



FACULTAD DE POSTGRADO

**TESIS DE POSTGRADO
PERFIL DE PROYECTO PARA UN DESARROLLO DE SISTEMA DE
MONITOREO CONTINUO DE VIBRACIÓN Y PREDICCIÓN DE
FALLAS EN MOTORES ELÉCTRICOS CON EL RESPALDO DEL
ENFOQUE DE PROYECTOS DEL PMBOK®**

SUSTENTADO POR:

MARVIN JOSÉ LORENZANA BUESO

EDGAR JOSUÉ LAÍNEZ FUENTES

PREVIA INVESTIDURA AL TÍTULO DE

MÁSTER EN ADMINISTRACIÓN DE

PROYECTOS

SAN PEDRO SULA, CORTÉS, HONDURAS, C.A.

AGOSTO, 2025

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA UNITEC

FACULTAD DE POSTGRADO

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTORA

ROSALPINA RODRÍGUEZ GUEVARA

VICERRECTOR ACADÉMICO NACIONAL

JAVIER ABRAHAM SALGADO LEZAMA

SECRETARIO GENERAL

ROGER MARTÍNEZ MIRALDA

DECANA DE POSTGRADO

ANA DEL CARMEN RETALLY VARGAS

**PERFIL DE PROYECTO PARA UN DESARROLLO DE
SISTEMA DE MONITOREO CONTINUO DE VIBRACIÓN Y
PREDICCIÓN DE FALLAS EN MOTORES ELÉCTRICOS CON
EL RESPALDO DEL ENFOQUE DE PROYECTOS DEL
PMBOK®**

**TRABAJO PRESENTADO EN CUMPLIMIENTO DE
LOS REQUISITOS EXIGIDOS PARA OPTAR AL
TÍTULO DE MÁSTER EN**

ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS

ASESOR METODOLÓGICO

MINA CECILIA GARCIA

MIEMBROS DE LA TERNA:

MARCO ANTONIO LOPEZ CARRASCO

RAFAEL LEONARDO MEDINA ENRIQUEZ

DERECHOS DE AUTOR

© Copyright (2025)
(Edgar Josué Láinez Fuentes y
Marvin Jose Lorenzana Bueso)

Todos los derechos son reservados



FACULTAD DE POSTGRADO

PERFIL DE PROYECTO PARA UN DESARROLLO DE SISTEMA DE MONITOREO CONTINUO DE VIBRACIÓN Y PREDICCIÓN DE FALLAS EN MOTORES ELÉCTRICOS CON EL RESPALDO DEL ENFOQUE DE PROYECTOS DEL PMBOK®

**NOMBRE DEL MAESTRANDO:
EDGAR JOSUÉ LAÍNEZ FUENTES
MARVIN JOSÉ LORENZANA BUESO**

RESUMEN

El motor eléctrico es uno de los equipos industriales más utilizados en los procesos de las plantas industriales de todo el mundo, estos equipos sufren desgaste debido a su uso y son los encargados del mantenimiento los que tienen que reparar las fallas que se presentan debido a dicho desgaste. En este estudio se planteó un perfil de proyecto de un sistema que monitoree las vibraciones de los motores eléctricos y pueda indicar a los usuarios con antelación cuando esta por suceder una falla, de esta forma evitar los paros no programados y maximizar la eficiencia en la producción. A través del enfoque del PMBOK® y la metodología de cascada, con ayuda de investigaciones de respaldo, se desarrolló un marco metodológico en el cual se establecieron las variables principales del problema, basándonos en las variables principales que buscamos establecer en este estudio, se realizó una encuesta a los usuarios de motores eléctricas dentro de las plantas productivas de san pedro sula, estudio que dio como resultado que las principales causas fallas en los motores eléctricos son sobrecarga, falla en los rodamientos y desbalanceo. El sistema de monitoreo que se propone es uno que pueda anticipar estas fallas en específico.

Palabras clave: automatización, mantenimiento, motores eléctricos, proyecto, vibraciones.



