado que los equipos estaban bien diseñados y fabricados de manera muy simple, esto los hacia confiables y muy fácil de reparar. (Moubray, 2004, pág. 6)

7.1.1.2. Segunda generación

En la década de 1940 hubo una necesidad de aumentar la productividad de los procesos productivos de cualquier índole, en especial en el campo militar, para poder suplir el apetito voraz de la Segunda Guerra Mundial, dada esta necesidad se desarrollaron máquinas más productivas, por ende, menos robustas, más esbeltas, más económicas y sin que hubiera avanzado la ciencia de los materiales. Esta situación culmino con el advenimiento del Mantenimiento Preventivo, el cual su periodo termino hasta la década de 1980. (Montilla, 2019, pág. 54 – 55)

7.1.1.3. Tercera generación

A inicios de la década de 1980, el mantenimiento justifica sus objetivos, como prioridad, la disponibilidad, la fiabilidad y los costes, pero aborda otros aspectos relativamente poco analizados, los cuales eran la emisión de normas, regulaciones, ordenes, leyes, etc. A todo este sistema de mantenimiento se le llamo de tercera generación. (González, 2005, pág. 33)

7.1.1.4. Tipos de mantenimiento

Debido a la alta demanda a la que son sometidas las máquinas no pueden funcionar sin ser atendidas constantemente, razón por la cual se han realizado estudios y desarrollado técnicas para ayudar a prolongar el tiempo de vida útil. (Rivera, 2023, pág. 2).

Las técnicas de mantenimiento más comunes son las siguientes:

- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento predictivo
- Mantenimiento correctivo

7.1.1.4.1. Mantenimiento preventivo

El objetivo principal del mantenimiento preventivo es evitar que ocurran fallas en el área de producción, basándose en la realización de tareas básicas, (reparar, realizar ajustes, modificar, observar, entre otras). Ejecutándolas durante periodos de tiempo planificados. (Montilla, 2019, pág. 48).

El mantenimiento preventivo es una técnica donde el activo o componente se restaura o se reemplaza, con la finalidad que no pierda su eficiencia en un intervalo de tiempo programado.

7.1.1.4.2. Mantenimiento predictivo

Es una técnica de mantenimiento, basándose en rutinas de seguimiento del deterioro de una o más piezas o mecanismos de equipos prioritarios (sistemas), a través de análisis de síntomas o estimación mediante evaluación estadística, supervisión del funcionamiento y determinación del punto exacto del cambio. (Villanueva, 2014, pág. 39)

Para la implementación de un mantenimiento predictivo es necesario realizar una serie de actividades no destructivas a los equipos y darles seguimiento para captar cualquier anomalía en el sistema que nos puedan dar indicios de que pueda ocurrir una falla, a pesar de ser una técnica de mantenimiento costosa está influyendo grandemente en las empresas ya que con esta técnica se pueden detectar fallas catastróficas con anticipación.

7.1.1.4.3. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo corresponde a realizar una intervención del equipo, esta técnica es el último recurso durante el mantenimiento y estas intervenciones se realizan conforme el equipo presenta una avería. “El mantenimiento correctivo consiste en intervenir el equipo, elemento o maquina después de que se presenta una falla.” (Medrano, González y Díaz, 2017, pág. 29)

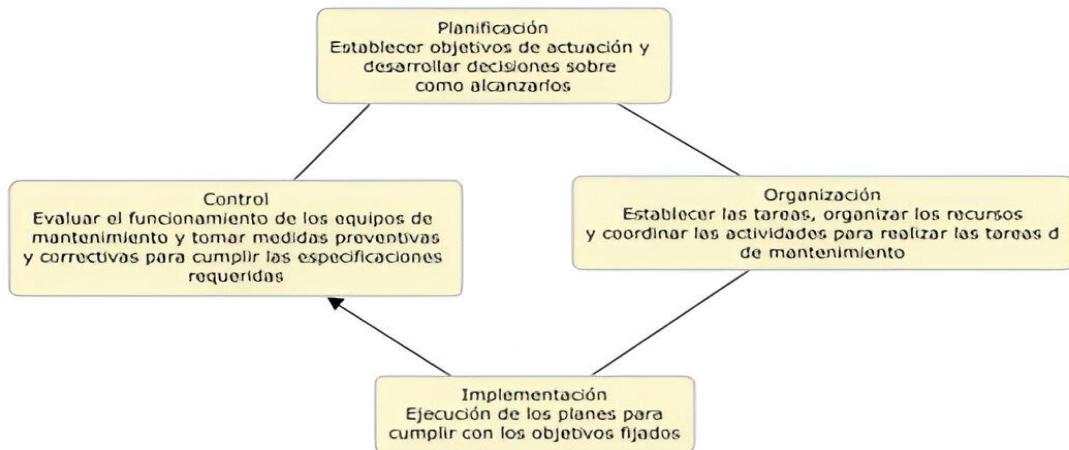
7.2. Gestión de mantenimiento

Según Mercado y Peña (2016), la gestión de mantenimiento es parte fundamental en la conservación y preservación de activos de una empresa y de la eficiencia en su operación. La gestión de las actividades propias de los recursos humanos, riesgos, costos, comunicación, evaluación de desempeño, que permitan una eficiencia en la planificación, organización, programación junto con el posterior seguimiento y control constituyen las claves para detectar las actividades que realmente funcionan, así como las que deban eliminarse o mejorarse.

Para obtener un mantenimiento confiable y eficiente, es necesario gestionar todas actividades y los equipos que existen en una empresa de una manera adecuada, y con esto podremos tener un informe detallado de los gastos utilizados en el mantenimiento, desde la gestión del personal que realiza el mantenimiento (personal interno o externo), control de suministro de los insumos necesarios para el mantenimiento, entre otros.

Figura 2.

Plan de gestión del mantenimiento



Nota. Plan de gestión del mantenimiento Obtenido de R, Rivera (2023). *Diseño de una herramienta tecnológica basada en Excel avanzado e indicadores de control del plan de mantenimiento para servicios y línea productiva de productos perecederos.* p. 12
https://drive.google.com/file/d/1p-rb6pMOzCz_4y42YOPaOEJaOutH_BoP/view?usp=sharing

7.2.1. Análisis de criticidad

Según Santos et al. (2013) el análisis de criticidad integral de activos físicos permite establecer jerarquías o prioridades en instalaciones industriales, sistemas, equipos y dispositivos, considerando la contribución del riesgo total asociado al proceso o negocio. La metodología genera una estructura que facilita tomar decisiones, direccionar acciones y recursos; dirigida a los departamentos relacionados, analizando todos los escenarios desde el punto de vista de cómo afecta el negocio.

7.2.2. Análisis de riesgo

El riesgo es un término de naturaleza probabilística, que se define como egresos o pérdidas probables por la consecuencia de la probable ocurrencia de un evento no deseado o falla. Santos (2012)

El riesgo puede representarse con la siguiente ecuación.

