



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ

**FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
ARQUITECTURA**

CARRERA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN

DEL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

“Análisis de viabilidad y mantenimiento predictivo en maquinaria industrial de INHARIPAC S.A. utilizando métodos estadísticos”

Autor:

Sr. Yandry Andrés Zambrano Conforme

Tutor de Titulación:

Ing. Manuel Hidrovo Macias, Mg.

Manta - Manabí - Ecuador

2025

UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ
FACULTAD DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y ARQUITECTURA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

“Análisis de viabilidad y mantenimiento predictivo en maquinaria industrial de INHARIPAC S.A. utilizando métodos estadísticos”

INGENIERO INDUSTRIAL

Aprobado por el Tribunal Examinador:

DECANO DE LA FACULTAD
Dr. Héctor Cedeño

DIRECTOR
Ing. David Loor

JURADO EXAMINADOR
Ing. Angelica Indacochea

JURADO EXAMINADOR
Ing. Raúl Quimis

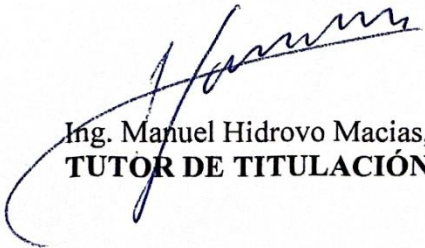
Certificación del Tutor

En calidad de docente tutor de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante Yandry Andrés Zambrano Conforme, legalmente matriculado en la carrera de Ingeniería Industrial, período académico 2025-1, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es “Análisis de viabilidad y mantenimiento predictivo en maquinaria industrial de INHARIPAC S.A. utilizando métodos estadísticos”.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad de este, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.



Ing. Manuel Hidrovo Macias, Mg.
TUTOR DE TITULACIÓN

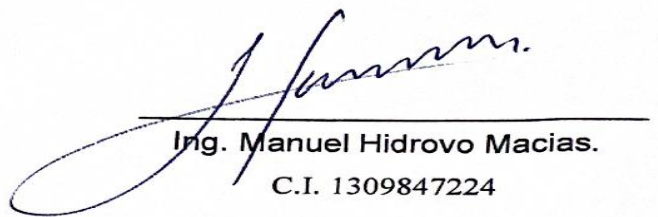
Declaración De Autoría De Tesis

Yandry Andrés Zambrano Conforme, estudiante de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Facultad de Ingeniería Industria y Arquitectura, Carrera de Ingeniería Industrial, libre y voluntariamente declaro que la responsabilidad del contenido del presente trabajo titulado “Análisis de viabilidad y mantenimiento predictivo en maquinaria industrial de INHARIPAC S.A. utilizando métodos estadísticos.” Es una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del tutor, Ing. Barberán Cevallos Patricio y la propiedad intelectual de la misma pertenece a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.



Zambrano Conforme Yandry Andrés

C.I. 1313194852



Ing. Manuel Hidrovo Macias.

C.I. 1309847224

Dedicatoria

Dedico este logro, desde lo más profundo de mi corazón, a Dios, quien ha sido mi fuerza en los momentos de debilidad y mi luz cuando todo parecía oscuro. Agradezco su impulso constante en mi vida, guiando cada paso con amor y propósito. En especial a mi madre, a quien admiro con todo mi ser, mi motor para seguir adelante, siempre apoyándome inquebrantablemente, su amor inmenso y su ejemplo de entrega y valentía. Y a mi padre, por ser mi ejemplo a seguir, por acompañarme en cada decisión importante, por enseñarme a luchar con coraje y por demostrarme con su vida el verdadero significado de la perseverancia. Sin ustedes, este sueño no tendría el mismo valor ni el mismo sentido.

Agradecimiento

Esta tesis que con mucho esfuerzo la he realizado se la quiero dedicar primeramente a Dios, por ser mi guía constante, por darme la fuerza en los momentos de incertidumbre y por regalarme la dicha de llegar a este instante tan especial en mi vida. Gracias por darme la fuerza y acompañarme en cada paso, en cada lucha, en cada victoria y también en cada caída.

A mi madre Shirley Conforme, mi pilar más firme, mi refugio y mi mayor inspiración. Gracias por cada palabra de aliento, por cada gesto de amor, por tu compañía incondicional y por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Tus sacrificios, tu paciencia y tu entrega son parte de este logro, porque sin ti, este sueño no tendría sentido.

A mi padre Dr. Gustavo Zambrano, por tu sabiduría y por ser esa voz serena que me ha enseñado a ver la vida con madurez. Tus consejos han sido faros en los momentos difíciles, y tu apoyo incondicional que nunca me desamparó ha sido fundamental para llegar hasta aquí y convertirme en la persona que soy ahora.

A mi familia en general, para poder seguir compartiendo momentos significativos juntos y por siempre estar en los buenos y malos momentos.

A mi novia Angie Quiroz, mi amor gracias por estar a mi lado en este camino lleno de retos, por tu comprensión en los días difíciles, por tu apoyo incondicional y por ser una fuente constante de motivación.

A mi tutor de tesis, con sincera gratitud, por haberme brindado no solo su conocimiento, sino también su paciencia, tiempo y dedicación en cada etapa de este proceso. Gracias por creer en mi capacidad, por orientarme con sabiduría y por acompañarme con compromiso en este camino que no fue fácil. Su apoyo fue fundamental para alcanzar este objetivo tan importante en mi vida académica y personal.

INDICE DE CONTENIDO

Certificación del Tutor.....	
Declaración De Autoría De Tesis	
Dedicatoria.....	
Agradecimiento	
Resumen Ejecutivo.....	
Executive Summary	
Introducción	1
Antecedentes	2
Planteamiento del problema	1
Formulación del problema	3
Preguntas directrices	3
Objetivos.....	1
Objetivo General	1
Objetivos Específicos.....	1
Justificación	1
Capítulo 1	1
1 Fundamentación Teórica.....	1
1.1 Antecedentes Investigativos	1
1.2 Bases Teóricas.....	3
1.2.1 Conceptos fundamentales del mantenimiento industrial.	3
1.3 Marco Conceptual.....	6
1.3.1 Ventajas del mantenimiento predictivo.....	6
1.3.2 Desventajas del mantenimiento predictivo	6
1.3.3 Como funciona el mantenimiento predictivo	7
1.3.4 Viabilidad técnica y económica	8
1.3.5 Valor actual neto	8
1.3.6 Métodos estadísticos	8

1.3.7	Variables críticas	9
1.3.8	Análisis de riesgo histórico	9
1.4	Marco Legal y Ambiental	10
1.5	Hipótesis y Variables	11
1.5.1	Hipótesis	11
1.5.2	Identificación de las Variables	12
1.6	Marco Metodológico	12
1.6.1	Modalidad Básica de la Investigación	12
1.6.2	Enfoque	13
1.6.3	Nivel de Investigación.....	13
1.6.4	Población de Estudio.....	14
1.6.5	Tamaño de la Muestra	14
1.6.6	Técnicas de recolección de datos	14
1.6.7	Plan de recolección de datos	15
1.6.8	Procesamiento de la Información.....	16
Capítulo 2		1
2	Diagnóstico o Estudio de Campo	1
2.1	Fallas significativas de las máquinas de INHARIPAC S.A.	10
2.1.1	Cocina (Tiempo de operación: 2000 horas).....	10
2.1.2	Secador Rotatubo (Tiempo de operación: 2000 horas)	11
2.1.3	Secador Rotadisco (Tiempo de operación: 1800 horas)	12
2.1.4	Cálculos de indicadores de tiempo medio entre fallas	13
2.2	Mantenimientos estipulados por la empresa	14
2.2.1	Mantenimientos Correctivos	14
2.2.2	Mantenimientos Preventivos	17
2.2.3	Registros asociados.....	21
Capítulo 3		1

3	Propuesta de Mejora.....	1
3.1	Título de la propuesta	1
3.2	Diagnóstico de la situación	1
3.2.1	Poder optimizar la estrategia de mantenimiento	1
3.2.2	Evaluación Económica de la Implementación:	2
3.2.3	Implementación de Buenas Prácticas:	2
3.2.4	Fomento de la Cultura de Mantenimiento Predictivo:	2
3.3	Descripción de la posible propuesta de implementación	3
3.3.1	Implementación de los sensores y recolección de datos en tiempo real	3
3.3.2	Análisis de Viabilidad Económica:	3
3.3.3	Implementación de un Sistema de Monitoreo Continuo y Alertas:.....	3
3.3.4	Capacitación y Cultura Organizacional:	4
3.3.5	Evaluación de Resultados y Mejora Continua:	4
3.4	Análisis comparativo para implementar mantenimiento predictivo	4
3.5	Comparación para propuesta de mantenimiento predictivo	6
3.5.1	Método estadístico o técnicas utilizadas	6
3.5.2	Modelo de implementación del mantenimiento predictivo.....	6
3.5.3	Limites permisibles de las normas internacionales.....	7
3.6	Viabilidad de instalación de sensores del cocinador de INHARIPAC S.A.	10
3.7	Viabilidad de instalación de sensores del secador rotatubo de INHARIPAC S.A. 12	
3.8	Viabilidad de instalación de sensores del secador rotadisco de INHARIPAC S.A. 14	
	Conclusiones.....	1
	Recomendaciones	1
	Bibliografía	1
	Anexos	1

INDICE DE TABLA

Tabla 1.....	15
Tabla 2.....	8
Tabla 3.....	11
Tabla 4.....	12
Tabla 5.....	12
Tabla 6.....	14
Tabla 7.....	15
Tabla 8.....	16
Tabla 9.....	17
Tabla 10.....	18
Tabla 11.....	19
Tabla 12.....	21
Tabla 13.....	7

INDICE DE FIGURA

Figura 1.....	7
Figura 2.....	4
Figura 3.....	4
Figura 4.....	5
Figura 5.....	7
Figura 6.....	10
Figura 7.....	8
Figura 8.....	10
Figura 9.....	12
Figura 10.....	14

Resumen Ejecutivo

El presente proyecto, se centra en la problemática de las paradas imprevistas en equipos críticos del proceso productivo, como la cocina, el secador rotadisco y el secador rotatubo. Estas interrupciones generan elevados costos operativos y disminuyen la eficiencia global de la planta, comprometiendo la productividad y competitividad de la empresa en el sector de la harina de pescado.

El estudio se desarrolló bajo un enfoque mixto (documental y de campo), aplicando herramientas estadísticas como series temporales y análisis de regresión múltiple para identificar patrones de fallas y calcular indicadores de confiabilidad, entre ellos el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF). Los resultados obtenidos muestran que las principales incidencias se relacionan con fallos en sensores de temperatura, motores de ventilación y sistemas de rotación, generando costos significativos por reparaciones y tiempos de inactividad no programada.

A partir de este diagnóstico, se propone la implementación de un sistema de mantenimiento predictivo basado en el uso de sensores de vibración, temperatura y lubricación, complementado con un sistema de monitoreo en tiempo real y programas de capacitación técnica. El análisis de viabilidad técnica y económica demuestra que esta estrategia es rentable, pues permite reducir costos de mantenimiento, optimizar la disponibilidad operativa de la maquinaria y asegurar la continuidad del proceso productivo, consolidando así la sostenibilidad y eficiencia.

Palabras Clave: Mantenimiento predictivo, viabilidad técnica, métodos estadísticos, MTBF, confiabilidad, eficiencia operativa, optimización de procesos, INHARIPAC S.A.

Executive Summary

The present project focuses on the issue of unexpected stoppages in critical production equipment, such as the cooker, the rotary disc dryer, and the rotary tube dryer. These interruptions generate high operating costs and reduce the overall efficiency of the plant, compromising the company's productivity and competitiveness in the fishmeal industry.

The study was conducted under a mixed approach (documentary and field), applying statistical tools such as time series analysis and multiple regression to identify failure patterns and calculate reliability indicators, including the Mean Time Between Failures (MTBF). The results indicate that the main incidents are related to failures in temperature sensors, ventilation motors, and rotation systems, leading to significant repair expenses and unplanned downtime.

Based on this diagnosis, the research proposes the implementation of a predictive maintenance system supported by vibration, temperature, and lubrication sensors, complemented by real-time monitoring and technical training programs. The technical and economic feasibility analysis demonstrates that this strategy is profitable, as it reduces maintenance costs, improves the operational availability of machinery, and ensures continuity in the production process, thereby strengthening the sustainability and efficiency of INHARIPAC S.A.

Keywords: Predictive maintenance, technical feasibility, statistical methods, MTBF, reliability, operational efficiency, process optimization, INHARIPAC S.A.

Introducción

La fiabilidad de los equipos industriales es un tema crucial para garantizar la eficiencia operativa y la calidad de los productos en diversos sectores. En la industria de la harina de pescado, el mantenimiento adecuado de las máquinas es esencial, especialmente en equipos clave como la cocina industrial y los secadores rotatubo y rotadisco. Estos equipos se encargan de la mayoría del proceso productivo, y cualquier error imprevisto puede afectar de manera considerable la productividad y la calidad del producto final. La aplicación de métodos de mantenimiento predictivo surge como una opción alentadora para reducir los periodos de paralización no previstos y maximizar los gastos operativos.

Este análisis trata sobre la factibilidad y las ventajas de instaurar un sistema de mantenimiento predictivo en INHARIPAC S.A., una compañía especializada en la fabricación de harina de pescado. Mediante el estudio de vibraciones y la recolección de información histórica de fallos, se ha determinado que gran cantidad de las fallas recurrentes podrían prevenir y prevenirse a través de la implementación de sensores para supervisar la condición de los equipos. Este estudio, fundamentado en estudios anteriores y en la experiencia de los operadores de la planta, sugiere una aplicación progresiva del mantenimiento predictivo, que implicaría la colocación de sensores de vibración en zonas críticas de las máquinas más importantes.

El propósito principal de este estudio es elaborar una propuesta para la aplicación del mantenimiento predictivo, resaltando su capacidad a fin de incrementar la confiabilidad de las máquinas, disminuir los gastos relacionados con errores inesperados y mejorar los tiempos de producción. En el documento, se examinarán los datos históricos de errores, los gastos de reparación y el efecto de la aplicación de los sensores de vibración, además de la valoración financiera de este método. Este análisis ofrece una guía para futuros estudios sobre el

mantenimiento predictivo y su incorporación en procesos industriales, poniendo especial atención en la industria de la harina de pescado.

Antecedentes

El estudio de viabilidad y mantenimiento predictivo en maquinaria industrial es un asunto de creciente importancia para las compañías de la industria, particularmente en las que su producción se basa en gran parte en equipos de elevado costo y complejidad. El caso de INHARIPAC S.A., una empresa dedicada a la producción de harina de pescado, es un claro ejemplo de la importancia de contar con un sistema de mantenimiento predictivo. La planta, ubicada en la provincia de Manabí, enfrenta desafíos debido a la falta de monitoreo adecuado en componentes clave del proceso, como los secadores y la cocina, que son esenciales para garantizar la calidad del producto final y la continuidad de la producción.

En esta situación, los equipos que participan en la fase de cocción y secado son esenciales para la eficacia del procedimiento. No obstante, la planta carece de los sensores requeridos para anticipar fallos en estos dispositivos, lo que podría provocar periodos de parada imprevistos y, consecuentemente, pérdidas financieras. La ausencia de sensores de vibración, temperatura y otros aparatos de seguimiento disminuye la habilidad de la compañía para actuar oportunamente y evitar posibles errores. La puesta en marcha de un sistema de mantenimiento predictivo posibilitaría prever inconvenientes en los equipos antes de que se transformen en averías serias, lo que a su vez disminuiría los gastos de mantenimiento y los periodos de parada de la planta.

Si se analizan estadísticamente los datos operativos de la maquinaria, se pueden detectar patrones habituales en las fallas y, a través de la intervención correcta, prevenir que estas impacten en la producción. Además, el uso de técnicas estadísticas posibilitaría valorar la factibilidad financiera de instaurar un sistema de mantenimiento predictivo, teniendo en cuenta

tanto los gastos iniciales de instalación como las ventajas a largo plazo resultantes de la optimización en la eficiencia operativa.