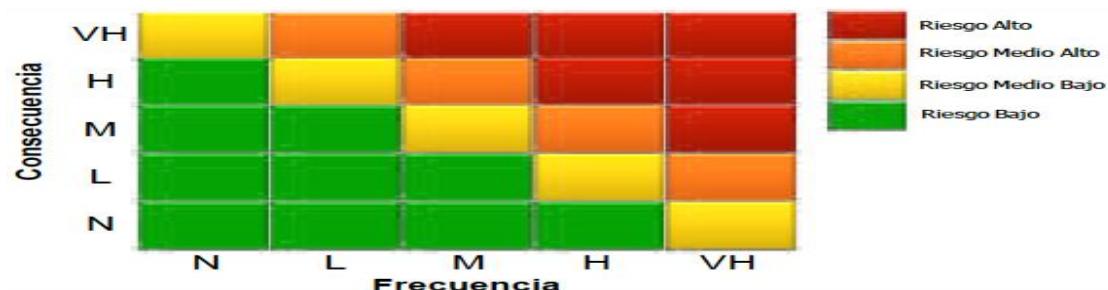
$$R(t) = P(t) \times C(t) \quad (Ecuación 1)$$

Donde:

- $R(t)$ = Riesgo
- $P(t)$ = Probabilidad
- $C(t)$ = Consecuencias

Figura 3.

Matriz de criticidad



Nota. Matriz de Criticidad. Obtenido de Santos, Gutiérrez et al. (2013). Análisis de criticidad de activos físicos. <http://bdigital.ula.ve/storage/pdf/incipiente/v4n1-2/art02.pdf> (p. 13). De dominio público.

7.2.3. Modelo de criticidad semicuantitativo “CTR” (Criticidad total por riesgo)

“El modelo de criticidad total por riesgo, es un proceso de análisis semicuantitativo, bastante sencillo y práctico, soportado por el concepto de riesgo, entendiendo como la consecuencia de multiplicar la frecuencia de fallo por la severidad del mismo”. (Parra y Crespo, 2012, pág. 60-61)

Ecuación de Criticidad Total por Riesgo.

$$CTR = FF \times C \quad (Ecuación 2)$$

Donde:

- CTR = Criticidad total por riesgo.
- FF = Frecuencia de fallos (rango de fallos de un tiempo determinado (fallos/tiempo)).
- C = Consecuencia de los eventos de fallo.

El valor de la consecuencia de fallo se obtiene de la siguiente expresión (Parra & Crespo, 2012, pág. 61):

$$C = (IO \times FO) + CM + SHA \quad (Ecuación 3)$$

Siendo:

- IO = Factor de impacto en la producción
- FO = Factor de flexibilidad operacional
- CM = Factor de costes de mantenimiento
- SHA = Factor de impacto en seguridad y ambiente

“La representación del modelo de priorización de CTR es la siguiente”:

(Parra & Crespo, 2012, pág. 61)

$$CTR = FF \times ((IO \times FO) + CM + SHA) \quad (Ecuación\ 4)$$

7.3. Indicadores de mantenimiento

Según Montilla (2019) Los índices o indicadores son relaciones cuantitativas o cualitativas que se establecen entre variables, para evaluar sus proporciones o comportamientos. Los índices de mantenimiento son elementos informativos que permiten tomar decisiones de manera objetiva.

Los key performance indicators (KPI) se utilizan para medir el nivel de desempeño de un proceso para determinar las estrategias que se deben realizar para alcanzar el objetivo fijado. Estos suelen estar centrados en la estrategia de la organización. (Rivera, 2023, pág. 13)

7.3.1. Indicador de mantenibilidad (MTTR)

Según González (2005), se define como mantenibilidad como la probabilidad del equipo, después del fallo o avería sea puesto en un estado de funcionamiento en un tiempo dado. Una medida de mantenibilidad es el MTTR (Mean Time to Repair) en castellano Tiempo Medio de Reparación.

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Tiempo total de inactividad por Mantenimiento correctivo}}{\text{Número de fallas}} \quad (\text{Ecuación 5})$$

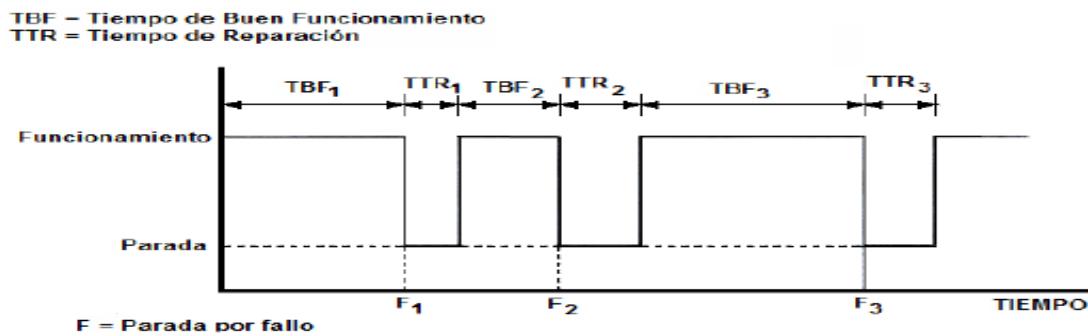
7.3.2. Indicador de fiabilidad (MTBF)

El indicador de fiabilidad en el mantenimiento se define como, la probabilidad, durante un periodo de tiempo especificado, de que el equipo en cuestión pueda realizar su función o actividad en las condiciones de utilización, o sin avería. (Gonzales, 2005, pág. 66)

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Tiempo real de operación}}{\text{Cantidad total de fallas}} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Figura 4.

Interpretación de MTTR y MTBF



$$MTBF = \sum_{n=1}^n \frac{TBF_n}{n} = \frac{TBF_1 + TBF_2 + TBF_3}{3}$$

$$MTTR = \sum_{n=1}^n \frac{TTR_n}{n} = \frac{TTR_1 + TTR_2 + TTR_3}{3}$$

Nota. Interpretación del MTTR y MTBF. Obtenido de L. Ñato (2020). *Diseño de un plan de mantenimiento predictivo para el área de abastecimiento corte térmico de la empresa SEDEMI.* (p. 18)

7.3.3. Indicador de disponibilidad D

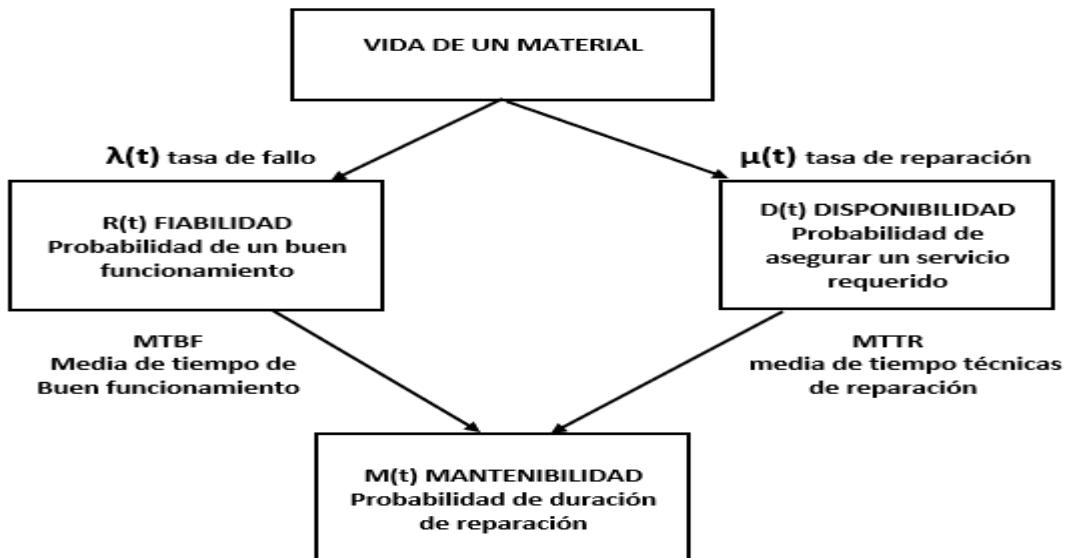
La disponibilidad según Gonzales (2005) se define como el porcentaje de equipos o sistemas útiles en un determinado momento, frente al parque total de equipos o sistemas.

La disponibilidad se expresa con la siguiente expresión (Loya Ñato, 2020, pág. 19):

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Figura 5.

Esquema de vida de un activo o material



Nota. Vida de un material. Obtenido de González (2005) *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado.* (p. 67). Fundación Confemetal.

7.3.4. Costos de mantenimiento

La confiabilidad y operatividad de los equipos en una empresa dependen de una gestión de mantenimiento efectiva. Los costos de mantenimiento son importantes ya que están relacionados con los gastos de reparación, costos de producción y mano de obra ya sea interna o externa, entre otros gastos que varían de acuerdo de tipo de mantenimiento.

Los costos de mantenimiento se pueden representar a lo largo del tiempo con la siguiente grafica.

Figura 6.

Curva costo de vida respecto al tiempo



Nota. Curvas del costo del mantenimiento con relación al tiempo. Obtenido de Tavares (2000) *Administración moderna del mantenimiento*. (p. 7). Datastream System Inc.

7.3.5. Costo de ciclo de vida de un activo (CCV)

El ciclo de vida de cualquier activo inicia desde su elaboración, envío, montaje, puesta en marcha, operación hasta desincorporarse del proyecto de producción. Según García y Sánchez (2019), El costo generado por este ciclo de vida es importante para calcular el costo de no mantenimiento ya que refleja el costo de todas las acciones realizadas en cada equipo durante su vida útil, el ciclo de vida de un activo está relacionado directamente con todas las pérdidas de cada equipo.

El cálculo del costo de vida de un activo se realiza con las siguientes ecuaciones. (García y Sánchez, 2009, pág. 51 – 52)

$$CCV = CI + N^*(Co + Cm + Cp) \quad (Ecuación 8)$$

Donde:

- CCV = Costo del ciclo de vida (\$)
- CI = Costo de inversión (\$)
- Co = Costo de operación (\$)
- Cm = Costo de mantenimiento (\$)
- Cp = Costo por paradas (\$)

Siendo:

$$Co = CL + CE + CMP + CT + Cen \quad (Ecuación 9)$$

Donde:

- CL = Costo o salario del operador (\$)
- CE = Costo de energía (\$)
- CMP = Costo de materias primas (\$)
- CT = Costo de transportes (\$)
- Cen = Costo de entrenamiento (\$)

Siendo:

$$C_m = CL_{mc} + CM_{mc} + CL_{mp} + CM_{mp} \quad (Ecuación 10)$$

Donde:

- CL_{mc} = Salario por el mantenimiento correctivo (\$)
- CM_{mc} = Costo por el material de mantenimiento correctivo (\$)
- CL_{mp} = Salario del mantenimiento preventivo (\$)
- CM_{mp} = Costo de material por el mantenimiento preventivo (\$)

$$\text{Siendo: } CP = NP * TPP * CPP \quad (Ecuación 11)$$

Donde:

- NP = Frecuencia de paradas
- TP = Tiempo promedio de paradas (horas)
- CPP = Costo de pérdidas de producción u otras perdidas debido al mantenimiento (\$)

7.4. Normas internacionales de mantenimiento

En el mundo actual la estandarización de procesos es indispensable en la industria, la implementación de normas internacionales ha causado un impacto muy importante en los diferentes departamentos que influyen en la elaboración de cualquier producto. La influencia de aplicación de normas en el departamento de mantenimiento puede llegar a garantizar la prevención de fallos y maximizar

la vida útil de los equipos. Con la ayuda de la aplicación de normas internacionales de mantenimiento las organizaciones garantizan una gestión eficiente de sus activos, promoviendo la seguridad, la eficiencia y la calidad en las operaciones industriales a nivel mundial.

7.4.1. Normas de mantenimiento eléctrico preventivo (MEP)

Los equipos fallan a menudo, y es inevitable. Sin embargo, con un mantenimiento eléctrico preventivo adecuado (MEP), la falla de los equipos se puede retrasar. El deterioro comienza con la instalación de un equipo nuevo. “Una falla o un problema eléctrico puede ser el resultado de no verificar el proceso de desgaste. Las distintas causas como un ambiente dañino, una sobrecarga o largos periodos de trabajo, pueden acelerar el deterioro. Un programa de MEP efectivo identifica y reconoce estos factores y proporciona las herramientas necesarias para afrontarlos”. (Norma NFPA 70B, 2016, pág. 70B-20)

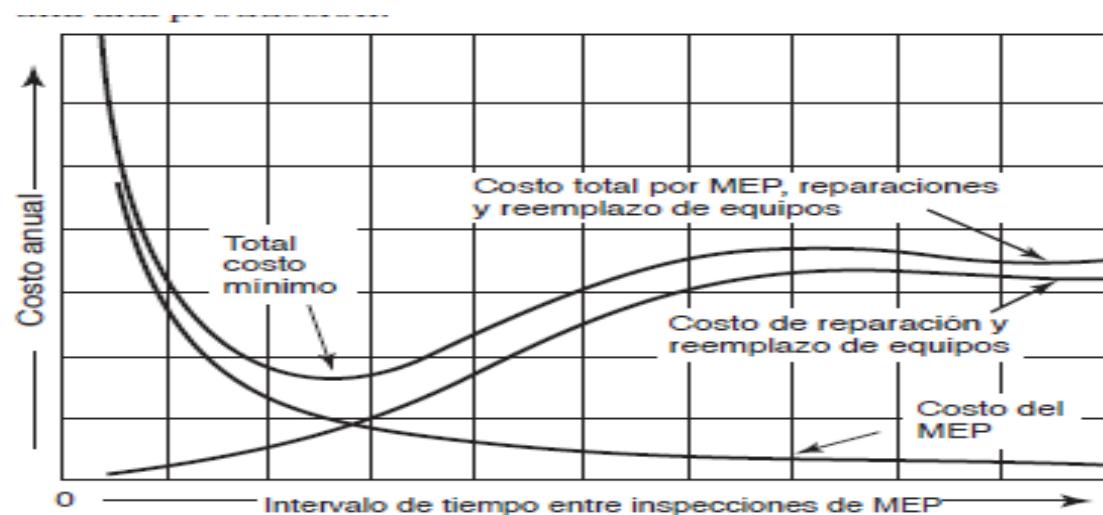
Otro tema importante para la gestión del personal para la realización de mantenimiento en los equipos son las buenas prácticas de trabajo con la seguridad eléctrica, según la Norma NFPA 70E (2018) “los controles administrativos en los lugares de trabajo de los empleados son necesarios para salvaguardar de manera práctica a los empleados de los riesgos de la energía eléctrica durante actividades tales como la instalación, retiro, inspección, operación, mantenimiento y demolición (desmantelamiento) de conductores eléctricos, equipos eléctricos y conductores, equipos y canalizaciones de comunicación y señalización”.

7.4.1.1. Beneficios de un mantenimiento eléctrico preventivo

Las ventajas de un MPE eficiente se puede dividir en dos grupos; el primero implica reducir los gastos de reparación y el segundo en la reducción de tiempo de inactividad de la maquinaria. Para entender cómo puede proteger los activos y al personal implicado un programa de mantenimiento, se debe conocer la dinámica de los procesos de inspección, prueba y reparación del programa. Otras de las ventajas que proporciona el MPE es una mejora en la productividad de la mano de obra y minimiza las ausencias en el lugar de trabajo. El mantenimiento eléctrico preventivo es importante para la calidad de energía, ya que hace que los equipos sean más eficientes, ahorrando tiempo y dinero. (NFPA 70B, 2016, pág. 70B-20 – 70B-21)

Figura 7.