Por lo tanto, la evaluación de la factibilidad del mantenimiento predictivo en INHARIPAC S.A. resulta crucial no solo para incrementar la eficacia de sus operaciones, sino también para disminuir gastos y potenciar la calidad del producto final. La implementación de un sistema basado en el análisis estadístico y el monitoreo adecuado de la maquinaria permitirá a la empresa optimizar sus recursos y fortalecer su posición competitiva en la industria.

Planteamiento del problema

Contexto Macro:

Cifuentes (2023), en su investigación expuso a la industria de la maquinaria pesada fundamental para la economía de muchos países, ya que implica un alto nivel de inversión en equipos y procesos, en este sector, la eficiencia operativa y la reducción de costos son esenciales, especialmente cuando se trata de maquinaria industrial utilizada en procesos de producción intensivos.

Aun así, Alvarado & longo (2024) afirman que la industria enfrenta el constante reto de garantizar el funcionamiento eficiente y seguro de sus activos, por lo tanto, los métodos tradicionales de mantenimiento, que se basan en inspecciones programadas o en intervalos de tiempo, suelen generar costos elevados y períodos de inactividad imprevistos. Por eso con el avance de la digitalización y la disponibilidad de datos en tiempo real, se abre una oportunidad para adoptar el mantenimiento predictivo. No obstante, para que esta estrategia sea efectiva, es esencial contar con modelos predictivos precisos que permitan anticipar posibles fallas.

Contexto Meso:

En Guatemala América Latina, la ausencia de un sistema de mantenimiento predictivo y la dependencia de métodos tradicionales como el mantenimiento preventivo y correctivo han ocasionado elevados costos operativos, debido a la ineficiencia en la gestión de los tiempos de inactividad y los fallos recurrentes en equipos clave (Girón 2017). A su vez, López (2004), hace referencia al mercado actual, existen dispositivos capaces de realizar mediciones con gran precisión a precios relativamente bajos. Estos equipos, cuando se utilizan de manera adecuada, mejoran significativamente el control sobre los activos, permitiendo implementar estrategias de mantenimiento predictivo eficientes y con costos reducidos.

Contexto Micro:

De acuerdo con lo expresado por Buelvas & Martínez (2014), el análisis de los registros históricos de fallos y mantenimientos pueden mostrar patrones recurrentes, lo que indica la existencia de variables críticas que afectan directamente el rendimiento de la maquinaria sin un sistema predictivo eficiente, el personal de mantenimiento se ve obligado a reaccionar solo cuando ocurre un fallo, lo que incrementa los costos debido a paros no planificados y la necesidad de reemplazar repuestos con frecuencia. Por eso Cedeño et al (2016), asegura que, en Milagros, Ecuador, el mantenimiento es esencial en cualquier industria, ya que asegura que los equipos y activos de la empresa estén disponibles y operando de manera óptima. Este proceso es clave para mantener los costos bajos, lo que, a su vez, contribuye a garantizar la producción y, por ende, la productividad de la empresa.

Según los datos históricos recopilados, la empresa INHARICPA S.A. no ha adoptado aún el mantenimiento predictivo para sus máquinas de proceso. Esto ha generado que la compañía no disponga de las herramientas necesarias para maximizar la vida útil de aquellas máquinas que son esenciales y críticas para el proceso de producción. Esta falta de implementación podría estar afectando la eficiencia operativa y, en consecuencia, la competitividad de la empresa en su sector.

Formulación del problema

¿Es factible implementar el mantenimiento predictivo en la maquinaria industrial de INHARIPAC S.A. mediante métodos estadísticos para reducir los tiempos de inactividad y optimizar la eficiencia de los procesos?

Preguntas directrices

¿Qué patrones recurrentes y causas subyacentes de fallos podrían identificarse a partir del análisis de los registros históricos de mantenimiento de la maquinaria en la empresa?

¿Cuáles sería los factores claves de mantenimiento predictivo en INHARIPAC S.A. que se consideran beneficiosos?

¿Qué modelos y estrategias han sido aplicados con éxito en empresas industriales similares a INHARIPAC S.A., y cuáles son las buenas prácticas y factores críticos que podrían servir como referencia para su implementación?

Objetivos

Objetivo General

- Evaluar la factibilidad del mantenimiento predictivo en la maquinaria industrial de INHARIPAC S.A., mediante métodos estadísticos, con el fin de minimizar los tiempos de inactividad y mejorar la eficiencia de los procesos.

Objetivos Específicos

- Analizar los registros históricos de fallos y mantenimiento de la maquinaria en INHARIPAC S.A. para identificar patrones recurrentes y causas subyacentes de los fallos.
- Determinar la viabilidad de factores claves de mantenimiento predictivo en INHARIPAC S.A., considerando los beneficios.
- Explorar modelos y estrategias de mantenimiento predictivo aplicables a empresas industriales con el fin de identificar buenas prácticas y factores críticos de éxito para una posible implementación futura.

Justificación

La implementación de mantenimiento predictivo es fundamental para mejorar la disponibilidad operativa maquinaria industrial. Esta estrategia, basada en el monitoreo continuo de los equipos mediante tecnologías avanzadas como sensores IoT y análisis de aceite SOS, permite anticipar fallas antes de que ocurran (Quispe & Achahui, 2025). Según lo expuesto, Es importante la implementación del mantenimiento predictivo ya que ayuda a tener un registro de monitoreo cosa con la que en INHARIPAC S.A no cuenta, esta también le ayudaría mucho a predecir fallos que conllevaría a paradas no programadas siendo una pérdida por inactividad.

De igual manera en el trabajo de investigación de Córdova (2025), Afirma la importancia de la implementación de un plan de mantenimiento industrial predictivo para mejorar la disponibilidad operativa de los equipos. Por lo que este enfoque se basa en la recolección y el análisis de datos operacionales de los equipos, lo que permite anticipar fallas antes de que ocurran. Así mismo, se busca recopilar información de datos históricos en la empresa la cual se busca la propuesta de implementar los mantenimientos predictivos, para poder tener un análisis de viabilidad implementándolo.

Por último, según Infante (2023), la implementación de mantenimiento predictivo en sistemas industriales se puede optimizar mediante el uso de métodos estadísticos. Este método permite detectar patrones y correlaciones en los datos recogidos de los equipos y sistemas, lo cual facilita la identificación de fallos antes de que ocurran.

Capítulo 1

1 Fundamentación Teórica

1.1 Antecedentes Investigativos

Las herramientas estadísticas son válidas para abordar la identificación de procesos críticos de la producción como lo ha demostrado Benítez Guzmán (2024), quien lo abordó a través de las gráficas de Pareto, dicho estudio fue clave para reducir los tiempos de inactividad no planificados y mejorar la disponibilidad de los equipos, implementando una programación de mantenimiento preventivo, utilizando un enfoque basado en datos históricos.

En contraposición, tenemos el caso de Medancich (2024), que estudió la aplicación del mantenimiento predictivo en el contexto de unidades navales de edad avanzada, estudiando cómo los progresos en los métodos de vigilancia en tiempo real, como los sensores de vibración y la termografía, han contribuido a incrementar la confiabilidad de estos aparatos. Por otro lado, este análisis es crucial para el estudio dado que ofrece pruebas sobre la factibilidad del mantenimiento predictivo en sistemas de larga duración, parecido a la maquinaria industrial de la compañía.

El propósito de la estadística es emplear los datos recabados de una muestra representativa de personas para derivar conclusiones que puedan ser aplicables a una población más amplia, siempre que dicha población tenga rasgos parecidos con la muestra analizada (Jiménez, 2011). Mediante el uso de modelos estadísticos, se pueden prever los riesgos asociados al desempeño de las máquinas y organizar intervenciones antes de que se produzcan fallos costosos. Este método disminuye considerablemente la incertidumbre, mejora la administración de los recursos y potencia la eficiencia en las operaciones, posibilitando la

implementación de acciones correctivas en el momento adecuado, fundamentadas en datos exactos y análisis previstos (Izurieta et al., 2022).

En relación a otro punto, Lamas (2022) afirma que los sensores inteligentes son cruciales en el mantenimiento predictivo, dado que posibilitan una supervisión constante y en tiempo real de los activos, lo que permite la detección precoz de irregularidades o errores en los dispositivos. Esto no solo incrementa la eficacia en las operaciones, sino que también ofrece un fundamento firme para la creación de modelos predictivos que posibilitan prever el comportamiento de los equipos y perfeccionar su conservación. Por otro lado, Castro (2008), Según su operación, los sensores pueden categorizarse en diversas clases. En cuanto a su contribución energética, se clasifican en dos grupos: los moduladores (activos) y los generadores (pasivos). Los moduladores, también conocidos como sensores activos, utilizan una fuente de energía externa para alimentar la señal de salida, mientras que los generadores (sensores pasivos) dependen de la energía que recibe la señal de salida a través de la entrada.

Finalmente, Mafla et al. (2023), anuncia el mantenimiento predictivo el cual permite realizar un monitoreo continuo de las variables clave en el funcionamiento de las máquinas, lo que ayuda a prever posibles fallos y a tomar las medidas correctivas a tiempo, aunque la implementación de este tipo de mantenimiento puede conllevar altos costos iniciales en equipos, desarrollo y capacitación de personal, su adopción está en constante crecimiento en diversas industrias.

En síntesis, los antecedentes investigativos revisados resultan fundamentales para esta investigación, ya que evidencian cómo el uso de herramientas estadísticas, sensores inteligentes y modelos predictivos ha permitido en diversos contextos mejorar la confiabilidad de los equipos, reducir fallas y optimizar la eficiencia operativa. Estos estudios aportan una base científica y metodológica que respalda la factibilidad de implementar un sistema de

mantenimiento predictivo en INHARIPAC S.A., permitiendo aprovechar experiencias previas y adaptarlas al entorno de la industria de harina de pescado. De esta forma, los antecedentes sirven como punto de partida para sustentar la propuesta planteada y orientan el análisis de viabilidad técnica y económica de la presente investigación.

1.2 Bases Teóricas

1.2.1 Conceptos fundamentales del mantenimiento industrial.

1.2.1.1 Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo se realiza tras la aparición de una avería, con el objetivo de restaurar el funcionamiento de la maquinaria y a menudo se considera una estrategia de última instancia pues este el daño no pudo ser evitado por la ejecución de mantenimiento preventivo y predictivo (Guevara y Pilco, 2023).

Según Guevara y Pilco (2023), este tipo de mantenimiento se realiza tras la aparición de una avería, con el objetivo de restaurar el funcionamiento de la maquinaria y a menudo se considera como una estrategia de última instancia, cuando no es posible evitar los fallos mediante mantenimiento preventivo o predictivo. Además, este enfoque tiene el inconveniente de generar costos adicionales, ya que las paradas inesperadas de las máquinas pueden provocar retrasos en los procesos productivos y pérdida de eficiencia.

De acuerdo con Guevara y Pilco (2023), las empresas que dependen del funcionamiento continuo de sus equipos, experimentan un aumento de costos operativos cuando optan por este tipo de mantenimiento. Por lo tanto, es común que los daños en los componentes, al no ser detectados a tiempo, conduzcan a reparaciones más costosas y una vida útil reducida de la maquinaria.

Como lo demuestra el trabajo de Atupaña y Zavala (2024), En su investigación, se enfatiza la necesidad de llevar a cabo intervenciones correctivas cuando las estrategias preventivas no logran prevenir fallos inesperados. Por lo que, en ciertos casos, es fundamental recurrir a medidas correctivas para asegurar el funcionamiento continuo de los sistemas y equipos, cuando los métodos de mantenimiento preventivo no han sido suficientes para detectar o evitar el problema, ya que este sigue siendo un enfoque necesario en muchos entornos industriales.

1.2.1.2 Mantenimiento Predictivo

De acuerdo con el estudio de Montero et al (2023), el mantenimiento predictivo es una táctica sofisticada que se fundamenta en el seguimiento de la situación de los equipos para anticipar fallos antes de su ocurrencia. No solo mejora la disponibilidad de los activos, sino que también incrementa la eficiencia en las operaciones y disminuye los gastos relacionados con periodos de inactividad imprevistos.

Hernández et al. (2023) sostienen que un sistema de mantenimiento predictivo conlleva la utilización de sensores para supervisar la maquinaria y algoritmos de análisis que posibilitan anticipar fallos mecánicos antes de su ocurrencia. A pesar de que el costo inicial de implementación puede ser alto, las ventajas a largo plazo, como la disminución de los gastos de mantenimiento y la prolongación de la durabilidad de los equipos, respaldan la inversión.

1.2.1.2.1 Importancia del mantenimiento predictivo.

El mantenimiento predictivo es vital para asegurar el funcionamiento constante de los equipos industriales, dado que posibilita el seguimiento de variables esenciales que anticipan posibles averías. A pesar de que demanda una considerable inversión en equipos y formación, sus ventajas comprenden un desempeño máximo de las máquinas, disminución de periodos de inactividad y aumento de la seguridad; En otras palabras, al anticipar y prevenir errores

catastróficos, el mantenimiento predictivo reduce las reparaciones superfluas y prolonga la durabilidad de los equipos (Malambo, 2022).

1.2.1.2.2 Métodos estadísticos utilizados en mantenimiento predictivo.

Ramos & Pachón (2021), resaltan que instrumentos estadísticos como el estudio de series de tiempo y la regresión se emplean para detectar patrones de fallos que se repiten, lo que simplifica la anticipación de problemas antes de que sucedan; por lo tanto. Estos procedimientos no solo facilitan un mantenimiento más eficaz, sino que también maximizan la utilización de recursos y disminuyen los gastos operacionales a largo plazo, garantizando la eficacia en el proceso.

1.2.1.2.3 Monitoreo de condiciones.

Según Cortijo et al. (2023), proponen el monitoreo de condiciones en maquinaria industrial es esencial para implementar un mantenimiento predictivo, ya que facilita el seguimiento constante de variables críticas como la temperatura y las emisiones acústicas. El sistema propuesto en esta investigación utiliza sensores para recopilar estos datos, permitiendo anticipar fallos potenciales antes de que se presenten. Además, Luna (2017) sostiene que el mayor beneficio de este método es la habilidad de recibir alertas precoces, lo que facilita la planificación de intervenciones correctivas antes de que se manifiesten fallos serios. No solo disminuye la posibilidad de fallos catastróficos, sino que también favorece el incremento de la disponibilidad de los equipos y la reducción de los gastos de reparación.

1.2.1.2.4 Análisis de viabilidad del mantenimiento predictivo.

De acuerdo con Morey & Maruri (2025), su estudio acerca de la factibilidad de instaurar un sistema de mantenimiento predictivo se examina mediante la valoración de elementos fundamentales como la optimización de recursos y el incremento en la eficacia operacional. En este estudio, se reconocen las ventajas de la automatización de los procedimientos de vigilancia

y la aplicación de tecnologías de vanguardia, como sensores para la recolección de información en tiempo real.

1.3 Marco Conceptual

1.3.1 Ventajas del mantenimiento predictivo

De acuerdo con Pineda (2025), el mantenimiento predictivo proporciona múltiples beneficios importantes. Primero, incrementa la disponibilidad de la maquinaria al prever problemas antes de que estos generen errores, lo que disminuye el tiempo de parada y optimiza la utilización del equipo. Además, favorece una significativa disminución de los gastos de mantenimiento, dado que se suprimen las reparaciones superfluas.

Finalmente, como enfatiza Pineda (2025) en su estudio, el mantenimiento predictivo también influye positivamente en la seguridad en el trabajo, dado que la identificación precoz de errores disminuye la probabilidad de sufrir accidentes, generando un ambiente laboral más seguro para los trabajadores. En conclusión, este método no solo incrementa la eficacia en las operaciones, sino que también garantiza una administración eficiente de los recursos, manteniendo la planta operando de forma suave y lucrativa.