Efecto de inspección de MPE contra costos generales



Nota. Efecto de la frecuencia de inspección de MPE sobre los costos generales. Obtenido de NFPA 70B (2016) *Práctica recomendada para el mantenimiento de equipos eléctricos*. (p. 70B-21).

Otro de los beneficios es que, al utilizar normas internacionales de mantenimiento, incluyen muchos factores como, el reducir el riesgo de accidentes laborales en las empresas.

Según la norma NFPA 70E (2018), existen métodos de control de riesgos, los cuales son los siguientes:

- Eliminar el peligro.
- Sustituir otros materiales, procesos o equipos.
- Usar controles de ingeniería.
- Establecer sistemas que aumenten la conciencia de los peligros potenciales.
- Establecer controles administrativos; por ejemplo, entrenamiento y procedimientos, instrucciones y cronogramas.
- Uso de EPP, incluyendo las medidas que aseguren el apropiado uso, selección y mantenimiento.

7.4.1.2. Herramientas fundamentales para la elaboración de un mantenimiento eléctrico preventivo

Para la realización de un mantenimiento eléctrico preventivo, es importante tener una serie de elementos básicos, mejorando la seguridad del empleado y minimizar los paros no programados en el mantenimiento de una empresa.

La norma NFPA 70B (2016), “menciona que los elementos fundamentales de un programa de mantenimiento eléctrico preventivo son los siguientes”.

- Personal responsable y calificado.
- Inspecciones, pruebas y revisiones del equipo planificadas periódicamente.
- Inspección y análisis de los sistemas y equipos eléctricos para determinar los requerimientos y prioridades de mantenimiento.
- Inspecciones de rutinas programadas y pruebas adecuadas.
- Análisis precisos de los informes de inspección y pruebas, a fin de tomar las medidas correctivas adecuadas.
- Desempeño de los trabajos necesarios.
- Riesgos concisos y completos.

7.5. Análisis costo-beneficio

El análisis coste-beneficio no trata sobre el dinero. Tampoco se trata de entradas o salidas. Trata sobre el bienestar social. El valor de esta herramienta económica es ayudar en la selección de los mejores proyectos y políticas en beneficio de la sociedad. (Ginés de Rus, 2010, pág. 1)

Según Ortega (2012): El análisis coste-beneficio (ACB) es una metodología para evaluar de forma exhaustiva los costos y beneficios de un proyecto, con el propósito de establecer si el proyecto es rentable. Para ello, los

costes y beneficios deben ser cuantificados, y expresados en unidades monetarias, con el fin de poder calcular los beneficios netos del proyecto.

El análisis de la relación costo beneficio está dada por la siguiente formula.
(Ortega, 2012, pág. 149)

$$RCB = \frac{\sum_{t=0}^T \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+r)^t}} \quad (Ecuación 12)$$

Donde:

- RCB = Relación costo beneficio
- B_t = Costo beneficio del proyecto
- C_t = Costo de inversión del proyecto
- r = Interés generado sobre los costos del proyecto
- t y T = Tiempo de planificación de proyecto

Si el resultado de RCB > 1 el proyecto es rentable, pero si RBC < 1 el proyecto no es rentable.

7.6. Sistema de producción avícola de gallinas ponedoras

La producción avícola de gallinas ponedoras juega un papel importante en la industria agrícola, proporcionando una fuente de alimento vital y económica para el consumo humano. Los sistemas de producción de huevos han experimentado una transformación significativa en las últimas décadas, marcada por los avances tecnológicos, conjuntamente enfocados con el bienestar animal.

Dentro de proceso de producción de huevos los sistemas que son de mayor importancia para garantizar la producción de huevos es la correcta alimentación de las gallinas, la hidratación y el monitoreo de la temperatura, ya que si estos sistemas llegan a fallar puede elevarse la mortandad de las gallinas ponedoras.

Figura 8.

Datos de producción de una gallina ponedora

Producción de Huevos	Edad al 50% de producción	140–145 días
	Pico de producción	94–96 %
Huevos por Gallina Alojada		
en 72 semanas de edad	320	
en 80 semanas de edad	360	
en 95 semanas de edad	430	
Masa de Huevo por Gallina Alojada		
en 72 semanas de edad	20,44 kg	
en 80 semanas de edad	23,23 kg	
en 95 semanas de edad	28,02 kg	
Peso Promedio de Huevo		
en 72 semanas de edad	63,9 g	
en 80 semanas de edad	64,4 g	
en 95 semanas de edad	65,2 g	
Características del Huevo	Color de la cáscara	marrón atractivo
	Resistencia de la cáscara	>40 Newton
Índice de Conversión		
	2,0–2,2 kg/kg masa de huevo	
Peso Corporal		
	a las 17 semanas al final de la producción	1,42 kg 2,06 kg
Viabilidad		
	Levante (Cria-Recria) Período de postura	97–98 % 93–95 %

Nota. Datos de producción. Obtenido de LOHMANN BREEDERS GmbH (2021). *Ponedoras.* (p.7) https://lohmann-breeders.com/media/2021/06/LB_MG_LB-Classic_ESP.pdf

Estas son las recomendaciones generales para un alojamiento adecuado para las gallinas ponedoras. (LOHMANN BREEDERS GmbH, 2021, pág. 8)

- Asegúrese de que todo esté funcionando correctamente antes de colocar a las pollitas en su lugar.
- Tener listo el galpón entre 35 y 36 grados centígrados. Antes de la llegada de las aves. Y mantener una ventilación que garantice la temperatura deseada.
- Se debe de mantener las temperaturas optimas entre 35 y 36 grados centígrados durante los primeros 2 o 3 días.
- Mantener una humedad relativa de por lo menos de 60%.
- Los bebederos tienen que tener la altura necesaria para que las pollitas accedan al agua sin ningún problema.
- La presión del agua debe ser reducida en los niples para que las pollitas encuentren el agua fácilmente.
- La temperatura del agua tiene que estar entre 20 y 25 grados centígrados manteniendo un flujo constante de agua para mantener agua limpia en los bebederos.

Para los sistemas de jaulas nos da las siguientes recomendaciones. (LOHMANN BREEDERS GmbH, 2021, pág. 8)

- Realizar los ajustes a los pisos de las jaulas y a los comederos tomando en cuenta las instrucciones del fabricante.

- Durante los primeros días, coloque hojas de papel en el piso de la jaula y ponga alimento sobre las hojas de papel. Después de 7 días los papeles se deben de retirar.
- Al descargar las cajas de pollitas se deben de distribuir dentro del galpón. Retirar las tapas de las cajas colocándolas sobre las cajas.
- Colocar las pollitas cerca de los comederos y de los bebederos. Distribuir de forma equitativa dentro de las jaulas empezando por el extremo más lejano del galpón
- Para que las pollitas comiencen a beber se deben de accionar los niples de agua.

7.6.1. Historia de la empresa

La planta avícola tiene más de 50 años de experiencia en la producción de huevos, llegando a producir más de 50,000 huevos diarios, en todos esos años paso por muchas etapas en el proceso de producción de huevos, desde realizarlo de forma artesanal hasta obteniendo sistemas automáticos de reproducción y recolección de huevos.

7.6.2. Descripción de la planta avícola productora de huevos

La planta de producción de huevos cuenta varias instalaciones de producción de huevos, hoy en día cuenta con el 75% de los equipos automáticos, el 20% semi automáticos y el 5% de forma manual.