1.3.2 Desventajas del mantenimiento predictivo

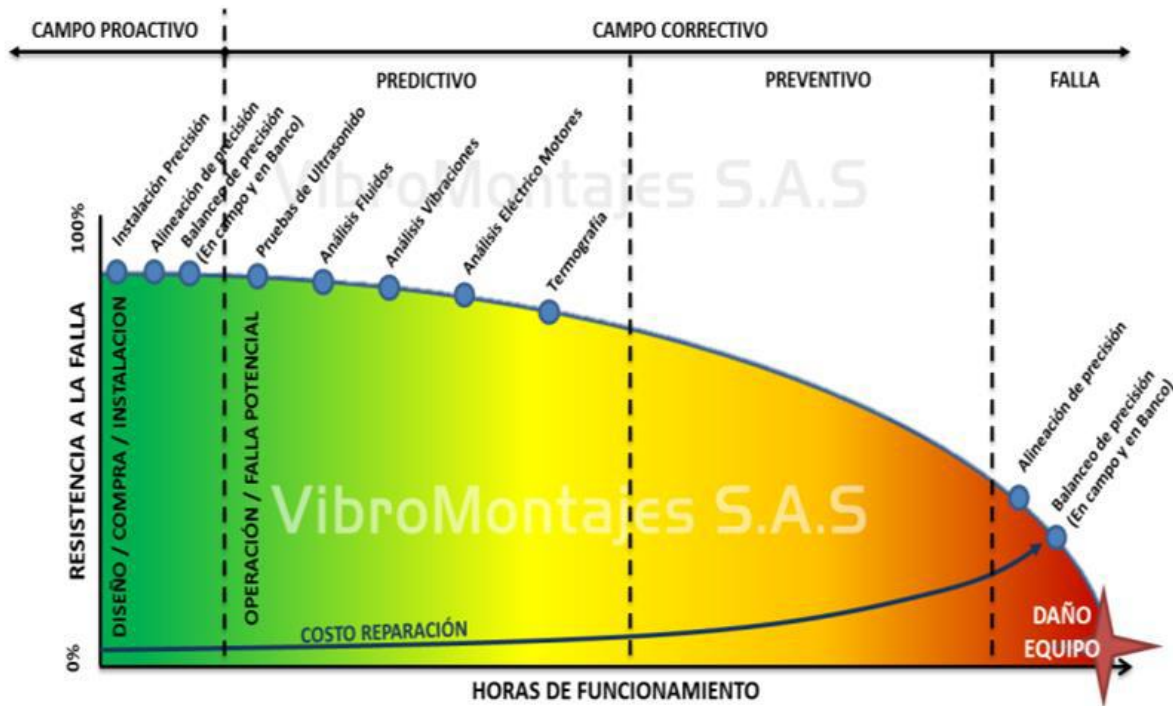
Según Carrera (2024), Instalar un sistema de mantenimiento predictivo supone una inversión considerable, por lo que no todas las empresas pueden afrontarla. requiere un desembolso inicial elevado en sensores, software, integración tecnológica y formación del personal, lo cual puede estar fuera del alcance de compañías con recursos limitados.

De igual manera también aporta que operar estos equipos de alta tecnología exige contar con personal altamente capacitado. Por ello, se requiere un equipo con conocimientos técnicos avanzados tanto en el manejo físico de los instrumentos como en el manejo del software y

sistemas de control para garantizar un funcionamiento preciso y seguro, así como una respuesta rápida ante posibles fallas.

Figura 1

Curva PF para definir la frecuencia del monitoreo de condición



Nota. Fuente: <https://www.linkedin.com/pulse/curva-pf-para-definir-la-frecuencia-del-monitoreo-de-condici%C3%B3n-sas/>

1.3.3 Como funciona el mantenimiento predictivo

De acuerdo con Bravo (2024), el mantenimiento predictivo utiliza diversos métodos para valorar la condición de las máquinas y evitar errores.

- El estudio de vibraciones, que se centra en identificar variaciones en las vibraciones de los dispositivos, lo que podría indicar posibles inconvenientes mecánicos.
- El estudio del aceite, en el que se examinan las muestras de aceite de las máquinas con el fin de detectar indicios de deterioro o polución.

- Se aplica el estudio termográfico, que utiliza cámaras infrarrojas para identificar zonas calientes en los equipos, las cuales podrían señalar averías eléctricas o mecánicas.
- La utilización de ultrasonidos facilita la detección de fisuras, fugas u otros fallos mediante ondas de ultrasonido, contribuyendo a detectar problemas antes de que se transformen en averías serias.

1.3.4 Viabilidad técnica y económica

En opinión de Marulanda & Quintero (2025), el análisis técnico y económico demuestra la viabilidad de implementar un sistema de mantenimiento predictivo, ya que optimiza el consumo energético y los costos operativos. De este modo, se evidencia en el análisis que la adopción de tecnologías más eficientes no solo beneficia desde el punto de vista económico, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental y operativa a largo plazo

1.3.5 Valor actual neto

El Valor Actual Neto (VAN) de un proyecto es el valor presente de los flujos de efectivo netos derivados de una propuesta. Estos flujos se calculan como la diferencia entre los ingresos periódicos y los egresos periódicos, lo que permite evaluar la rentabilidad de la inversión a lo largo del tiempo (Mete, 2014).

1.3.6 Métodos estadísticos

Al respecto, Martínez et al. (2021), resaltan que los métodos estadísticos son procedimientos utilizados para obtener resultados confiables a partir de datos cuantitativos, mediante una secuencia de etapas: recolección, recuento, presentación, síntesis y análisis. Así mismo, estas fases permiten medir variables, clasificar datos, representarlos gráficamente y compararlos con ayuda de fórmulas estadísticas, lo que facilita la toma de decisiones fundamentadas en evidencia numérica.

1.3.7 Variables críticas

Cabana y colaboradores, (2022) preservan las variables críticas como elementos que impactan directamente en el rendimiento, competitividad y sostenibilidad de las organizaciones. Estos factores pueden tener una relación con recursos humanos, operaciones, tecnología, liderazgo u otros aspectos, y necesitan ser reconocidos y supervisados para tomar decisiones estratégicas.

1.3.8 Análisis de riesgo histórico

Por otra parte, Orozco et al. (2022), mencionan el propósito de esta herramienta para facilitar el análisis y la representación, tanto espacial como temporal, de amenazas, vulnerabilidades y riesgos, de forma retrospectiva y prospectiva. Esta herramienta está pensada para aplicaciones de gestión de riesgos: desde la planificación y mitigación hasta la preparación, respuesta y recuperación post-desastre. También, Casal et al. (2002), mencionan que el análisis de riesgos es el proceso mediante el cual se evalúan los posibles peligros de una instalación industrial o del transporte de mercancías peligrosas. Este análisis tiene como objetivo identificar, con una aproximación razonable, los siguientes aspectos: los accidentes que podrían ocurrir, la probabilidad de que estos accidentes se presenten, y la magnitud de sus consecuencias.

Según Moreno & Santos (2022), para que estos sistemas funcionen de manera eficiente y efectiva, resulta fundamental optimizar los procesos productivos. Esto implica aplicar técnicas que permitan a las empresas analizar en profundidad sus operaciones, identificar fallos y cuellos de botella, y aplicar mejoras que incrementen tanto la eficiencia como la eficacia. Por lo que su finalidad es lograr más con menos: reducir desperdicios, minimizar errores y aumentar la calidad del producto o servicio.

1.4 Marco Legal y Ambiental

De acuerdo con Secretaría de Derechos Humanos (2021), “prevenir los riesgos inherentes a las actividades de la empresa, mediante la evaluación periódica de las instalaciones y el medio ambiente de trabajo, controlando los posibles daños a los empleados, colaboradores y visitantes.” (Art. 2, sección E). A su referencia, este enfoque no solo minimiza posibles daños humanos y materiales, sino que también promueve una cultura empresarial proactiva, basada en datos y análisis estadístico, que optimiza la productividad y refuerza un entorno de trabajo seguro y confiable.

En el Modelo ambiental, Como lo expresa Moreno (2019), en el Reglamento al Código Orgánico del Ambiente, “realizarse en condiciones ambientales, de seguridad industrial y de salud, de tal manera que se minimicen los riesgos.” (Art 599, sección A). Este reglamento enfatiza la importancia de evitar que las actividades industriales causen daños al entorno, y el mantenimiento predictivo contribuye a esta meta al permitir una mejor gestión de los recursos, reducción de residuos y optimización del uso de la energía.

En cuanto a la viabilidad económica y técnica, las empresas deben considerar los costos de implementación de sistemas predictivos en comparación con los beneficios que ofrecen en términos de reducción de fallos y mejora en la eficiencia operativa. Según Lasso (2021), en el Reglamento General de la Ley Orgánica Eficiencia Energética Artículo 26 establece la Metodología para priorizar y evaluar las solicitudes de proyectos y/o programas a su vez en el apartado de criterio 3 de viabilidad técnica-financiera Sección D, “la optimización del consumo energético y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.” Es decir, lo que puede lograrse también mediante el mantenimiento predictivo. Este tipo de mantenimiento no solo mejora la vida útil de los equipos, sino que también contribuye a la eficiencia energética,

reduciendo así los costos operativos y alineándose con las regulaciones nacionales sobre sostenibilidad y eficiencia.

1.5 Hipótesis y Variables

1.5.1 Hipótesis

Se sugiere que la puesta en marcha de un sistema de mantenimiento predictivo en las máquinas esenciales de INHARIPAC S.A., que se aplica a máquinas de proceso como la cocina y los secadores, facilitará la prevención de errores repetitivos a través del estudio de datos pasados y la utilización de herramientas estadísticas de fácil acceso. Este método podría incrementar la eficacia en las operaciones, minimizar las interrupciones no programadas y reducir los gastos relacionados con el mantenimiento correctivo.

De igual forma, se asume que la implementación de mantenimiento predictivo en equipos esenciales es técnica y económicamente factible. La implementación de sensores económicos, unida al estudio de patrones de fallos, posibilitaría la implementación de intervenciones más exactas, disminuyendo de manera significativa los periodos de parada y los costos asociados a averías inesperadas.

Se anticipa que esta táctica influya de manera positiva en la calidad del producto final, garantizando una producción más constante y estable. Por otro lado, disminuir las interrupciones y potenciar la fiabilidad de los equipos ayudaría a incrementar la satisfacción del cliente, reforzando la reputación de la compañía y su competitividad en el sector.

Se estima que habrá diferencias estadísticamente significativas en los indicadores de eficiencia y costos operativos antes y después de la implementación del sistema predictivo. En conjunto, estas hipótesis respaldan la idea de que el mantenimiento basado en datos puede

transformar la gestión industrial de INHARIPAC S.A. hacia un modelo más rentable, sostenible y orientado a la mejora continua.

1.5.2 Identificación de las Variables

- **Variable Independiente:** Mantenimiento predictivo
- **Variable Dependiente:** Eficiencia operativa, viabilidad del sistema, satisfacción del cliente.

Se considera la variable independiente, ya que representa la acción estratégica que la empresa puede implementar y controlar directamente. Esta acción busca influir sobre la viabilidad del sistema productivo, que es la variable dependiente, al evaluarse cómo dicha implementación impacta en la eficiencia, reducción de fallos, continuidad operativa y costos. Por tanto, la viabilidad depende de los resultados obtenidos a partir del mantenimiento aplicado.

1.6 Marco Metodológico

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto con modalidad de campo, al utilizar datos reales obtenidos directamente de la maquinaria industrial de INHARIPAC S.A., y documental, al apoyarse en fuentes bibliográficas y registros históricos de mantenimiento. También fue no experimental, ya que no se manipularon directamente las variables en un entorno controlado, y de tipo estudio de caso, debido a que se centró exclusivamente en la empresa INHARIPAC S.A.

1.6.1 Modalidad Básica de la Investigación

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto con modalidad de campo, al utilizar datos reales obtenidos directamente de la maquinaria industrial de INHARIPAC S.A., y documental, al apoyarse en fuentes bibliográficas y registros históricos de mantenimiento. También fue no experimental, ya que no se manipularon directamente las variables en un

entorno controlado, y de tipo estudio de caso, debido a que se centró exclusivamente en la empresa INHARIPAC S.A.

1.6.2 Enfoque

El estudio se orientó a resolver un problema práctico, relacionado con las fallas frecuentes y los altos costos de mantenimiento de los equipos industriales. Se empleó un enfoque cuantitativo para recolectar, procesar y analizar datos históricos de fallos, costos y eficiencia de los equipos. Este método resultó ser el más apropiado para detectar patrones, evaluar variables esenciales y valorar la factibilidad financiera de un sistema de mantenimiento predictivo fundamentado en sensores de coste reducido. Se empleó un enfoque deductivo, basándose en conceptos generales del mantenimiento industrial y la estadística aplicada, para alcanzar conclusiones concretas en el marco de INHARIPAC S.A. El estudio se rige por principios éticos, asegurando la privacidad de la información interna de la compañía y la utilización de instrumentos de medición sin afectar la seguridad o el funcionamiento.

1.6.3 Nivel de Investigación

De acuerdo con Creswell & Creswell (2018), una investigación puede ser tanto descriptiva como explicativa, en función de las cuestiones que se planteen y de las relaciones que se examinen. Así, la investigación se situó en un nivel explicativo y descriptivo. Fue descriptiva ya que definió el comportamiento histórico de los equipos y los patrones de averías basándose en factores técnicos. Además, fue explicativa, pues intentó identificar vínculos causales entre la aplicación del mantenimiento predictivo y la optimización en indicadores esenciales como los costos operativos, los periodos de inactividad y la eficacia del proceso de producción.

1.6.4 Población de Estudio

La población se conformó por los equipos industriales esenciales empleados en la línea de producción de harina de pescado de INHARIPAC S.A. Estos equipos comprendieron prensas, cocina, secadores, transportadores, reductores y motores de potencia. Todos los aparatos tenían características parecidas: funcionaban bajo condiciones de elevada demanda térmica y mecánica, y su funcionamiento adecuado era esencial para la continuidad del proceso.

1.6.5 Tamaño de la Muestra

Se trabajó con una muestra censal, es decir, se incluyeron los equipos industriales considerados críticos para la operación de la planta, en este caso, la cocina industrial y los secadores industriales. Esta decisión permitió realizar un análisis integral del sistema, sin necesidad de aplicar fórmulas de muestreo probabilístico.

1.6.6 Técnicas de recolección de datos

Se emplearon diversas técnicas para la recolección de datos. En primer lugar, se extrajeron datos históricos de mantenimiento y fallas desde los sistemas de gestión interna (CMMS), abarcando un periodo de 6 meses. Luego, se instalaron sensores de bajo costo para medir variables críticas como temperatura y consumo eléctrico.

La validez del estudio se aseguró utilizando datos reales y actuales de la empresa. La confiabilidad fue respaldada por el uso de sensores calibrados, metodologías de análisis reconocidas y fuentes oficiales de información interna. Las mediciones fueron replicables, y se mantuvo un control riguroso sobre los instrumentos de recolección y procesamiento de datos.

Se solicitó autorización formal a la empresa INHARIPAC S.A. para acceder a los datos operativos y financieros necesarios para el estudio. Además, se garantizó la confidencialidad

de la información y se cuidó que la instalación de sensores no afectara la seguridad del personal ni la continuidad del proceso productivo.

1.6.7 Plan de recolección de datos

Tabla 1

Preguntas de recolección de datos

N.º	Preguntas	Explicación
Frecuentes		
1	¿Para qué?	Para analizar la viabilidad y mejorar el mantenimiento predictivo en maquinaria industrial de INHARIPAC S.A., optimizando procesos mediante métodos estadísticos.
2	¿De qué personas?	De operarios, técnicos y personal de mantenimiento de INHARIPAC S.A.
3	¿Sobre qué aspectos?	Sobre el funcionamiento de los evaporadores, métodos de mantenimiento y análisis estadístico aplicado a maquinaria industrial.
4	¿Quién investiga?	El estudiante, en el marco de una tesis de grado.
5	¿Cuándo?	Durante el período de ejecución del proyecto de tesis, en el ciclo académico actual.
6	¿Dónde?	En las instalaciones de INHARIPAC S.A., una empresa dedicada a producción de harina de pescado.
7	¿Cuántas veces?	En múltiples ocasiones, según el cronograma de inspecciones y la frecuencia de los análisis predictivos necesarios.
8	¿Qué técnica de recolección?	Uso de técnicas estadísticas, observación directa, análisis de registros de mantenimiento y medición de indicadores de maquinaria.
9	¿Con qué?	Con herramientas estadísticas, software especializado y equipos de monitoreo para mantenimiento predictivo.

10	¿En qué situación?	En el contexto de evaluar y optimizar procesos industriales críticos, específicamente el uso de evaporadores y métodos de mantenimiento.
----	--------------------	--

Nota. Fuente: Elaboración propia

1.6.8 Procesamiento de la Información

En esta investigación cuantitativa sobre la viabilidad y mantenimiento predictivo en maquinaria industrial, se procesaron y analizaron los datos utilizando diversas técnicas estadísticas.

- **Verificación de datos faltantes:** Se revisaron los registros históricos de fallos y mantenimiento para identificar posibles datos faltantes. En los casos donde se detectaron valores faltantes, se utilizaron técnicas de imputación para reemplazarlos o, cuando no era posible, se eliminaron las observaciones incompletas.
- **Transformación de variables:** Algunas variables, como los tiempos de inactividad y los costos operativos, fueron transformadas para ajustarlas a distribuciones más adecuadas para el análisis. Por ejemplo, se aplicaron transformaciones logarítmicas a las variables de tiempo para hacerlas más simétricas y facilitar su análisis.

El enfoque empleado fue el análisis de series temporales, ya que se recolectaron datos de fallos y mantenimiento a través del tiempo. Se aplicó un análisis de series temporales para detectar tendencias y patrones en las averías de la maquinaria y anticipar posibles inconvenientes futuros.

El Método estadístico utilizado es análisis de regresión múltiple, para identificar las variables que influyen significativamente en la probabilidad de fallos de las máquinas, se utilizó el análisis de regresión múltiple. Este modelo permitió explorar la relación entre las variables

independientes (como las condiciones operativas, el tipo de mantenimiento, la antigüedad de la maquinaria) y la variable dependiente (la ocurrencia de fallos).

Para valorar y respaldar las elecciones metodológicas, es necesario un enfoque cuantitativo apropiado. Esto se debe a que el propósito de la investigación, que se enfoca en incrementar la eficiencia operativa y disminuir costos a través de la implementación de mantenimiento predictivo, demanda un enfoque cuantitativo para valorar los resultados numéricos, tales como la disminución de periodos de inactividad y la mejora en los indicadores económicos. Los procedimientos seleccionados son los más adecuados para este tipo de análisis y proporcionan un fundamento sólido para tomar decisiones fundamentadas respecto a la aplicación de tecnologías innovadoras en la planta.

Aunque el método cuantitativo es apropiado para este análisis, presenta ciertas restricciones. Por ejemplo, el estudio de datos históricos no siempre logra capturar las complejidades o situaciones particulares de las fallas en la maquinaria que podrían ser pertinentes para entender los patrones de fallos. No obstante, esta restricción se ha reducido a través del empleo de análisis descriptivos y predictivos, los cuales ofrecen una perspectiva minuciosa de los patrones generales y facilitan la detección de factores de riesgo.

Capítulo 2

2 Diagnóstico o Estudio de Campo

La importancia de realizar un diagnóstico de campo antes de llevar a cabo una investigación cuantitativa es fundamental, ya que proporciona una base sólida sobre la cual se pueden hacer afirmaciones objetivas sobre el fenómeno estudiado. Según el Creswell & Creswell (2018), la investigación cuantitativa permite la recolección de datos medibles que luego son procesados y analizados a través de herramientas estadísticas. Además, este enfoque garantiza que los hallazgos sean replicables y generalizables, lo que refuerza la importancia de contar con una evaluación precisa del estado inicial del estudio, por lo tanto, para el presente estudio que busca la implementación de técnicas predictivas en mantenimiento es fundamental la realización del diagnóstico de campo. para así asegurar la validez y fiabilidad de los resultados obtenidos en el proceso.

Por otra parte, como lo define Kayat (2015), antes de iniciar una investigación cuantitativa, es fundamental realizar un diagnóstico de campo, ya que este proceso permite al investigador comprender las características y el contexto del fenómeno estudiado, lo que asegura la precisión de las mediciones y la validez de los resultados obtenidos. Este diagnóstico no solo facilita la identificación de variables clave, sino que también permite al investigador reconocer las posibles dificultades y preparar las estrategias adecuadas para abordar cualquier imprevisto durante la recolección de datos.

El principal objetivo de la presente propuesta de implementación es reducción considerable de fallas inesperadas y a su vez irse actualizando la manera en la que se realizan los mantenimientos.

Dicho esto, el siguiente estudio se presenta a través de un análisis de investigación sobre la Industria Harinera del Pacífico S.A. (INHARIPAC), empresa ecuatoriana ubicada en el cantón Jaramijó, en la provincia de Manabí.

INHARIPAC S.A., fue fundada el 21 de enero de 2013 y ha logrado consolidarse como un actor relevante en el sector harinero dentro de la industria ecuatoriana. Esta compañía opera en el sector de Tiendas de Flores, ofreciendo productos de alta calidad relacionados con la harina y sus derivados, además de extender su presencia en la región

En relación al proceso de producción, de acuerdo con la información recogida en terreno, la producción de harina de pescado se inicia con la recepción del pescado, que puede ser entero o proveniente de los residuos de la carita y pinchagua. Además, se aceptan pescados de mayor tamaño, como el bonito o la albacora, que a menudo llegan congelados. El inicio del procedimiento implica la revisión e inspección de la calidad del producto realizada por los inspectores, quienes aseguran que el pescado se encuentre en condiciones apropiadas para su procesamiento. Posteriormente, el pescado es introducido en la trituradora y luego el producto triturado se pesa en una báscula puente.

Una vez pesados, los productos se ubican en cuatro recipientes, de los cuales son transportados a los colectores, que llevan el pescado triturado hasta el centro de procesamiento. En ese lugar, un elevador de paleta lleva el pescado desde el nivel inferior hasta el superior del sistema. A continuación, el pescado molido es transportado a la cocina, la fase más esencial del procedimiento, y por esta razón, es meticulosamente monitoreado. Para garantizar la regulación de la temperatura, se emplean termocuplas tanto en el ingreso como en el egreso de la cocina.

El siguiente paso es prensar el producto en equipo de doble tornillo, donde se extrae el líquido restante, extrayendo del 70 al 80% del líquido del pescado. Este proceso es crucial para reducir el contenido de humedad del pescado lo máximo posible. Luego de la prensa, el producto pasa al primer secador rotadisco, que realiza la mayor parte del proceso de secado. Dado que esta etapa es fundamental para la calidad del producto final, también se monitorea constantemente mediante termocuplas, verificando las temperaturas tanto en la entrada como en la salida del secador.

Una vez finalizado este primer secado, el producto se traslada al segundo secador rotatubo, donde se realiza el final del procedimiento. Como en la fase previa, se supervisa la temperatura mediante termocuplas, y es responsabilidad de los operadores comprobar la temperatura de la harina cada 15 minutos para garantizar la calidad del producto. Después del secado definitivo, el producto se traslada al molino de finura, que alberga seis platinas rotatorias de alta velocidad, responsables de desmenuzar las impurezas y triturarlas. La harina producida atraviesa una malla que almacena los residuos.

El paso subsiguiente implica llevar la harina a un blower, que la tritura y la lleva a una homogeneizadora. Esta última posee un dosificador de sustancias químicas que asegura la preservación de la harina, previniendo su inflamación. Finalmente, la harina se mide y se embala en recipientes de 50 kilos, finalizando así el procedimiento.

Figura 2

Cocinator continuo 20 toneladas por hora



Nota: Elaboración propia

Figura 3

Secador rotadisco 12 tonelada por hora



Nota: Elaboración propia

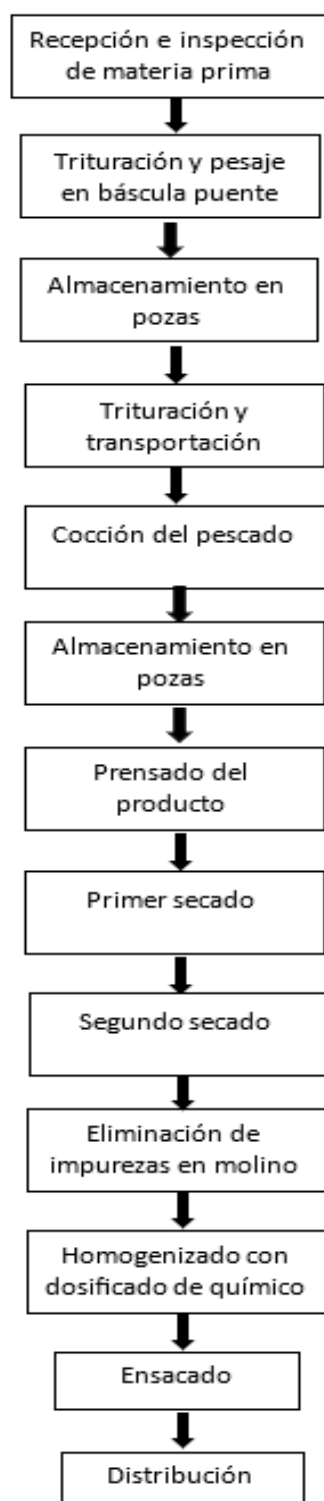
Figura 4

Secador rotatubo 10 tonelada por hora



Nota: Elaboración propia

Diagrama de flujo del proceso

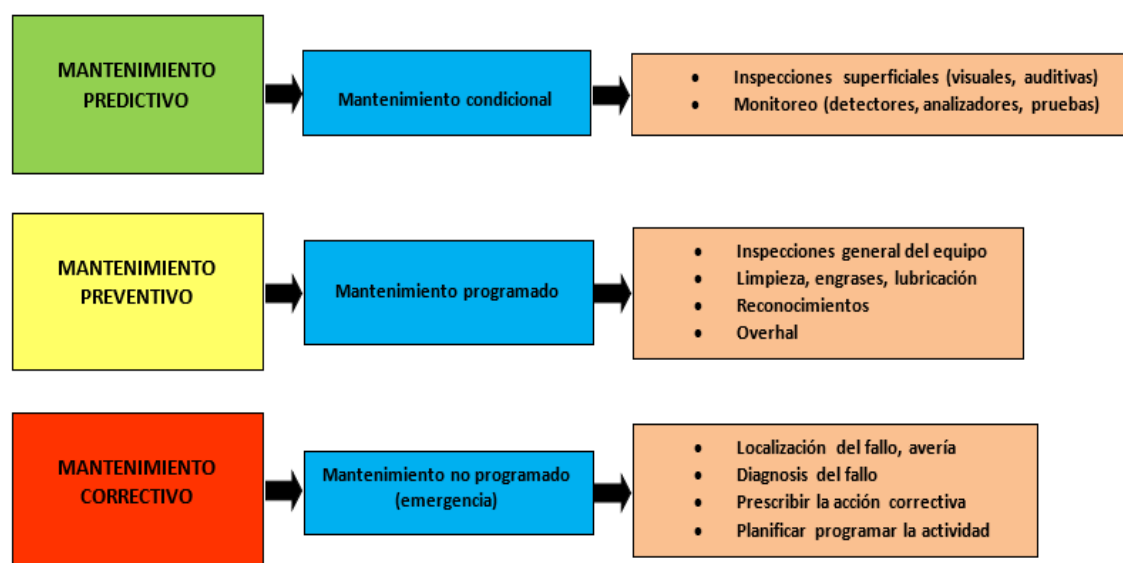


En este sentido, la cocina y los secadores son componentes esenciales y fundamentales en el proceso industrial de la empresa. Sin embargo, debido a su importancia, también son los más susceptibles a fallos imprevistos. En base a los datos históricos recopilados, la planta no cuenta con las adaptaciones necesarias para asegurar un monitoreo adecuado de estas máquinas. Por ejemplo, no dispone de sensores de vibración que, según López (2011), estos sensores son fundamentales para prever daños en las estructuras, ya que permiten detectar desplazamientos y vibraciones causadas por diversos factores, como efectos térmicos, sobrecargas o dañando componentes internos dentro de la máquina lo cual produciría a prevenir múltiples daños de maquinarias.

El equipo realiza mantenimientos preventivos basándose en lo que pueden percibir a través de la vista o el oído, pero no tienen la certeza total de si las máquinas realmente requieren atención. No hay una confirmación clara de si es necesario intervenir en ellas en ese momento.

Figura 5

Tipos de mantenimientos realizados por INHARIPAC S.A.



Nota: Elaboración propia

Por esta razón, Sánchez (2012), menciona sobre el monitoreo continuo de las vibraciones que permite detectar fallas como la fatiga en los materiales y la acumulación de daños internos, lo que puede evitar un colapso catastrófico de la estructura. La implementación de estos sensores en máquinas puede prevenir daños como desgaste acelerado de componentes móviles, fallas en el sistema de amortiguamiento o balance y riesgo de daños internos invisibles.

Además, es importante señalar la ausencia de sensores de lubricación, los cuales son esenciales para garantizar el buen funcionamiento y la prolongación de la vida útil de la cocina, secadora rotadisco y secador rotatubo. La implementación de estos sensores podría prevenir fallos costosos y mejorar significativamente la eficiencia operativa de la planta.

Como lo anuncia Luna (2018), Se ha propuesto el uso de sensores para monitorear las propiedades de los aceites lubricantes y así tomar decisiones más rápidas sobre el mantenimiento. Esto implica que el sensor mismo indica cuándo es necesario cambiar el aceite. Además, el aceite reciclado por las empresas sería más limpio, lo que ayudaría a reducir los costos de reciclaje, ya que el proceso de refinado utilizaría menos energía (p. 12).

Tabla 2

Ausencia de sensores de maquinaria industrial

Sensores	Descripción de funcionamiento
sensores de vibración	Impide detectar problemas de desbalanceo, desalineación o fallos mecánicos a tiempo, lo que podría resultar en daños graves a los rodamientos o ejes.
Sensores de humedad	Permiten identificar niveles peligrosos de humedad en el aire o dentro de las máquinas.

Nota. Fuente: Quispe y Calderón (2016)

Por consiguiente, las máquinas utilizadas en los procesos industriales, especialmente aquellas involucradas en la producción de harina de pescado como la Cocina, el Secador Rotatubo, y el Secador Rotadisco, son componentes esenciales para la eficiencia y calidad del producto final. Sin embargo, estas máquinas están expuestas a fallos imprevistos debido a su naturaleza operativa y los exigentes parámetros de funcionamiento bajo los cuales operan.

Gracias a los datos adquiridos por el operador en la empresa, en la cocina los fallos más comunes incluyen problemas con las termocuplas, bombas de presión, y el sistema de control de temperatura, lo que puede afectar la calidad y seguridad del proceso de cocción. En el Secador Rotatubo, las fallas suelen estar asociadas a los sistemas de ventilación y termostatos, esenciales para mantener una temperatura adecuada durante el secado del producto. Por último, el Secador Rotadisco, clave en el proceso de secado final, presenta fallos principalmente en el motor de rotación y los discos de secado, lo que puede retrasar significativamente el proceso de producción.

Es esencial establecer un sistema de mantenimiento predictivo, fundamentado en el análisis exhaustivo y el monitoreo de fallos históricos, para incrementar la eficiencia en las operaciones. Este método no solo ayuda a disminuir los periodos de parada en las máquinas, sino que también perfecciona su durabilidad al prever posibles errores (Romero et al. 2025). En este contexto, el estudio y seguimiento de estos errores históricos es esencial para instaurar un sistema de mantenimiento predictivo. Esto no solo permitirá disminuir los periodos de parada, sino también prolongar la durabilidad de las máquinas y asegurar una eficiencia operativa superior.

El Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF, por sus siglas en inglés) es un indicador clave en el ámbito de la ingeniería y mantenimiento, utilizado para medir la confiabilidad de los equipos y sistemas. Este parámetro se refiere al tiempo promedio que transcurre entre dos fallas sucesivas de un sistema o componente que está en operación (Galarza & Hernández, 2023).

Figura 6

Formula del tiempo medio entre fallas

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo Total (T)}}{\text{Número de fallas (R)}}$$

Nota: <https://repositorio.upse.edu.ec/server/api/core/bitstreams/654b7e2b-6a81-400f-aa07-283e58bea38f/content>

De acuerdo con el análisis realizado a los datos históricos suministrados por INHARIPAC. S.A., se han identificado las fallas más frecuentes y consecutivas en las tres máquinas críticas de la empresa. Este análisis permite comprender mejor los patrones de fallas y ayuda a implementar estrategias para optimizar el rendimiento de los equipos y minimizar tiempos de inactividad.

2.1 Fallas significativas de las máquinas de INHARIPAC S.A.

2.1.1 Cocina (Tiempo de operación: 2000 horas)

- Fallas 1: Fallo de termocuplas (sensor de temperatura) - Tiempo de inactividad: 8 horas.
- Fallas 2: Fallo en la bomba de presión - Tiempo de inactividad: 12 horas.
- Fallas 3: Sobrecalentamiento del sistema (debido a fallas en el sistema de control de temperatura) - Tiempo de inactividad: 10 horas.

- Fallas 4: Fallo en el sistema de alimentación (suministro de materia prima) - Tiempo de inactividad: 6 horas.
- Fallas 5: Falla en el sistema de escape (emisión de gases) - Tiempo de inactividad: 15 horas.
- Fallas 6: Fallo en la válvula de control de presión - Tiempo de inactividad: 5 horas.

Tabla 3

Costos por daño

Análisis de daño	Tiempo de inactividad	Costo reparación
Fallo de termocuplas	8 horas	\$250
Fallo en la bomba de presión	12 horas	\$700
Sobrecalentamiento (control de temperatura)	10 horas	\$765
Fallo en sistema de alimentación materia prima	6 horas	\$600
Fallo sistema de escape	15 horas	\$890
Fallo en válvula de presión	5 horas	\$400
Costo total	56 horas	\$3,605

Nota. Fuente: Elaboración propia

2.1.2 Secador Rotatubo (Tiempo de operación: 2000 horas)

- Fallas 1: Falla en el motor de ventilación - Tiempo de inactividad: 4 horas.
- Fallas 2: Obstrucción en el sistema de ventilación - Tiempo de inactividad: 7 horas.
- Fallas 3: Falla en los termostatos de temperatura - Tiempo de inactividad: 6 horas.
- Fallas 4: Falla mecánica en el eje rotatorio - Tiempo de inactividad: 10 horas.
- Fallas 5: Desajuste en la calibración de las termocuplas - Tiempo de inactividad: 8 horas.

Tabla 4*Costo por daños secador rotatubo*

Análisis de daño	Tiempo de inactividad	Costo reparación
Falla en el motor de ventilación	4 horas	\$820
Obstrucción en el sistema de ventilación	7 horas	\$590
Falla en los termostatos de temperatura	6 horas	\$635
Falla mecánica en el eje rotatorio	10 horas	\$1.300
Desajuste en la calibración de las termocuplas	8 horas	\$600
Costo total	35 horas	\$3.945

Nota. Fuente: Elaboración propia**2.1.3 Secador Rotadisco (Tiempo de operación: 1800 horas)**

- Fallas 1: Fallo en el motor de rotación - Tiempo de inactividad: 5 horas.
- Fallas 2: Obstrucción en los discos de secado - Tiempo de inactividad: 6 horas.
- Fallas 3: Desgaste de las correas de transmisión - Tiempo de inactividad: 4 horas.
- Fallas 4: Desajuste en los controles de temperatura - Tiempo de inactividad: 9 horas.

Tabla 5*Costos por daños secador rotadisco*

Análisis de daño	Tiempo de inactividad	Costo reparación
Fallo en el motor de rotación	5 horas	\$850
Obstrucción en los discos de secado	6 horas	\$480
Desgaste de las correas de transmisión	4 horas	\$350
Desajuste en los controles de temperatura	9 horas	\$650
Costo total	24 horas	\$2.330

Nota. Fuente: Elaboración propia

2.1.4 Cálculos de indicadores de tiempo medio entre fallas

$$Cocina = \frac{1500 \text{ Horas}}{6 \text{ Fallas}} = 250 \text{ Horas}$$

$$Secador \text{ rotatubos} = \frac{2000 \text{ Horas}}{5 \text{ Fallas}} = 400 \text{ Horas}$$

$$Secador \text{ rotadiscos} = \frac{1800 \text{ Horas}}{4 \text{ Fallas}} = 450 \text{ Horas}$$

La Cocina, al tener un Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) de 250 horas, muestra un nivel de fiabilidad relativamente bajo en comparación con las otras dos máquinas. Este valor indica que, alrededor de 250 horas de funcionamiento, la máquina experimenta fallos. La elevada incidencia de fallos en la Cocina podría estar vinculada a su constante exposición a condiciones operativas críticas, como fluctuaciones de temperatura y presión, lo que la convierte en una máquina más susceptible a fallar en comparación con otras máquinas. Esta escasa confiabilidad puede influir en la continuidad de la producción, provocando pausas imprevistas que afectan la eficiencia y los gastos operacionales.

Por otro lado, el Secador Rotatubo presenta un MTBF de 400 horas, lo que refleja una fiabilidad superior en comparación con la Cocina. Este tiempo promedio sugiere que el Secador Rotatubo funciona sin fallas durante un periodo de tiempo considerablemente más largo antes de que ocurra un fallo. Aunque aún es susceptible a fallos, especialmente relacionados con el sistema de ventilación y el control de temperatura, su desempeño es más estable que el de la Cocina, lo que implica menos interrupciones en el proceso de producción y una mayor eficiencia operativa.

Por otro lado, el Secador Rotadisco exhibe el rendimiento superior entre las tres máquinas, con un MTBF de 450 horas. Este valor señala que el Secador Rotadisco posee una confiabilidad sobresaliente, presentando una frecuencia inferior de fallos en comparación con la Cocina y el Secador Rotatubo. Al estar en una fase crucial del proceso de secado, la máquina parece poseer un diseño más sólido o condiciones de operación más reguladas que le facilitan mantener un funcionamiento constante durante un periodo más extenso sin errores. La alta fiabilidad de este secador puede contribuir significativamente a la reducción de tiempos de inactividad, mejorando la productividad y optimizando los costos de operación.

2.2 Mantenimientos estipulados por la empresa

2.2.1 Mantenimientos Correctivos

Tabla 6

Tabla De Mantenimientos Correctivos cocina

Máquina	Falla	Tipo de Mantenimiento Correctivo	Tiempo de Inactividad (horas)
Cocina	Falla en las válvulas de vapor	Reemplazo o reparación de válvulas defectuosas.	4
Cocina	Obstrucción en las tuberías de vapor	Desmontar y limpiar las tuberías de vapor bloqueadas por residuos o impurezas.	6
Cocina	Falla en el sistema mecánico (cuerpo)	Reemplazo de piezas defectuosas como engranajes, rodamientos o piezas estructurales.	7
Cocina	Falla en la puerta o empaques	Reemplazo de los empaques o reparaciones en la puerta del cocinador.	4
Cocina	Fallo en el sistema de rotación del TSFH (Turbina Secadora de Frío de Humos)	Ajuste o cambio del motor, revisión de correas y mantenimiento de los rodamientos.	5

Cocina	Desajuste de los controles de temperatura	Calibración o reemplazo de termocuplas defectuosas.	2
Cocina	Desgaste en las correas de transmisión	Reemplazo de las correas desgastadas o dañadas	3
Cocina	Fugas de condensado o vapor	Reemplazo o reparación de válvulas, trampa de vapor o sellos.	4
Cocina	Falla en el sistema eléctrico (motor, tablero, etc.)	Reparación o reemplazo de componentes eléctricos defectuosos	4
Cocina	Falla en la lubricación de rodamientos o chumaceras	Reemplazo o engrase adecuado de los rodamientos y chumaceras.	2
Cocina	Fallas en las bandas de transmisión	Cambio o reparación de las bandas defectuosas.	6

Nota. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos por operador de INHARIPAC S.A.

Tabla 7

Tabla de mantenimiento correctivo secador rotatubo

Máquina	Falla	Tipo de Mantenimiento Correctivo	Tiempo estimado de Inactividad (horas)
Secador rotatubo	Daño en el motor reductor	Reparación del motorreductor en caso de fallas	10
Secador rotatubo	Falla en válvula de seguridad	Ajuste o reemplazo de válvulas de seguridad descalibradas	5
Secador rotatubo	Obstrucción de pasillos metálicos	Reemplazo o reparación de pasillos metálicos dañados	8
Secador rotatubo	Fisuras externas	Reparación de fisuras en el cuerpo	6

Secador rotatubo	Falla de válvula de vapor	Reparación de válvulas de vapor defectuosas	4
Secador rotatubo	Fallo en tuberías de vapor	Reparación de tuberías o trampas de vapor dañadas	6
Secador rotatubo	Falla en chumaceras	Reparación de chumaceras dañadas o ineficientes	6
Secador rotatubo	Falla en rodamiento de motor	Reemplazo de rodamientos defectuosos del motor	8
Secador rotatubo	Falla en banda de transmisión	Reparación de bandas de transmisión dañadas	4

Nota. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos por operador de INHARIPAC S.A.

Tabla 8

Tabla de mantenimiento correctivo secador rotadisco

Máquina	Falla	Tipo de mantenimiento correctivo	Tiempo estimado de inactividad (horas)
Secador rotadisco	Fallo en válvula de vapor	Reemplazo de válvula de vapor rota	4
Secador rotadisco	Fallo en cadena	Reemplazo de cadena rota	3
Secador rotadisco	Fallos en motor	Reemplazo de motor defectuoso	6
Secador rotadisco	Fallo en disco	Reemplazo de disco interno dañado	5
Secador rotadisco	Fallo en motorreductor	Reemplazo de motorreductor quemado	8
Secador rotadisco	Fallo en tablero	Reemplazo de tablero eléctrico dañado	4
Secador rotadisco	Fallo en ventilación	Reemplazo de ventilador de Vahos dañado	6
Secador rotadisco	Fallo en rodamientos	Reemplazo de rodamiento de motor dañado	4

Secador rotadisco	Fallo en banda de transmisión	Reemplazo de banda de transmisión rota	2
--------------------------	-------------------------------	--	---

Nota. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos por operador de INHARIPAC S.A.

2.2.2 Mantenimientos Preventivos

Tabla 9

Mantenimiento preventivo cocina

PUNTOS DE ACCIÓN		
CÓDIGO	NOMBRE	
CO.01.A	CIRCUITO DE VAPOR	
CO.01.B	SISTEMA MECÁNICO (CUERPO)	
CO.01.C	AUTOMATIZACIÓN	
CO.01.D	SISTEMA ELÉCTRICO	
OPERACIONES DE MANTENIMIENTO EN CADA PUNTO DE ACCIÓN		
OPERACIÓN	FRECUENCIA	EJECUCIÓN
PUNTO DE ACCIÓN: CO.01.A		
- Revisión de válvulas de vapor	Mensual	Mecánico
- Revisión de tuberías		
- Revisión de trampa de vapor		
- Revisión de termómetros y manómetros		
- Realizar auditoría técnica a cocinador	Anual	Proveedor externo
- Calibración de válvulas de seguridad		
PUNTO DE ACCIÓN: CO.01.B		
- Revisión de puertas	Mensual	Mecánico
- Cambio de mergollares y sellos mecánicos de cabezal de condensado		
- Revisión de velocidad de rotación del TSFH interno		
- Verificación de estado de cilindros		
- Inspeccionar protección de bandas		
- Revisión de bandas		
- Cambio de bandas	Semestral	
- Revisión de poleas		
- Revisión de estado de TSFH interno	Mensual	
- Lubricación de chumaceras	Semanal	
- Revisión y/o cambios de rodamientos del motor	Anual	
- Limpieza y mantenimiento de motorreductores	Semestral	
- Revisión de rodamientos de chumaceras		
- Revisión y lubricación de piñones	Mensual	
- Revisión de cadena de transmisión		
- Chequeo de protección de cadena		

- Chequeo de bases / soportes de motoreductor		
- Limpieza general del cocinador (interior y exterior)	Cada final de oscura	
PUNTO DE ACCIÓN: CO.01.C		
- Revisar el funcionamiento de termocuplas	Semanal	Electricista
PUNTO DE ACCIÓN: CO.01.D		
- Limpieza y mantenimiento de tablero eléctrico	Mensual	Electricista
- Medición de amperaje en motorreductores		

Nota. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos por operador de INHARIPAC S.A.

Tabla 10

Mantenimiento preventivo secador rotadisco

PUNTOS DE ACCIÓN		
CÓDIGO	NOMBRE	
SRD.01.A	CUERPO	
SRD.01.B	CIRCUITO DE VAPOR	
SRD.01.C	SISTEMA DE TRANSMISIÓN	
SRD.01.D	TABLERO ELÉCTRICO	
SRD.01.E	VENTILADOR DE VAHOS	
OPERACIONES DE MANTENIMIENTO EN CADA PUNTO DE ACCIÓN		
OPERACIÓN	FRECUENCIA	EJECUCIÓN
PUNTO DE ACCIÓN: SRD.01.A		
- Chequeo de estructura	Quincenal	Mecánico
- Chequear que las tapas externas estén bien ajustadas		
- Chequear que la tapa de registro abra y cierre fácilmente		
- Revisar si existen fisuras en el cuerpo		
- Chequeo de pasillos metálicos		
- Limpieza de exceso de harina en exteriores		
- Inspección y limpieza de discos internos	Semestral	Mecánico
PUNTO DE ACCIÓN: SRD.01.B		
- Revisión de válvulas de vapor	Mensual	Mecánico
- Revisión de tuberías		
- Revisión de trampa de vapor		
- Revisión de termómetros y manómetros		
- Realizar auditoría técnica a secador	Anual	Proveedor externo
- Calibración de válvulas de seguridad		
PUNTO DE ACCIÓN: SRD.01.C		

- Lubricación general del equipo	Semanal	Mecánico
- Lubricación de chumaceras		
- Revisión y/o cambios de rodamientos del motor	Anual	
- Limpieza y mantenimiento de motorreductor	Semestral	
- Revisión de rodamientos de chumaceras		
- Revisión y lubricación de piñones	Mensual	
- Revisión de cadena de transmisión		
- Chequeo de protección de cadena		
- Chequeo de bases / soportes de motoreductor		
PUNTO DE ACCIÓN: SRD.01.D		
- Limpieza y mantenimiento de tablero eléctrico	Trimestral	Electricista
- Medición de amperaje de motorreductores	Mensual	
PUNTO DE ACCIÓN: SRD.01.E		
- Inspección de ventilador de Vahos	Semanal	Mecánico
- Lubricación de chumaceras		
- Revisión y/o cambios de rodamientos del motor	Anual	
- Limpieza y mantenimiento de motor	Semestral	
- Revisión de rodamientos de chumaceras		
- Revisión y lubricación de partes	Mensual	
- Revisión de bandas de transmisión		
- Chequeo de protección de bandas de transmisión		
- Chequeo de bases / soportes de motor		

Nota. Fuente: Datos obtenidos por operador de INHARIPAC S.A.