Actualmente existen tres sistemas automáticos, estos tienen una capacidad de albergar veinte mil aves por sistema, estos sistemas son capaces de recolectar hasta un noventa y cinco porcientos de la capacidad total de los galpones que equivalen aproximadamente de diecinueve mil huevos diarios.

Los sistemas automáticos tienen los siguientes equipos.

- Extractores de gallinaza
- Carros distribuidores de alimento para gallina
- Motores sopladores de huevo
- Elevadores de huevos
- Transportadores de huevos
- PLC's
- Sensores de aguas
- Ventiladores
- Contadores de huevo
- Silos
- Entre otros.

En cuanto a los equipos semi automáticos tienen personal que opera de forma manual los equipos de producción, así como la alimentación, la extracción de gallinaza y la recogida de huevos. Por otra parte, todavía existen galpones que el proceso se realiza de forma artesanal, teniendo únicamente personal humano para el proceso de producción de huevos.

Figura 9.

Equipo automático de producción de huevos



Nota. Equipo de proceso de producción de huevos Elaboración propia

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PREGUNTAS ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

IMARCO REFERENCIAL

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Mantenimiento industrial

1.1.1. Historia del mantenimiento

1.1.1.1. Primera generación

1.1.1.2. Segunda generación

1.1.1.3. Tercera generación

1.1.1.4. Tipos de mantenimiento

1.1.1.4.1. Mantenimiento preventivo

1.1.1.4.2. Mantenimiento predictivo

1.1.1.4.3. Mantenimiento correctivo

1.2. Gestión de mantenimiento

1.2.1. Análisis de criticidad

1.2.2. Análisis de riesgo

1.2.3. Modelo de criticidad semicuantitativo (CTR)

criticidad total por riesgo

1.3. Indicadores de mantenimiento

- 1.3.1. Indicador de mantenibilidad (MTTR)
- 1.3.2. Indicador de fiabilidad (MTBF)
- 1.3.3. Indicador de disponibilidad (D)
- 1.3.4. Costos de mantenimiento
- 1.3.5. Costo de vida de un activo (CCV)

1.4. Normas internacionales de mantenimiento

- 1.4.1. Normas de mantenimiento eléctrico preventivo (MPE)

- 1.4.1.1. Beneficios de un mantenimiento eléctrico preventivo

- 1.4.1.2. Herramientas fundamentales para la elaboración de un mantenimiento eléctrico preventivo

1.5. Análisis costo-beneficio

1.6. Sistema de producción avícola de gallinas ponedoras

- 1.6.1. Historia de la empresa
- 1.6.2. Descripción de la planta avícola productora de huevos

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

APÉNDICES
ANEXOS

9. METODOLOGÍA

A continuación, se presentará la metodología de la investigación, esta sección incluirá la descripción del enfoque, tipo de estudio, diseño, alcance, variables e indicadores, las fases de la investigación y resultados esperados.

9.1. Características del estudio

En esta sección se describe las características de estudio del presente diseño de investigación, tomando en cuenta las características de las variables que influyen para lograr con éxito los resultados esperados y la solución del problema en la planta avícola.

9.1.1. Enfoque

El enfoque propuesto de este estudio será cualitativo, ya que se hará un análisis de criticidad a los equipos de producción de huevos, aplicando el método de matriz de riesgo. De igual manera se hará un estudio beneficio-costo donde la empresa evaluará el beneficio de llegar a implementar el plan de mantenimiento propuesto.

9.1.2. Diseño

El presente diseño de investigación es no experimental dado que las acciones que se analizaran son eventos pasados. Toda la información recopilada se obtendrá mediante un análisis de criticidad aplicando el método de matriz de

riesgo a los equipos que interfieren en el proceso de producción y así poder gestionar de manera adecuada el mantenimiento de estos.

9.1.3. Estudio

El tipo de estudio es descriptivo, realizando un análisis a los distintos equipos, después analizar su criticidad de acuerdo a su nivel de importancia durante el proceso de producción, con los datos obtenidos desarrollar un método de mantenimiento que se aadecue a sus características.

9.1.4. Alcance

El alcance para utilizar será el tipo descriptivo, dado que los datos a utilizar serán recopilados del estado actual del proceso de producción de huevos por medio de una revisión documental y así tener una idea concreta de los tipos de falla que ocurren en el proceso.

9.2. Unidades de análisis

La población de análisis está dada por un conjunto de equipos que conforman el proceso de producción de huevos, de acuerdo con este sistema se tiene una población finita; La técnica de muestreo es estratificada, porque la planta de producción de huevos se compone de tres sistemas principales, dos secundarios idénticos y uno distinto, los secundarios idénticos se subdividen en 6 sistemas idénticos.

9.3. Variables

Las variables de estudio del proyecto a realizar describen a continuación:

Tabla 1.

Operacionalización de variables

OBJETIVO ESPECIFICO	NOMBRE DE LA VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
1. Identificar la criticidad de los equipos en el proceso de producción de huevos.	Criticidad de los equipos	Cualitativa	PROBABILIDAD DE FALLA • Muy improbable • Poco probable Entre otras. CONSECUENCIA DE FALLA • Insignificante • Menor Entre otras. ANALISIS DE RIESGO • Riesgo bajo • Riesgo moderado Entre otras.	Calculo de Matriz de Criticidad por medio del metodo Criticidad Total por Riesgo.
2. Evaluar los indicadores de mantenimiento del equipo de producción para la elaboración de un plan de mantenimiento.	Indicadores de mantenimiento	Cuantitativa	• Indicador de mantenibilidad MTTR. • Indicador de fiabilidad MTBF • Indicador de disponibilidad D	Analisis por medio del metodo de indicadores de mantenimiento, mantenibilidad MTTR, fiabilidad MTBF Y de disponibilidad D.
3. Generar una guía de rutinas de mantenimiento preventivo para obtener las condiciones adecuadas de funcionamiento de los equipos utilizando normas internacionales de mantenimiento.	Guia de rutinas de mantenimiento preventivo	Cualitativa	Estado del equipo a evaluar • Corriente • Temperatura °C. • Torque • Voltaje • Entre Otros	Desarrollo de rutinas de mantenimiento preventivo de acuerdo a las recomendaciones de normas internacionales de mantenimiento.
4. Determinar la viabilidad de la propuesta de plan de mantenimiento preventivo a través de costo-beneficio.	Determinar la viabilidad	Cualitativa	Costos por falta de mantenimiento Costos de inversión del plan de mantenimiento	Metodo costo-beneficio.

Nota. Operacionalización de Variables Elaboración propia, realizado con Microsoft Excel

9.4. Fases de estudio

A continuación, se describe el proceso necesario para cumplir con los objetivos del diseño de la investigación.

- Fase 1: se realizará una revisión documental de los equipos de producción obteniendo los datos necesarios para la elaboración del estudio y la tabulación de los datos obtenidos.

Esta fase durara 3 semanas.

- Fase 2: se analizará el proceso de producción de huevos, desde que la gallina ingresa al galpón hasta que termina su proceso de producción. Se documentará con un formato aplicando la técnica de elaboración de diagrama de flujo.

Esta fase durara 2 semanas.

- Fase 3: elaboración de un diagrama de flujo de acuerdo con el proceso de producción analizado, utilizando la técnica de diagrama de flujo.

Esta fase durara 2 semanas.

- Fase 4: identificar la criticidad de los equipos de producción aplicando el método de matriz de criticidad, de acuerdo de la ubicación de los equipos en el diagrama de flujo del proceso de producción de huevos.