Tabla 11

Mantenimiento predictivo secador rotatubo

ESPECIFICACIONES DE MANTENIMIENTO	
PUNTOS DE ACCIÓN	
CÓDIGO	NOMBRE
SRT.01.A	CUERPO
SRT.01.B	CIRCUITO DE VAPOR
SRT.01.C	SISTEMA DE TRANSMISIÓN
SRT.01.D	TABLERO ELÉCTRICO
SRT.01.E	VENTILADOR DE VAHOS
OPERACIONES DE MANTENIMIENTO EN CADA PUNTO DE ACCIÓN	

OPERACIÓN	FRECUENCIA	EJECUCIÓN
PUNTO DE ACCIÓN: SRT.01.A		
- Chequeo de estructura	Quincenal	Mecánico
- Revisar fugas de vapor en juntas de expansión flexibles		
- Chequear que las tapas externas estén bien ajustadas		
- Chequear que la tapa de registro abra y cierre fácilmente		
- Revisar si existen fisuras en el cuerpo		
- Chequeo de pasillos metálicos		
- Limpieza de exceso de harina en exteriores		
- Inspección y limpieza de tubos internos	Semestral	Mecánico
PUNTO DE ACCIÓN: SRT.01.B		
- Revisión de válvulas de vapor	Mensual	Mecánico
- Revisión de tuberías		
- Revisión de trampa de vapor		
- Revisión de termómetros y manómetros		
- Realizar auditoría técnica a secador	Anual	Proveedor externo
- Calibración de válvulas de seguridad		
PUNTO DE ACCIÓN: SRT.01.C		
- Lubricación general del equipo	Semanal	Mecánico
- Lubricación de chumaceras		
- Lubricación de rodillos y guías del secador Rotatubo		
- Revisión y/o cambios de rodamientos del motor	Anual	
- Limpieza y mantenimiento de motorreductor	Semestral	
- Revisión de rodamientos de chumaceras		
- Revisión y lubricación de piñones		
- Revisión de cadena de transmisión	Mensual	
- Chequeo de protección de cadena		
- Chequeo de bases / soportes de motoreductor		
PUNTO DE ACCIÓN: SRT.01.D		
- Limpieza y mantenimiento de tablero eléctrico	Trimestral	Electricista
- Medición de amperaje de motorreductores	Mensual	
PUNTO DE ACCIÓN: SRT.01.E		
- Inspección de ventilador de Vahos	Semanal	Mecánico
- Lubricación de chumaceras		
- Revisión y/o cambios de rodamientos del motor	Anual	
- Limpieza y mantenimiento de motor	Semestral	
- Revisión de rodamientos de chumaceras		

- Revisión y lubricación de partes	Mensual	
- Revisión de bandas de transmisión		
- Chequeo de protección de bandas de transmisión		
- Chequeo de bases / soportes de motor		

Nota. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos por operador de INHARIPAC S.A.

2.2.3 Registros asociados

Los registros asociados al presente procedimiento son los siguientes:

Tabla 12

Registros asociados de mantenimiento

REGISTRO	TIEMPO	DPTO. APLICA	RESPONSABLE
Plan de mantenimiento	1 año	Mantenimiento	Jefe de Mantenimiento
Ficha técnica de equipos	2 años	Mantenimiento	Jefe de Mantenimiento
Manuales de máquinas y equipos	2 años	Mantenimiento	Jefe de Mantenimiento
Registros de inspecciones	1 año	Mantenimiento	Jefe de mantenimiento
Orden de trabajo	año	Mantenimiento	Jefe de mantenimiento
		Jefe de área	Jefe de área
	1 año	Mantenimiento	Jefe de Mantenimiento
Permisos de trabajo de seguridad industrial		Seguridad industrial	Coordinador de Seguridad Industrial
Informe de mantenimiento (registros-historial)	2 años	Mantenimiento	Jefe de Mantenimiento
Orden de requerimiento a bodega	1 año	Mantenimiento	Jefe de Mantenimiento
Procedimiento de compras	2 años	Todas las áreas	Jefes de áreas
			Encargado de compras

Nota. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos por operador de INHARIPAC S.A.

Capítulo 3

3 Propuesta de Mejora

A partir de los análisis juntos a los operadores y el personal de mantenimiento de la empresa obteniendo la recopilación de los registros históricos de fallos y mantenimiento de la maquinaria de INHARIPAC S.A., se ha identificado que muchos de los fallos recurrentes podrían preverse y evitarse mediante la implementación de un sistema de mantenimiento predictivo. Con base en los resultados obtenidos, se presentan las siguientes propuestas de mejora, que abarcan tanto el aspecto técnico como económico

3.1 Título de la propuesta

Propuesta de Implementación del Mantenimiento Predictivo mediante un análisis comparativo para la Optimización de la Maquinaria Industrial críticas o de vital importancia en INHARIPAC S.A.

3.2 Diagnóstico de la situación

3.2.1 Poder optimizar la estrategia de mantenimiento

En lugar de seguir un modelo de mantenimiento preventivo fijo o reactivo, la propuesta es implementar un sistema de mantenimiento predictivo que permita identificar las anomalías mediante reportes de los sensores, basándose en las predicciones de fallos futuros. Este enfoque no solo reduce los tiempos de inactividad, sino que también optimiza los recursos, ya que se realizarán reparaciones solo cuando sea necesario. Esto requiere una inversión inicial en sensores y en la capacitación del personal para interpretar los datos generados, pero los beneficios a largo plazo, como la reducción de costos operativos y la prolongación de la vida útil de la maquinaria, justifican este gasto.

3.2.2 Evaluación Económica de la Implementación:

A nivel económico, se estima que la implementación de un sistema de mantenimiento predictivo podría generar un retorno de inversión significativo a medio y largo plazo. Al reducir los tiempos de inactividad y los fallos imprevistos, la empresa podría evitar paradas de producción no planificadas que tienen un alto costo.

3.2.3 Implementación de Buenas Prácticas:

Basado en las mejores prácticas identificadas durante el análisis de modelos de mantenimiento predictivo utilizados en otras empresas industriales, se recomienda que INHARIPAC S.A. comience con una fase piloto utilizando equipos críticos, aquellos cuya falla tenga el mayor impacto en la producción. Este enfoque gradual permitirá ajustar el sistema a las particularidades de la maquinaria de INHARIPAC S.A., aprender de la experiencia y luego expandir el sistema a otras áreas de la planta.

A partir de los datos recopilados por los operadores de maquinaria, se puede asumir según su experiencia, los equipos más cruciales para la producción en INHARIPAC S.A. Son cocina industrial, secador rotadisco y secador rotatubo. Un fallo o tiempo de inactividad no planificado en cualquiera de estos equipos puede resultar extremadamente crítico y tener un impacto negativo significativo en la producción. La interrupción de su funcionamiento afectaría varios aspectos, siendo el más importante la calidad del producto final, lo cual comprometería la satisfacción del cliente y la eficiencia operativa en general.

3.2.4 Fomento de la Cultura de Mantenimiento Predictivo:

Un elemento crucial para el triunfo del mantenimiento predictivo podría ser la incorporación de una cultura empresarial que aprecie la prevención y el estudio constante. Es aconsejable que INHARIPAC S.A. establezca programas de formación y sensibilización entre

sus empleados para promover la utilización de los sistemas novedosos y la comprensión de los datos producidos.

Así pues, no solo es factible desde una perspectiva técnica la implementación de un sistema de mantenimiento predictivo en INHARIPAC S.A., sino que también surge como una alternativa económica interesante para incrementar la eficacia operacional, disminuir gastos y garantizar una mayor disponibilidad de maquinaria. Mediante un método paulatino y bien organizado, es posible mejorar el desempeño de la maquinaria industrial, lo que posibilitará a la compañía lograr una mayor competitividad en el mercado.

3.3 Descripción de la posible propuesta de implementación

3.3.1 Implementación de los sensores y recolección de datos en tiempo real

Para esta puesta en marcha, se requerirá la instalación de sensores en los dispositivos esenciales para supervisar parámetros vitales como la temperatura, vibración y velocidad de funcionamiento. Estos sensores necesitan estar vinculados a un sistema de administración de datos que facilite la recolección constante de datos en tiempo real constante. Además, es esencial asegurar que la información recolectada sea procesada y guardada de manera organizada y accesible para su análisis futuro.

3.3.2 Análisis de Viabilidad Económica:

Previo a iniciar la implementación completa, es esencial llevar a cabo un análisis de viabilidad financiera que posibilite valorar la correlación entre los gastos de instauración del sistema de mantenimiento predictivo y las posibles ventajas que proporciona. Este análisis puede llevarse a cabo mediante técnicas de evaluación financiera.

3.3.3 Implementación de un Sistema de Monitoreo Continuo y Alertas:

Una vez validados los modelos predictivos, el siguiente paso es integrar un sistema de monitoreo continuo que se alimente de los datos en tiempo real. Este sistema debe ser capaz

de generar alertas automáticas cuando se detecte una anomalía que indique la posibilidad de un fallo inminente. El sistema debe ser accesible desde cualquier dispositivo dentro de la planta, permitiendo que los técnicos de mantenimiento reciban notificaciones inmediatas para intervenir rápidamente.

3.3.4 Capacitación y Cultura Organizacional:

Para garantizar el triunfo del sistema de mantenimiento predictivo, es crucial promover una cultura en la organización que aprecie la prevención y el estudio de datos. Esto puede conseguirse a través de la formación del personal en la utilización de los nuevos sistemas y herramientas, además de la interpretación de la información producida. Además, es aconsejable coordinar talleres regulares para mantener al personal al día con las tecnologías emergentes y las mejores prácticas en el campo del mantenimiento predictivo.

3.3.5 Evaluación de Resultados y Mejora Continua:

Una vez que el sistema haya sido implementado y esté en funcionamiento, se debe establecer un proceso continuo de evaluación de resultados. Esto incluirá el monitoreo de la efectividad del mantenimiento predictivo, la comparación entre los tiempos de inactividad antes y después de la implementación, y la identificación de áreas de mejora. Los métodos estadísticos mencionados anteriormente, como el análisis de series temporales y la regresión, seguirán siendo útiles para ajustar los modelos predictivos y garantizar su precisión a lo largo del tiempo.

3.4 Análisis comparativo para implementar mantenimiento predictivo

Para la siguiente investigación se propone la implementación del análisis de vibración como mantenimientos predictivos ya que este indicador es esencial para las 3 máquinas analizadas en el presente proyecto las cuales son el cocinador, secador rotatubo y secador rotadisco. Siendo estas las más críticas del proceso de producción y teniendo mayor cantidad

de fallos por lo que se busca optimizar los tiempos de paros no programados y conseguir un correcto funcionamiento

El análisis de vibración favorece a las maquinas propuestas ya que en el caso del cocinador puede detectar fallas anticipadas como desgaste de los cuales están ubicados en diferentes puntos de la maquina por ejemplo, el rodamiento del eje principal del agitador, el rodamiento en su rueda de transmisión y el rodamiento en el sistema del eje de salida, también puede detectar fallas en el desbalance del motor, desalineación de ejes, problemas de corrosión y dar un análisis de la condición del motor.

En el caso del secador rotatubo, este sensor es muy beneficioso para detectar el desbalance en el tambor ya que este generaría vibraciones inusuales, desalineación de ejes, desgaste de rodamientos en el tambor rotatorio y lo más cotidiano que sería fallas en el motor.

A su vez, para el secador rotadisco, el sensor sería el más beneficioso ya que esta máquina pasa en constante movimiento al momento de la producción de la harina ya que la maquina gira por completo, siendo así se podría detectar con mayor facilidad el desbalance de los discos rotatorios, la desalineación de ejes y componentes mecánicos, el desgaste de rodamiento en sus ejes centrales de disco y las fallas en los motores o sistemas de transmisión.

Por último, la aplicación de este sensor de vibración brinda la facilidad de tener un monitoreo constante y remoto el cual puede ser configurado para enviar alertas y datos en tiempo real a los operadores o al personal de mantenimiento y así anticipar los fallos y los mantenimientos correctivos los cuales reducen el tiempo de vida útil de las máquinas y frena el proceso de producción lo cual le puede reducir la calidad al producto final.

3.5 Comparación para propuesta de mantenimiento predictivo

3.5.1 Método estadístico o técnicas utilizadas

Castellanos & Sánchez (2005), en su estudio, sugieren llevar a cabo el Análisis del Espectro de Vibraciones. Esto facilita la realización de diagnósticos más precisos en las máquinas, dado que posibilita el análisis minucioso de cada elemento de la señal que genera las vibraciones. Cada uno de estos elementos posee la capacidad de producir diferentes clases de vibraciones a frecuencias determinadas, lo que permite un estudio más detallado y exacto de su operación.

3.5.2 Modelo de implementación del mantenimiento predictivo

Los pasos que los autores Castellanos & Sánchez (2005), realizan en esta investigación son los siguientes:

- Planificación: Consiste en crear un plan con objetivos, metas y responsables, para llevar a cabo un mantenimiento organizado.
- Establecimiento de medidas administrativas y técnicas: es crucial contar con una estructura administrativa eficiente, asignando funciones, contratando personal especializado y capacitando al equipo para operar correctamente.
- Operación, revisión, y evaluación: Una vez iniciado el plan de mantenimiento, el responsable debe verificar que las actividades se estén llevando a cabo. El monitoreo y la revisión de su ejecución son esenciales para evaluar los resultados del plan.
- Mejoramiento continuo: Al final de un periodo de operación, como al término de una zafra, se debe evaluar la efectividad del plan de mantenimiento. Las recomendaciones de mejora deben implementarse para optimizar las actividades. Es clave que los ingenios

continúen con los programas de mantenimiento predictivo para reducir el tiempo de inactividad de los equipos.

- **Capacitación al personal:** Es fundamental que los ingenios cuenten con políticas de capacitación para mejorar la preparación del personal que trabaja directamente con los equipos. El tipo de formación dependerá de las habilidades del personal y de las necesidades de tecnificación de los procesos en los ingenios.

3.5.3 Límites permisibles de las normas internacionales.

Por otra parte, Castellanos & Sánchez (2005), acogieron a La Norma ISO 10816-1 como la guía principal para medir vibraciones fuera de límite y evaluar las vibraciones mecánicas en máquinas industriales. Una vez que se define la clasificación general de las máquinas, su aplicación y la técnica de montaje, es fundamental que las condiciones de operación se ajusten a los parámetros aceptables según el criterio de evaluación establecido. Esta norma categoriza las medidas de velocidad de la siguiente manera:

Tabla 13

Medidas de velocidad por categoría

Categoría	Características
CLASE I	La máquina se puede dividir en dos partes: el conductor y el conducido, o en unidades combinadas, que incluyen maquinaria con un movimiento de hasta 15 KW (aproximadamente 20 HP).
CLASE II	La maquinaria incluye motores eléctricos de 15 KW (20 HP) a 75 KW (100 HP), sin necesidad de cimentación especial, o motores de hasta 300 KW (400 HP) montados con una fundación especial.
CLASE III	Las máquinas grandes, como turbinas y motores eléctricos, así como otras maquinarias con grandes componentes rotatorios, están montadas en fundaciones rígidas y pesadas, y son relativamente rectas en la dirección de la vibración.

CLASE IV	Incluye grandes conductores primarios y otras maquinarias de gran tamaño con ensamblajes rotatorios, montadas en fundaciones que son relativamente suaves en la dirección de la vibración medida, como los turbogeneradores y turbinas de gas de más de 10 MW (13,500 HP).
----------	--

Nota. Fuente: Castellanos & Sánchez (2005)

A su vez, la siguiente tabla serían los rangos típicos relacionados con la categoría de la máquina, tanto para valores RMS como pico, se muestra en la tabla siguiente.

Figura 7

Severidad de los equipos a partir su velocidad y clase

Severidad de la velocidad				CRITERIOS DE VELOCIDAD LIMITE Y CLASES DE MAQUINAS			
Mm/seg RMS	In/seg RMS	mm/seg Pico	In/seg Pico	Maquinas pequeñas Clase I	Maquinas medianas Clase II	Maquinas grandes	
						Soportes rígidos Clase III	Menos soportes rígidos Clase IV
0.28	0.011	0.51	0.02	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
0.45	0.018	0.76	0.03				
0.71	0.028	1.02	0.04				
1.12	0.044	1.52	0.06	Satisfactoria	Satisfactoria	Satisfactoria	Satisfactoria
1.8	0.071	2.54	0.10	Satisfactoria			
2.8	0.11	4.06	0.16	Satisfactoria			
4.5	0.177	6.35	0.25	(alerta)	Satisfactoria	Satisfactoria	Satisfactoria
7.1	0.280	10.16	0.40	Inaceptable (parada)	(alerta)	Satisfactoria	Satisfactoria
11.2	0.441	15.75	0.62		(alerta)	(Alerta)	
18.0	0.709	25.40	1.00		Inaceptable (parada)	Inaceptable (parada)	
28.0	1.102	39.62	1.56				
45.0	1.772	63.75	2.51				

Nota: Descripción de criterios:

- Magnitud de la vibración baja, se dice que el rango es Bueno, es decir que el peligro de falla es mínimo.
- Magnitud de la vibración Satisfactoria, la maquina se encuentra en los límites normales.

- Magnitud de la vibración es Satisfactoria Alerta, esto indica que la vibración se encuentra cerca de los límites recomendados.
- Magnitud de la vibración es Intolerable (Parada), la posibilidad de falla es alta y debe someterse a revisión la máquina de inmediato

Finalmente, Castellanos & Sánchez (2005), siguieron que el periodo de monitoreo de un equipo dependerá de sus horas de operación, su historial y las condiciones de diseño especificadas por el fabricante. Los criterios para establecer estos periodos son los siguientes:

- **Monitoreo diario o semanal:** Equipos críticos que operan en condiciones severas, con defectos de diseño o sin suficiente información sobre su historial de operación.
- **Monitoreo mensual:** Máquinas con una criticidad intermedia, operando bajo condiciones normales, con defectos de diseño menores o insignificantes.
- **Monitoreo anual:** Equipos de baja criticidad o aquellos para los que el fabricante garantiza una larga vida útil.

Es importante señalar que, a medida que aumenten las horas de operación de una máquina, será necesario reducir los intervalos de monitoreo hasta que se realice su reparación, para prevenir posibles fallas. Los intervalos de medición están determinados por el tiempo promedio entre fallos de la máquina, y se recomienda programar al menos seis mediciones durante ese periodo para obtener una predicción confiable. En el caso de máquinas nuevas, que no cuenten con indicaciones específicas del fabricante, se debe hacer un monitoreo más frecuente, por ejemplo, cada uno o dos meses, hasta que se establezcan sus condiciones operativas.

3.6 Viabilidad de instalación de sensores del cocinador de INHARIPAC S.A.

El cocinador siendo una de las maquinas más críticas en el proceso de producción según la recolección de datos históricos por parte de los operadores de la empresa la cual tiene la capacidad de procesamiento de 20 toneladas por hora, que a su vez está compuesto por un motor eléctrico, estator, bridas y contra bridas, cojinetes, sistema de salida de carga, sistema de vapor y condensado y con una fricción de área de transferencia de calor en el motor de 70% y en la chaqueta de 30%.

Por otra parte, para la implementación de sensores en la máquina para el análisis de vibración se recomienda colocarlos en los siguientes puntos claves ya que favorecería a un análisis certero y preciso

Figura 8

Puntos claves para la implementación de sensores en cocinador



Nota: Elaboración propia

- **Ejes de rotación:** Coloca sensores en los ejes de entrada y salida de la máquina, donde los motores o los mecanismos de transmisión generan más vibraciones. Estas áreas suelen ser lugares ideales para detectar cualquier desbalance o anomalía.

- **Parte central del cilindro:** El cilindro donde se cocina el pescado es el componente principal de la máquina. Colocar sensores de vibración en la parte media de este cilindro puede ayudar a monitorear si hay un desbalanceo o desgaste en la estructura interna que pueda afectar el rendimiento.
- **Sistemas de soporte y base:** Los soportes que mantienen la máquina firmemente en su lugar también son puntos críticos. Las vibraciones que se transmiten desde el cilindro o los motores pueden afectar la estabilidad general de la máquina.
- **Zona de los rodamientos:** Los rodamientos que facilitan el movimiento del cilindro también son cruciales. Monitorear estas áreas es vital, ya que un fallo temprano en los rodamientos puede resultar en daños graves en el equipo.

Está demostrado por Kedadouche et al (2016), en su estudio que presenta un nuevo enfoque basado en los métodos para la detección temprana de fallos en rodamientos. La metodología, validada tanto con señales numéricas como experimentales, demostró ser eficaz para identificar resonancias y defectos en rodamientos, incluso en presencia de señales ruidosas. Los resultados experimentales confirmaron su capacidad para detectar defectos extremadamente pequeños (de hasta 40 μm), lo cual es crucial para la detección temprana.

Según el análisis realizado por Kedadouche et al., se puede concluir que la implementación de este tipo de mantenimiento predictivo y monitoreo constante de las máquinas es totalmente viable. Esta estrategia no solo contribuye al ahorro económico, sino que también extiende la vida útil de los equipos, lo que la convierte en una opción altamente beneficiosa para la operación y el mantenimiento industrial.

3.7 Viabilidad de instalación de sensores del secador rotatubo de INHARIPAC S.A.

El secador rotatubo siendo una de las maquinas más críticas en el proceso de producción al igual que la cocina según la recolección de datos históricos por parte de los operadores de la empresa la cual tiene la capacidad de procesamiento de 10 toneladas por hora, que a su vez está compuesto por tambor, pistas de rodadura, bujía, ejes extremos, transmisión, fuerza motriz del motor.

Por otra parte, para la implementación de sensores en la máquina para el análisis de vibración se recomienda colocarlos en los siguientes puntos claves ya que favorecería a un análisis certero y preciso.

Figura 9

Puntos claves para la implementación de sensores en secador rotatubo.



Nota: Elaboración propia

- **Ejes de rotación:** Los sensores deben colocarse en los ejes de entrada y salida del secador, especialmente donde se conecta el motor. Esto es crucial, ya que estos puntos son donde las vibraciones se transmiten de manera significativa debido al movimiento del cilindro.

- **Zona de los rodamientos:** Colocar sensores cerca de los rodamientos, que son responsables de soportar el movimiento rotatorio del secador. Las fallas en los rodamientos pueden generar vibraciones anormales, por lo que monitorearlos es esencial.
- **En el centro del cilindro:** Dado que el cilindro es el componente principal de esta máquina, instalar sensores en el centro o en puntos de contacto clave del mismo podría ser útil para detectar cualquier desbalance o daño estructural, que podría generar vibraciones anómalas.
- **Motor y sistema de transmisión:** Los motores y los sistemas de transmisión (como reductores o acopladores) también deben ser monitoreados. Las vibraciones originadas en estas áreas podrían indicar problemas mecánicos que afecten el funcionamiento de la máquina.

Está demostrado en su estudio por Mollasalehi et al. (2016), cómo el análisis de demodulación de señales de vibración operativa permitió detectar fallos en la carrera externa del rodamiento de un generador de turbina eólica antes de realizar cualquier inspección. Los resultados del análisis de demodulación en amplitud y fase confirmaron la presencia de un defecto en la carrera externa. Para validar estos resultados, se cortó el rodamiento con una máquina de corte por chorro de agua, lo que permitió observar un defecto localizado. Aunque no se pudo identificar la causa exacta, se sugirió que el fallo podría deberse a un desalineamiento, el cual genera altas cargas. Esto resalta la efectividad del análisis de demodulación para detectar fallos de manera temprana.

Por lo que el análisis realizado por Mollasalehi et al., se puede concluir que la implementación de este tipo de mantenimiento predictivo y monitoreo constante de las máquinas es totalmente viable. Esta estrategia no solo contribuye al ahorro económico, sino

que también extiende la vida útil de los equipos, lo que la convierte en una opción altamente beneficiosa para la operación y el mantenimiento industrial.

3.8 Viabilidad de instalación de sensores del secador rotadisco de INHARIPAC S.A.

El secador rotadisco siendo una de las maquinas más críticas en el proceso de producción al igual que la cocina y el secador rotadisco según la recolección de datos históricos por parte de los operadores de la empresa la cual tiene la capacidad de procesamiento de 12 toneladas por hora, que a su vez está compuesto por tubo eje de motor, estator, cojinetes, transmisión, fuerza motriz del motor.

Por otra parte, para la implementación de sensores en la máquina para el análisis de vibración se recomienda colocarlos en los siguientes puntos claves ya que favorecería a un análisis certero y preciso.

Figura 10

Puntos claves para la implementación de sensores en secador rotadisco.



Nota: Elaboración propia

- **Ejes de rotación:** Los sensores deben colocarse en los ejes de entrada y salida del secador, donde el motor transmite la energía al tambor rotatorio. Estos puntos son cruciales, ya que las vibraciones generadas por el movimiento del cilindro son más intensas en estas áreas.
- **Zona de los rodamientos:** Coloca sensores cerca de los rodamientos que soportan el movimiento rotatorio del tambor. Las fallas en los rodamientos suelen generar vibraciones anómalas, por lo que monitorearlos es esencial para evitar daños mayores.
- **Motor y sistema de transmisión:** Los motores y los sistemas de transmisión (como los reductores y los acopladores) también son puntos importantes para colocar sensores. Las vibraciones generadas aquí pueden indicar problemas de alineación, desgaste o fallas inminentes en los componentes.
- **Centro del tambor:** Instalar sensores en el centro del tambor del secador puede ayudar a detectar desbalanceo o cualquier fallo estructural, ya que cualquier irregularidad en el funcionamiento de esta parte podría generar vibraciones excesivas.

Por lo que el análisis realizado por Mollasalehi et al., en la anterior máquina, ya que tienen mucha similitudes e igual funcionamiento se puede concluir que la implementación de este tipo de mantenimiento predictivo y monitoreo constante de las máquinas es totalmente viable. Esta estrategia no solo contribuye al ahorro económico, sino que también extiende la vida útil de los equipos, lo que la convierte en una opción altamente beneficiosa para la operación y el mantenimiento industrial.

Conclusiones

La puesta en marcha de un sistema de mantenimiento predictivo en INHARIPAC S.A., enfocado en la detección de fallos a través del estudio de vibraciones, se presenta como una alternativa extremadamente ventajosa para la eficiencia en las operaciones y la extensión de la durabilidad de los equipos esenciales. El estudio efectuado sobre los tres equipos principales en la producción de harina de pescado (cocinador, secador rotadisco y secador rotatubo) ha evidenciado que la instalación de sensores de vibración en lugares críticos de estos equipos no solo ayuda a disminuir los periodos de parada, sino también a incrementar la confiabilidad de las máquinas.

La vigilancia continua de estos aparatos a través de sensores de vibración facilitará la identificación precoz de errores, tales como desequilibrio, desalineación de ejes, deterioro de los rodamientos y averías en los motores. Estas tecnologías de seguimiento predictivo permitirán prever los mantenimientos correctivos, lo que reducirá los gastos operativos y disminuirá el efecto adverso en la calidad del producto final. Además, el estudio de datos históricos y la implementación de sistemas de vigilancia constante, como se ha evidenciado en investigaciones anteriores, fortalecen la factibilidad de esta estrategia, tanto en términos técnicos como financieros.

La adopción de mantenimiento predictivo en INHARIPAC S.A. no solo optimiza el uso de recursos, sino que también asegura un proceso de producción más eficiente y confiable, mejorando la competitividad de la empresa en el mercado y prolongando la vida útil de los equipos industriales clave.

Recomendaciones

Es crucial que INHARIPAC S.A. establezca un sistema optimizado de mantenimiento predictivo, incorporando sensores extra y optimizando el estudio de datos históricos de errores. Esto facilitará una mayor exactitud en la identificación precoz de errores y disminuirá periodos de inactividad no previstos.

Además, se aconseja llevar a cabo más estudios para cubrir las lagunas en el entendimiento del comportamiento de las máquinas y investigar tecnologías en auge, como la inteligencia artificial. Las investigaciones futuras deben enfocarse en las ventajas financieras del mantenimiento predictivo y en incorporar otros métodos de diagnóstico, como el análisis de aceite, para enriquecer el estudio de vibraciones.

Bibliografía

- Miranda Quispe, A. S., & Puma Achahui, M. A. (2025). *Diseño de un plan de mantenimiento predictivo para incrementar la disponibilidad de los equipos en una empresa de servicio de alquiler de maquinaria pesada*. Universidad Continental.
- Alvarado Beltrán, D. S., & Longo Meneses, F. E. (2024). *Mantenimiento 4.0: Diseño de Modelo Predictivo para la Definición de Estrategias de Mantenimiento en la Industria Oil & Gas*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD, Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería – ECBTI, Especialización en Ciencia de Datos y Analítica.
- López Solar, G. (2004). *Análisis de vibraciones para el mantenimiento predictivo*. Técnica Industrial.
- Jiménez, J. (2011). Métodos estadísticos. *Obtenido de <http://www.sefh.es/bibliotecavirtual/erroresmedicacion/010.pdf>*.
- Castro Rojas, A. A. (2008). *Sensores utilizados en la automatización industrial*. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Eléctrica.
- Luna Quispe, J. I. (2017). *Plan de monitoreo por condiciones en el mantenimiento de componentes mayores de camiones 797F en Minera Chinalco Perú*. Facultad de Ingeniería Mecánica.
- Carrera Bravo, E. A. (2024). *Análisis de vibraciones como método de mantenimiento predictivo en máquinas rotativas*. (Tesina). Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Manta, Ecuador.

- Cedeño Anchundia, E., Arévalo Gamboa, L. M., & Leon Granizo, O. D. (2016). Estudio del impacto logístico-técnico que genera el mantenimiento predictivo en las PYMES de Milagro, Ecuador. *Revista Ciencia e Investigación*.
- Cifuentes, D. I. (2023). *Modelo de mantenimiento predictivo y proactivo para el funcionamiento de las maquinarias de la empresa Acería del Ecuador C.A. ADELCA*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Recuperado de repositorio.espe.edu.ec.
- Girón, L. F. (2017). *Implementación del análisis de aceite usado como herramienta de mantenimiento predictivo aplicado a las máquinas propulsoras del Guardacostas GC-653 Azumanche, del Comando Naval del Pacífico*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Buelvas, C. E., & Martínez, K. J. (2014). *Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa L&L*. Universidad Autónoma del Caribe.
- Izurieta-Recalde, C. W., Ramos-Araujo, C. E., Pérez-Londo, N. A., & Fuentes-Gaviláñez, L. (2022). *Métodos estadísticos predictivos para el análisis de riesgo financiero en proyectos de emprendimiento*. Dominio de las Ciencias.
- Lamas-López, F. (2022). *Sensores inteligentes y módulo de mantenimiento predictivo embarcado (MAPRE)*. Temas Profesionales, 2022.
- Morey-Solís, J. A., & Maruri-Revelo, M. A. (2025). Análisis de la viabilidad para el uso de una aplicación móvil en la optimización de tiempo y calidad en el servicio de lavado de autos. *Universidad Tecnológica Indoamérica, Ambato Ecuador*.
- Mafla, C., Castejón, C., & Rubio, H. (2022). *Mantenimiento predictivo en tractores agrícolas. Propuesta de metodología orientada al mantenimiento conectado*. Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica.