Esta fase durara 2 semanas.

- Fase 5: elaboración de un plan de mantenimiento preventivo a los equipos de producción de huevos, utilizando las recomendaciones de las normas internacionales de mantenimiento y un análisis beneficio-costo, para determinar la viabilidad del plan de mantenimiento preventivo.

Esta fase durara 5 semanas.

9.5. Resultados esperados

Al finalizar el estudio se obtendrá un plan de mantenimiento preventivo basado en normas internacionales de mantenimiento, este estudio logrará minimizar el problema principal de los paros no programados en la planta de producción de huevos, reduciendo los gastos de mantenimiento.

9.6. Población y muestra

La población del estudio de investigación está conformada por 190 unidades de estudio que corresponden a los equipos de producción de huevos. No se calculará la muestra, sino que se tomará como muestra 1 equipo por sistema, ya que los equipos en el sistema son idénticos, siendo un total de 17 equipos a evaluar.

La siguiente tabla contiene la información de todos los equipos instalados, con el nombre de la función que efectúa cada uno de ellos, siendo un total de 17 sistemas, desde la alimentación de las aves hasta la elaboración del producto final; con base a la información presentada en la tabla unidad de análisis se tomó la muestra.

Tabla 2.

Unidades de muestra

Unidad de estudio	Número de población
Extractor de gallinaza	14
Banda recolectora de huevos	12
Soplador de huevos	6
Alimentador silos	6
Carro de alimentación	6
Contador de huevos	12
Basculas de silos	36
Elvador de huevos	6
Sensores de agua	36
Sensores de temperatura	5
Ventiladores	25
Trasportador de huevos	5
Clasificadora	1
Panel de control	12
Tablero de distribucion	7
Transformador de corriente	1
Total	190

Nota. Datos de los equipos de producción de huevos. Elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Los datos recopilados serán tabulados y dados a conocer por medio de tablas en el programa Microsoft Excel.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

A continuación, se presenta en la siguiente tabla las herramientas necesarias de análisis, que cumplan con los objetivos para el desarrollo de la propuesta de plan de mantenimiento preventivo

Tabla 3.
Técnicas de análisis

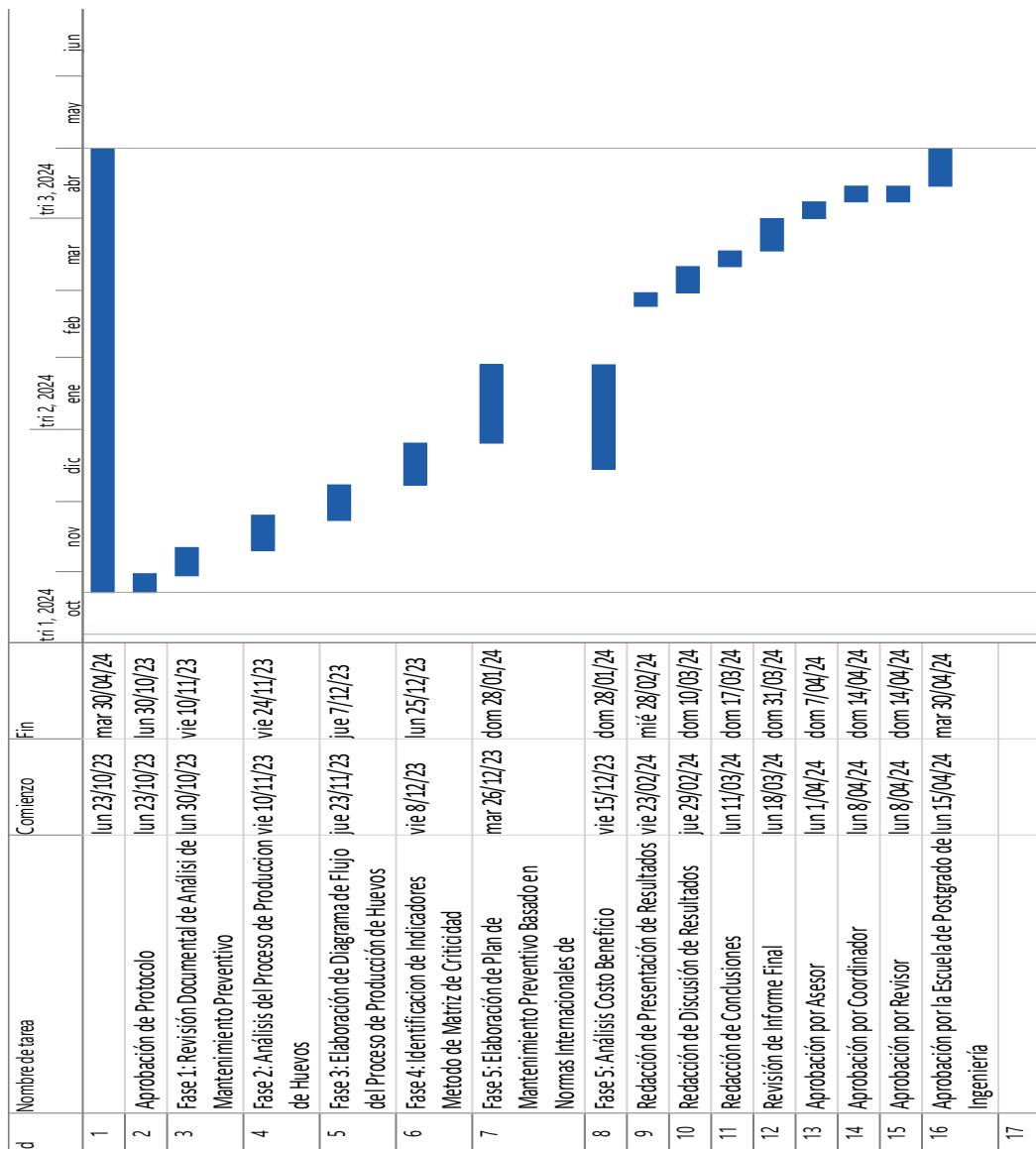
Objetivo	Vaarialbe	Tipo de presentación	Tipo de análisis
<u>1. Identificar la criticidad de los equipos en el proceso de producción de huevos.</u>	Criticidad de equipos	Se presentaran los resultados obtenidos a travez de una tabla de Excel.	Se evaluaran los equipos por medio de una matriz de criticidad, siendo el resultado de forma descriptiva.
<u>2. Evaluar los indicadores de mantenimiento del equipo de producción para la elaboración de un plan de mantenimiento.</u>	Indicadores de mantenimiento	Se presentaran los resultados obtenidos a travez de una tabla de Excel.	Se evaluaran por medio de los indicadores de mantenimiento MTTR, MTBF Y D, calculando la media de los factores de cada indicador.
<u>3. Generar una guia de rutinas de mantenimiento preventivo para obtener las condiciones adecuadas de funcionamiento de los equipos utilizando normas internacionales de mantenimiento.</u>	Guia de rutinas de mantenimiento preventivo	Se presentaran las rutinas de mantenimiento por medio de un formato realizado en Excel.	Se diseñara los formatos de mantenimiento preventivo, basandose en las recomendaciones de las normas internacionales de mantenimiento.
<u>4. Determinar la viabilidad de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo a travez del costo-beneficio.</u>	Determinar la viabilidad	Se presentaran las rutinas de mantenimiento por medio de un formato realizado en Excel.	Se evaluara si la propuesta de mantenimiento preventivo es viable o no a través de un del análisis costo-beneficio.