- Malambo Molano, R. A. (2022). *Mantenimiento predictivo industrial en procesos con alto nivel de automatización basado en el análisis de datos a nivel de planta*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Casal, J., Montiel, H., Planas, E., & Vílchez, J. A. (2002). *Análisis del riesgo en instalaciones industriales* (2nd ed.). Edicions UPC.
- Benítez Guzmán, W. A. (2024). *Mejoramiento en la gestión de herramientas a través de la implementación de un plan de mantenimiento preventivo en UMO S.A.* Universidad de Antioquia.
- Medancich, M. M. (2024). *Técnicas de mantenimiento predictivo en unidades navales de más de 25 años de la Armada Argentina*. Universidad de la Defensa Nacional.
- Cordova Huali, J. (2025). *Implementación de plan de mantenimiento predictivo en motores del sistema de enfriamiento de variadores de velocidad de bombas GEHO* (Trabajo de suficiencia profesional). Universidad Continental.
- Secretaría de Derechos Humanos. (2021). *Reglamento interno de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente del trabajo de la Secretaría de Derechos Humanos*. Artículo 2, Sección E.
- Moreno Garcés, L. (2019). *Reglamento al Código Orgánico del Ambiente, Decreto Ejecutivo 752*. Registro Oficial Suplemento 507. Artículo 599, Sección A
- Lasso Mendoza, G. (2021). *Reglamento general de la Ley Orgánica de Eficiencia Energética* [Decreto Ejecutivo No. 229]. Registro Oficial Suplemento 575. Artículo 26, Sección D

- Infante Gómez, P. (2023). *Modelo para el mantenimiento predictivo de segmentos especiales de vía*. Universidad de Cantabria.
- Cortijo Leyva, R. E., Mayorga, T., & Criollo, P. (2023). *Sistema de monitoreo remoto para mantenimiento predictivo en un motor eléctrico*. Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Información.
- Mete, M. R. (2014). *Valor actual neto y tasa de retorno: Su utilidad como herramientas para el análisis y evaluación de proyectos de inversión*. FIDES ET RATIO, 7(67-85). Universidad La Salle - Bolivia.
- Pineda Box, A. (2025). *Plan de mantenimiento predictivo en una planta de procesamiento de papel*. Universidad Miguel Hernández de Elche.
- Guevara, L., & Pilco, P. (2023). *Diseño y construcción de un módulo para el montaje y desmontaje de rodamientos de bolas a rótula 1208K para el laboratorio de mantenimiento correctivo de la facultad de mecánica*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Atupaña, N. P., & Zavala, M. A. (2024). *Construcción de un sistema de energía solar fotovoltaica para el laboratorio de mantenimiento correctivo de la facultad de mecánica*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Marulanda Gómez, J. A., & Quintero Zabala, S. (2025). *Análisis técnico y económico de optimización de proceso de relaves de planta de beneficio*. Universidad de Antioquia. Repositorio Institucional de la Universidad de Antioquia.
- Mago-Ramos, M. G., & Rocha-Pachón, S. (2021). *Diseño e implementación del plan de mantenimiento preventivo de los equipos de la empresa Granitos y Mármoles Acabados SAS*. Ciencia y Poder Aéreo, 16(2), 98-111.

- Hernández-Montero, F. E., Anías-Calderón, C., & Ruiz-Barrios, M. L. (2023). *El camino hacia la implementación del mantenimiento predictivo 4.0 en Cuba*. Ingeniería Industrial.
- Cabana Villca, S. R., Rivera Guerra, M. B., Véliz Fernández, R. P., & Aguilera Zambra, M. I. (2022). *Influencia del liderazgo y otras variables críticas en la competitividad de Mipymes chilenas*. Contaduría y Administración.
- Moreno Marcial, S. V., & Santos Méndez, A. M. (2022). *Optimización de procesos de producción en medianas empresas del sector textil*. Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Administrativas.
- Orozco-Montoya, R.A., Brenes-Maykall, A. & Sura-Fonseca, R. (2022). *Inventario Histórico de Desastres en Costa Rica en el Periodo 1970- 2020*. Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres REDER, 6(1), 66- 82. <https://doi.org/10.55467/reder.v6i1.85>
- Moreno Marcial, P. E., & Santos Méndez, M. M. (2022). *Optimización de procesos de producción en medianas empresas del sector textil*. RECIAMUC, 6(1), 226-234. [https://doi.org/10.26820/reciamuc/6.\(1\).enero.2022.226-234](https://doi.org/10.26820/reciamuc/6.(1).enero.2022.226-234)
- Carrera Bravo, E. A. (2024). *Análisis de vibraciones como método de mantenimiento predictivo en máquinas rotativas*. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Manta, Ecuador.
- Mousalli-Kayat, G. (2015). *Métodos y Diseños de Investigación Cuantitativa*. Mérida.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Quispe, M., & Calderón, J. (2016). *Uso de sensores industriales en la preparación de alimentos*. Campus, 21(1), 81-90. Universidad de San Martín de Porres.

- López Zambrano, M. J., García García, A., De Ignacio Vicens, G., & García Morón, C. (2011). *Sensor de vibraciones en estructuras. Calibrado y puesta en práctica*. Congreso de Innovación Tecnológica en la Edificación CITE.
- Amézquita Sánchez, J. P. (2012). *Monitoreo de vibraciones en tiempo real para detectar daños en estructuras* (Tesis doctoral). Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.
- Proaño Ordóñez, S. R. (2024). *Calibración de sensores de humedad del suelo con validación de campo*. Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental.
- Ramírez-Estrada, R. C., Hernández-Sánchez, A. L., Hernández-Sánchez, A. L., Aguilar-Díaz, D. A., & Pérez-Sánchez, J. M. (2024). *Sensores y tipos de sensores*. Tepexi Boletín Científico de la Escuela Superior Tepeji del Río.
- Romero, K. I., Méndez, L. C., González, I. J., & Quezada, A. E. (2025). *Implementación de modelos de aprendizaje automático para el mantenimiento predictivo y clasificación de fallas de maquinaria industrial*. Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún.
- Mollasalehi, E., Sun, Q., & Wood, D. (2016). Wind turbine generator bearing fault diagnosis using amplitude and phase demodulation techniques for small speed variations. In F. Chaari et al. (Eds.), *Advances in Condition Monitoring of Machinery in Non-Stationary Operations, Applied Condition Monitoring 4* (pp. 385-391). Springer International Publishing.
- Castellanos Torres, M. E., & Sánchez Miranda, M. F. (2005). *Programa de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones en equipos críticos de la industria azucarera* (Trabajo de graduación). Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”, Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

Kedadouche, M., Thomas, M., & Tahan, A. (2016). Empirical Mode Decomposition Combined with Empirical Wavelets for Extracting Bearing Frequencies in a Noisy Environment and Early Detection of Defects. *In F. Chaari et al. (Eds.), Advances in Condition Monitoring of Machinery in Non-Stationary Operations (pp. 151–160)*. Springer International Publishing.

Galarza, B. S., & Hernández, K. A. (2023). *Análisis factorial del tiempo medio entre fallas en sistemas de levantamiento artificial de pozos petroleros del campo Shushufindi*. Tesis de grado, Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Luna López, H. U. (2018). *Sensor de alerta para identificar impurezas en aceite de motores diésel*. Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora.

Anexos

Anexo 1: indicadores de control de temperatura cocinador

[illegible]

Anexos 2: indicadores de control temperatura secador

[illegible]

Anexos 3: cocinador



Anexos 4: secador rotatubo





Axenos 5: secador rotadisco





Anexos 6: Especificaciones del cocinador



FABRIC STEEL EIRL

Fabric Steel EIRL
RUC: 20541798472
Jr. Brasil Mz "P" Lt "8" PJ Villamaria - Nvo Chimbote
Cel: 0051 943656145 Nextel: 135*7534 Rpm: #634159
Email: hugoalegria@fabricsteel.com

OTIZACION N° 002513

Chimbote, 07 de Agosto del 2014

Señores : INDUSTRIAS HARINERAS DEL PACIFICO SAC

Atención : SR. FABIAN CAMPOS / THUESMAN RODRIGUEZ

Referencia : EQUIPOS PARA PLANTA HARINA DE PESCADO 20 TPH

Estimados Señores:

Mediante la presente nos es grato dirigirnos a Uds. con la finalidad de atender su amable solicitud y presentarles nuestra mejor oferta Técnica-Económica por el suministro y montaje de equipos para una Planta de Harina Residual Prime con capacidad de proceso de 20 TPH de materia prima, en material de acero inoxidable AISI 304.

1.- COCINADOR CONTINUO (20 TPH)

DESCRIPCION	Característica
TIPO DE COCCIÓN	VAPOR INDIRECTO Y/O MIXTO
Capacidad de Procesamiento	20 Ton/H.
Fracción de áreas de Transferencia de Calor en el rotor y en la chaqueta	Rotor 70% Aprox. Chaqueta 30% Aprox. TOTAL 100%
Rotor	16" de diámetro del eje central fabricado en Acero al Carbono ASTM - 53, y 10 mts de Longitud
Estator	Diámetro ext. e interior del estator 1 mt, fabricados en acero al carbono ASTM - 36 cilindro interior de 12 mm y la Chaqueta ext. de vapor de 8 mm. De espesor.
Bridas y Contra Bridas	ASTM -36 de 1/2" espesor, desmontables, fijados con pernos
Cojinetes	02 Pz. Chumaceras partidas para rodamiento especiales. 02 Pz. Rod. De rodillos a Rotula especiales. 02 Pz. Manguito de desmontaje especiales. 02 Pz. Arandelas especiales.
Sistema salida de Carga	Descarga Lateral y compuerta regulable en Acero al carbono ASTM A-36 de 1/4" esp.
Sistema de vapor y condensados	Sistemas de trapeo (con Trampas tipo flotador, Visores de doble mirilla, Válvulas By pass, Filtros y Check.)
Sist. Conexión Vapor y Condensados	Juntas Rotatorias bidireccionales, Aliment. De vapor a 7 Bar. Y salida de Condensado. Juntas flexibles de salida de condensado con capacidad de presión máxima de 10 Bar.
Prueba Hidrostática	Prueba demostrable 150 psig
PRECIO DE VENTA	\$62,000.00 + Impuesto

No Incluye: (proporcionado por la empresa Inharipac)

- Tubo Eje, Bridas y contrapuntas
- Motoreductor
- Sistema Eléctrico (tablero de operación)
- Estructuras y plataformas de operación
- Instalación de Tuberías de vapor desde caldero hasta cocina
- Montaje de Equipo.

Anexos 7: Especificaciones del secador rotadisco



FABRIC STEEL EIRL

Fabric Steel EIRL
RUC: 20541798472
Jr. Brasil Mz"P" Lt "8" PJ Villamaria -Nvo Chimbote
Cel: 0051 943656145 Nextel: 135*7534 Rpm: #634159
Email: hugoalegria@fabricsteel.com

2.-EQUIPO DE SECADO SECADOR ROTADISCO (12 TPH)

DESCRIPCION	CARACTERISTICAS
DETALLE	FABRICACIÓN Y MONTAJE DE UN SECADOR ROTADISCO CON UNA AREA DE TRANSF. DE 330 M ² DE 3,000 KG/H DE AGUA EVAP. (EQUIV. A 12 Tn/Hr. de M. PRIMA Anchoveta)
TIPO DE SECADO	VAPOR INDIRECTO
Capacidad de Evaporación	3,000 Kg. Agua evaporada /Hr.
Tubo-eje de Rotor	EN MATERIAL DE AC. CARBONO ASTM A-36 ESPESOR 1 1/4", de 9 mts de Longitud
Discos del Rotor	67 Discos de 1.85 mts, de espesor de 5/16" en plancha acero al carbono ASTM - 36.
Estator	Diámetro ext. e interior del cilindro adecuados, fabricados en que acero al carbono ASTM - 36 espesor interior de 1/4" y 3/8 la Chaqueta ext. de vapor.
Cojinetes	Chumaceras partidas para rodamiento especiales de rodillos a Rotula con manguitos desmontaje y Arandelas especiales.
Sistema salida de Vahos	Túnel y compuertas desmontables en Acero Inox. de 3/16", (Controlado mediante un damper regulable manualmente)
Sistema de Salida de Carga	Controlado mediante una compuerta regulable en inoxidable
Sistema de vapor y condensados	Aliment. De vapor a 4 Bar. Y salida de Condensado con sistemas de trampeo (con Trampas tipo flotador, Visores de doble minilla, Válvulas By pass, Filtros y Check.)
Sistema de Evacuación de Condensados	Junta Johnson, Juntas flexibles de entrada de vapor/salida de condensado de dimensiones adecuadas para este diseño
Transmisión	Catalina y piñón de paso doble de N° de dientes y paso adecuados para la capacidad cotizada Fabric. En Acero al carbono mecanizado según plano y Cadena tipo Renold de Paso doble.
Sistema motriz	01 Jgo. Acoplamiento tipo Hidraulico
Martillos Fijos	en plancha acero al carbono ASTM - 36. espesor de 3/4"
Bridas y Contra bridas de las tapas extremas	en plancha acero al carbono ASTM - 36. espesor de 1"
Accesorios	Plataformas y escalera de acceso Fab. Con material. Acero al carbono ASTM A-36.
Prueba Hidrostática	Prueba demostrable mínimo 150 psig
PRECIO DE VENTA	\$269,000.00 + impuesto

No Incluye: (proporcionado por la empresa Inharipac)

- Tubo Eje, Bridas y contrapuntas
- Reductor
- Motor eléctrico
- Sistema Eléctrico (tablero de Eléctrico)
- Instalación de Tuberías de vapor desde caldero hasta Secador
- Ducto de Vahos desde Secador a Pac
- Montaje de Equipo.

Anexos 8: Especificaciones del secador rotatubo



FABRIC STEEL EIRL

Fabric Steel EIRL

RUC: 20541798472

Jr. Brasil Mz"P" Lt "8" PJ Villamaria -Nvo Chimbote

Cel: 0051 943656145 Nextel: 135*7534 Rpm: #634159

Email: hugoalegria@fabricsteel.com

3.- SECADOR ROTATUBOS (10 TPH)

DESCRIPCION	Característica
DETALLE	Secador Rotatubos de 10 TPH de capacidad
TIPO DE SECADO	VAPOR INDIRECTO
Capacidad de Evaporación	2,800 Kg. Agua evaporada. /Hr. Aprox.
Tambor	2.8. M de diámetro y una long. De 13 M. Aprox. fabricado en Acero al Carbono ASTM A-36
Números de Tubos	114 Tubos de 4" de diam, calidad ASTM Norma ISO
Pistas de rodadura	Diámetro y ancho de las pistas de medidas adecuadas, fabricados en que acero forjado ASTM -1045
Bugües	Rodillos Radiales y Axiales De diámetro y ancho adecuados, fabricados en Ac. Fundido Aleado VC21 Con tratamiento térmico y mecanizado Según Plano Chumaceras partidas prefabricados con sus bocinas de bronce SAE 65.
Ejes Extremos	Eje Motriz en Ac. Fundido Aleado VC21 Con tratamiento térmico y mecanizado Según Plano, Eje de Cola en Ac. Fundido Aleado VC21 Con tratamiento térmico y mecanizado Según Plano
Sistema salida de Vahos Exhaustor de Vahos	Caja de humos de evacuación de vahos y Exhaustor de dimensiones bien diseñadas, con carcasa de Ac. Al carbono ASTM A-36 y Rodete de Ac. Inox. AISI 304.
Sistema ingreso y Salida de Carga	Tornillo de alimentación de carga húmeda con velocidad fija transmisión por cadena y Caja de humos de evacuación de sólidos secos.
Sistema de Alimentación de vapor y de Evacuación de Condensados	Junta rotatoria de entrada de vapor/salida de condensado de 3" de D. y x 2.1/2 " de D. con acoplamiento flexible con capacidad de presión máxima de 10 Bar.
Transmisión	Catalina y piñón de 3" de paso simple de nº de dientes adecuadas para la velocidad establecida. Fabricada En Acero al carbono con tratamiento térmico y mecanizado según plano y Cadena tipo Renold de Paso simple
Fuerza Motriz	01 Jgo. de acoplamiento Hidráulico motor-Reductor
Bridas y Contrabridas de las tapas extremas	ASTM -36 de 1" espesor, desmontables, fijados con pernos de varias medidas
Prueba Hidrostática	Prueba HIDROSTASTICA mínimo 150 psi
PRECIO DE VENTA	\$179,000.00 + Impuesto

No Incluye: (proporcionado por la empresa Inharipac)

- Tubos de transferencia de vapor 114 pzas de 4" espesor
- Reductor
- Motor eléctrico
- Sistema Eléctrico (tablero de Eléctrico)
- Instalación de Tuberías de vapor desde caldero hasta Secador
- Ducto de Vahos desde Secador a Pac
- Montaje de Equipos

Anexos 9: Recorrido por instalación