Nota. Tabla de técnicas de unidades de análisis Elaboración propia, realizado con Microsoft Excel

11. CRONOGRAMA

Figura 10.

Cronograma de actividades



Nota: Cronograma de actividades del proyecto de investigación Elaboración propia, realizado con Microsoft Project.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El trabajo de investigación será factible, debido a que se contaran con todos los recursos necesarios para la elaboración del estudio, cabe mencionar que la empresa brindara apoyo, suministrando equipos, materiales y recurso humano para la elaboración del plan de mantenimiento.

- Recurso humano: se tendrá apoyo del personal de producción de la empresa que hará la labor de acompañamiento en las instalaciones para la recopilación de los datos del proceso de producción de huevos, también se contará con el apoyo del personal de mantenimiento, para identificar los equipos instalados en la avícola. De igual manera se contará con el apoyo del asesor del trabajo de investigación, el cual aportará el conocimiento adquirido durante su carrera profesional en el área de mantenimiento.
- Recursos físicos y material: se hará uso de un vehículo propiedad del investigador, equipo de elevación (andamios), tinta para impresora y papel, proporcionado por la empresa.
- Recursos tecnológicos: se utilizará los servicios telefónicos e internet, se comprarán las normas NFPA 70B y NFPA 70E de forma digital y una computadora portátil para el departamento de mantenimiento.

Tabla 4.
Presupuesto

	Descripción	Costo (Q)	Proveedor	Porcentaje
Recurso Humano	Personal de	Q4,500.00	Empresa	16.13%
	Personal de producción	Q3,950.00	Empresa	14.16%
	Asesor del trabajo de investigación	Q2,500.00	Propio	8.96%
Recurso físico y material	Investigador	Q0.00	Propio	0%
	Vehículo	Q2,850.00	Propio	10.22%
	Papel	Q200.00	Empresa	0.72%
Recurso Tenológico	Equipo de elevación	Q2,800.00	Empresa	10.04%
	Tinta para impresora	Q350.00	Empresa	1.25%
	Servicio telefónico	Q750.00	Propio	2.69%
Recursos varios	Servicio de internet	Q475.00	Propio	1.70%
	Computadora	Q5,850.00	Empresa	20.97%
	Norma NFPA 70B	Q1,169.65	Empresa	4.19%
	Norma NFPA 70E	Q1,169.65	Empresa	4.19%
	Total	Q27,892.52		100%

Nota: Presupuesto. Elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

El 28.33 % del total del presupuesto de la investigación será proporcionado por el investigador.

REFERENCIAS

- Aguilar, B. (2021). Análisis costo-beneficio para usuarios de los servicios que prestan las operadoras de Servicio Móvil Avanzado en Ecuador. [Tesis de Maestría, Universidad Andina Simón Bolívar, Quito Ecuador] Archivo digital. <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/8283/1/T3607-MAE-Aguilar-Analisis.pdf>
- Arevalo, H. (2021). Diseño de un sistema de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la productividad en la línea de producción de fideos de la empresa Perupast S.R.L.[Tesis de Maestría, Universidad Católica Santo Toribio De Mogrovejo] Archivo digital. https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/4286/1/TM_ArevaloFernandezHeinz.pdf
- Arroyo, C. & Obando, R. (2022). Importancia de la implementación de mantenimiento preventivo en las plantas de producción para optimizar procesos. Revista Journal Of Engineering Sciences. 4 (10), pág. 59-69.
- Cárdenas, G. (2022). Mantenimiento preventivo en equipos de automatización e instrumentación del proceso de extracción de jugo en tandem de molinos de un ingenio azucarero ubicado en el departamento de Escuintla, Guatemala. [Tesis de Maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo digital. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0878_MT.pdf

Coronado, C. (2022). *Protocolo de mantenimiento correctivo y preventivo de una caldera acua pirotubular con referencia en la norma api rp 572 para evitar tiempos muertos en una industria de alimentos ubicada en la república de Guatemala.* [Tesis de Maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala] Archivo digital. <https://drive.google.com/file/d/1wUwCpFLWPKcPGfFiFvGe1Kgte4ml3In/view?usp=sharing>

Donce, E. (2014). La productividad en el mantenimiento industrial. Grupo Editorial Patria.

Fabelo, O. & Sánchez, D. (2009). Propuesta de metodología del costo del no mantenimiento. Ingeniería Mecánica. 12(1), pág. 49-58. <https://www.redalyc.org/pdf/2251/225114975006.pdf>

Gómez, A. & Gómez K. (2019). Muestreo estadístico para docentes y estudiantes. https://tauniversity.org/sites/default/files/ebook_muestreo_estadistico_para_docentes_y_estudiantes. dr. angel gomez degraves y prof. karine gomez marquina.pdf

González, F. (2005). Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado. Editorial Fundación Confemetal.

Hernández, C. (2014). Metodología de la investigación. MCGRAW-HILL

Lohmann, B. (2021). Ponedoras. LOHmann BROWN-CLASSIC. 9(11), 1-48. https://lohmann-breeders.com/media/2021/06/LB_MG_LB-Classic_ESP.pdf

Loya, D. (2020). Diseño de un plan de mantenimiento predictivo para el área de abastecimiento corte térmico de la empresa SEDEMI. [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica Indoamérica, Quito Ecuador] Archivo digital. <https://repositorio.uti.edu.ec/bitstream/123456789/1612/1/PROYECTO%20DE%20INVESTIGACI%C3%93N%20LOYA%20%C3%91ATO%20DAR%C3%8DO%20ROLANDO.pdf>

Medrano, J. (2017). Mantenimiento técnicas y aplicaciones industriales. Grupo Editorial Patria.

Mercado, V. & Peña, J. (2016). Modelo de gestión de mantenimiento enfocado en la eficiencia y optimización de la energía eléctrica. Revista Saber. 28(1), pág. 99-105. https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S131501622016000100010&script=sci_abstract

Montilla, C. (2019). Fundamentos de mantenimiento industrial. Editorial Universidad Tecnológica de Pereira

Moubray, J. (2004). *Mantenimiento centrado en la confiabilidad*. Aladon Ltd

Norma NFPA 70B (2016) práctica recomendada para el mantenimiento de equipos eléctricos. Asociación nacional de protección contra el fuego.

Norma NFPA 70E (2018). Norma para la seguridad eléctrica en lugares de trabajo. Asociación nacional de protección contra el fuego.

Ortega, B. (2012). Análisis coste-beneficio. *Extoikos*. 5, 147-149.

Pérez, F. (2021). Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial.
Ediciones USTA

Pillado, M., Castillo, V., & de la Riva, J. (2022). Metodología de administración para el mantenimiento preventivo como base de la confiabilidad de las máquinas. *Revista Iberoamericana para la Investigación y Desarrollo*, Ciudad Juárez, México Vol. 12(24)
<https://doi.org/10.23913/ride.v12i24.1218>

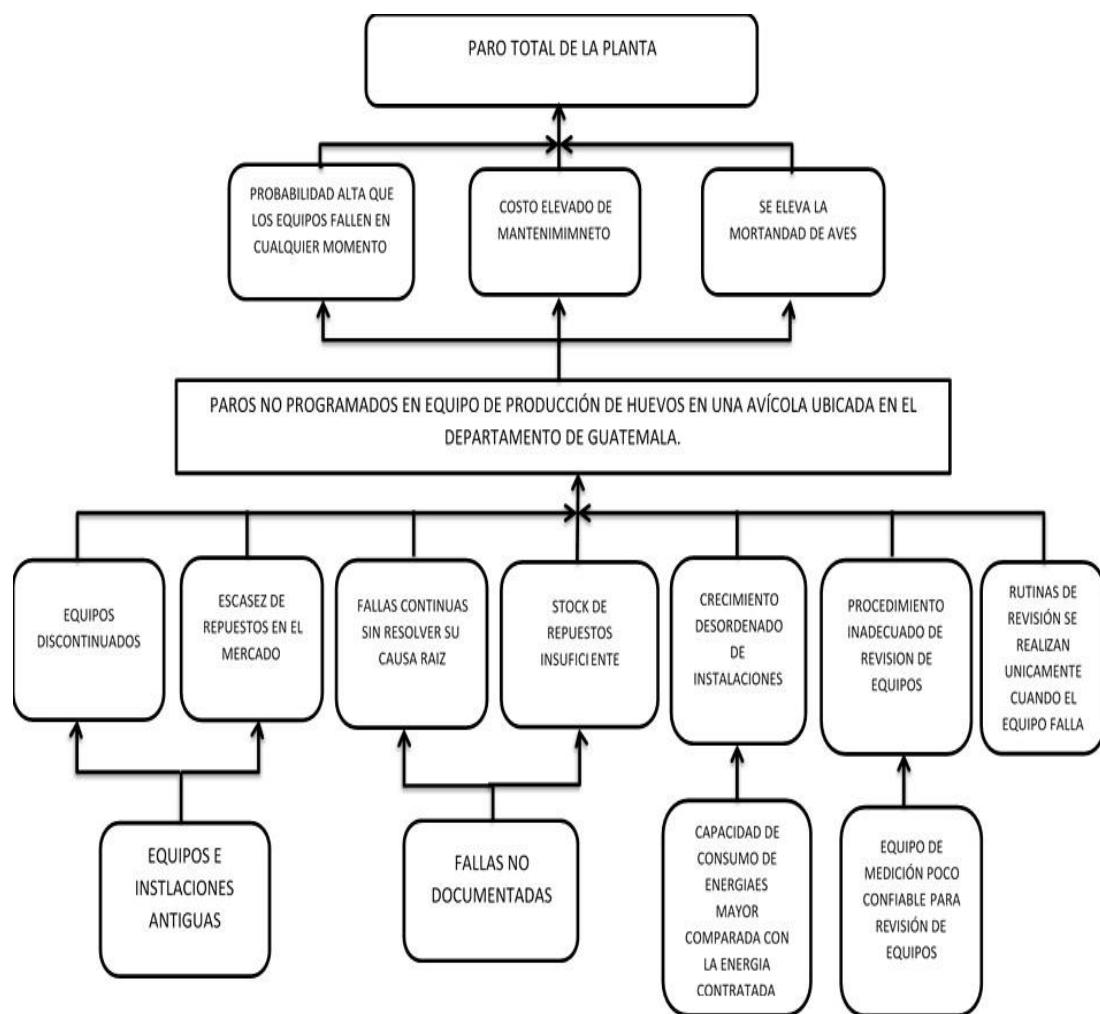
Rivera, R. (2023). Diseño de una herramienta tecnológica basada en excel avanzado e indicadores de control del plan de mantenimiento para servicios y línea productiva de productos perecederos. [*Tesis de Maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala*]. Archivo digital.
https://drive.google.com/file/d/1p-rb6pMOzCz_4y42YOPaOEJaOutH_BoP/view?usp=sharing

Santos, J., Gutiérrez, E., Strefezza, M. & Agüero. Análisis de criticidad integral de activos físicos. *Revista Investigaciones Científicas UNERMB (NE)*. 4, pág. 9-38. <http://bdigital.ula.ve/storage/pdf/incip/v4n1-2/art02.pdf>

Tavares, L. (2000). Administración moderna de mantenimiento, Editorial Datastream System Inc.

APÉNDICE

Apéndice 1 Árbol de problemas



Nota. Diagrama de árbol de problemas. Elaboración propia realizado, con Microsoft Word

Apéndice 2

Matriz de coherencia

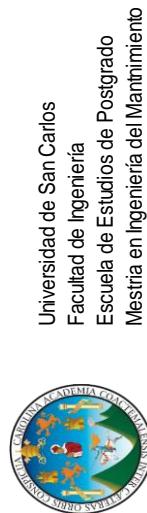
|

Objetivo	Vaivariable	Tipo de presentación	Tipo de análisis
1. Identificar la criticidad de los equipos en el proceso de producción de huevos.	Criticidad de equipos	Se presentaran los resultados obtenidos a travez de una tabla de Excel.	Se evaluaran los equipos por medio de una matriz de criticidad, siendo el resultado de forma descriptiva.
2. Evaluar los indicadores de mantenimiento del equipo de prouducción para la elaboración de un plan de mantenimiento.	Indicadores de mantenimiento	Se presentaran los resultados obtenidos a travez de una tabla de Excel.	Se evaluaran por medio de los indicadores de mantenimiento MTTR, MTBF Y D, calculando la media de los factores de cada indicador.
3. Generar una guia de rutinas de mantenimiento preventivo para obtener las condiciones adecuadas de funcionamiento de los equipos utilizando normas internacionales de mantenimiento.	Guia de rutinas de mantenimiento preventivo	Se presentaran las rutinas de mantenimiento por medio de un formato realizado en Excel.	Se diseñara los formatos de mantenimiento preventivo, basandose en las recomendaciones de las normas internacionales de mantenimiento.
4. Determinar la viabilildad de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo a travez del costo-beneficio.	Determinar la viabilidad	Se presentaran las rutinas de mantenimiento por medio de un formato realizado en Excel.	Se evaluara si la propuesta de mantenimiento preventivo es viable o no a través de un del análisis costo-beneficio.

Nota. Matriz de coherencia Elaboración propia, realizado con Microsoft Excel

Apéndice 3.

Proceso de producción de huevos

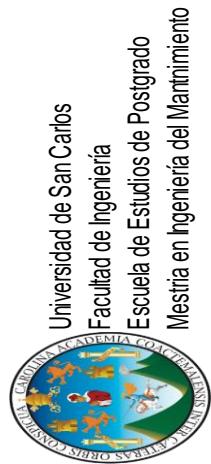


PROCESO DE PRODUCCIÓN DE HUEVOS					
FASE DEL PROCESO:	NOMBRE DEL PROCESO:		FECHA: _____		
UBICACIÓN / ÁREA:	ENCARGADO DE OPERACIÓN EQUIPO		HOJA NÚM. _____		
NOMBRE DEL OPERARIO:	TIEMPO DE DURACIÓN DEL PROCESO:		_____		
Núm.	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	NOMBRE DEL EQUIPO	HORA DE INICIO	HORA DE FINALIZACIÓN	CANTIDAD DE EQUIPOS
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
OBSERVACIONES:					

Nota. Herramienta para elaborar un diagrama de flujo del proceso de producción de huevos y los equipos involucrados en cada fase del diagrama de flujo. Elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Apéndice 4

Características de equipos de producción



CARACTERÍSTICAS DE EQUIPOS					
NOMBRE DEL PROCESO: _____		FECHA: _____		OBSERVACIONES: _____	
UBICACIÓN / ÁREA: _____		HOJA No. _____			
ITEM	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	VOLTAJE	POTENCIA	CORRIENTE	TIPO DE SEÑAL
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Nota. Herramienta para recopilación de características de equipos para elaborar rutinas y plan de mantenimiento por recomendación de la Norma NFPA 70B. Elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.