GRADUATE SCHOOL

PROJECT PROFILE FOR THE DEVELOPMENT OF A CONTINUOUS VIBRATION MONITORING AND FAILURE PREDICTION SYSTEM IN ELECTRIC MOTORS SUPPORTED BY THE PMBOK® PROJECT APPROACH

**STUDENT NAME:
EDGAR JOSUÉ LAÍNEZ FUENTES
MARVIN JOSÉ LORENZANA BUESO**

ABSTRACT

The electric motor is one of the most widely used pieces of industrial equipment in production processes across plants worldwide. Due to continuous use, these machines experience wear and tear, and it is the responsibility of maintenance personnel to repair the resulting faults. This study proposes a project profile for a system that monitors motor vibrations and alerts users in advance when a failure is likely to occur, thereby preventing unplanned shutdowns and maximizing production efficiency. Using the PMBOK® approach and the waterfall methodology, along with supporting research, a methodological framework was developed to define the main variables of the problem. Based on these variables, a survey was conducted among electric motor users in production plants in San Pedro Sula, revealing that the primary causes of motor failures are overload, bearing failure, and imbalance. The proposed monitoring system is specifically designed to predict these types of failures.

Key words: automation, electric motor, maintenance, project, vibration.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, quien ha guiado cada uno de mis pasos, dándome fortaleza y sabiduría para superar los retos de este camino académico. A mis padres, por su amor incondicional, su ejemplo de perseverancia y por enseñarme el valor del esfuerzo y la dedicación. Esta meta alcanzada es también un logro de ustedes.

Marvin José Lorenzana Bueso

Dedico este trabajo a Dios por darme la sabiduría y la serenidad para poder concluir esta etapa de mi vida, a mis padres por enseñarme los valores y brindarme su ejemplo de superación, a mi familia por estar conmigo en los momentos buenos y malos, y a mí mismo por ser resiliente ante las adversidades. Este trabajo va dedicado a todo ese esfuerzo mío y de mis compañeros de maestría que nunca nos rendimos y continuamos apoyándonos hasta el final.

Edgar Josué Láinez Fuentes

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres y mis hermanas, quienes han sido un pilar fundamental en mi vida, brindándome su amor, apoyo incondicional y motivación constante para alcanzar mis metas. A mis amigos, gracias por creer en mí, por su apoyo inquebrantable y por motivarme a seguir adelante en esta maestría, incluso en los momentos más desafiantes. Su confianza en mis capacidades ha sido una fuente de inspiración invaluable en este camino.

Marvin José Lorenzana Bueso

Agradezco a mi familia, amigos y compañeros, quienes fueron un pilar importante en este proceso, apoyándome y dándome aliento en los momentos en que más los necesite. Agradezco a Dios y a la vida por darme la oportunidad de estudiar esta interesante y enriquecedora maestría. Por último, agradecer a todos los centros de formación que a lo largo de mi vida han cultivado mis conocimientos y gracias a ellos he podido desarrollarme como el profesional que soy hoy en día. Infinitas gracias.

Edgar Josué Laínez Fuentes

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTO	2
ÍNDICE DE CONTENIDO	3
CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.1 INTRODUCCIÓN	7
1.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	7
1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	9
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	9
1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO	10
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	10
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
1.5 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	10
CAPITULO II MARCO TEÓRICO	11
2.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	11
2.2 CONCEPTUALIZACIÓN	13
2.3 TEORÍAS DE SUSTENTO	18
2.3.1 BASES TEÓRICAS	18
2.3.2 METODOLOGÍAS DESARROLLADAS POR OTROS INVESTIGADORES O EXPERTOS	21
2.4 MARCO LEGAL	26
CAPITULO III METODOLOGÍA	27
3.1 CONGRUENCIA METODOLÓGICA.....	27
3.1.1 MATRIZ METODOLÓGICA:	28
3.1.2 ESQUEMA DE VARIABLES DE ESTUDIO:	29
3.2 ENFOQUE Y MÉTODOS	31

3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	31
3.3.1 POBLACIÓN:	31
3.3.2 MUESTRA:	32
3.3.3 TÉCNICAS DE MUESTREO:	32
3.4 TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS APLICADOS	33
3.4.1 TÉCNICAS:	33
3.4.2 INSTRUMENTOS:	34
3.4.3 PROCEDIMIENTOS:	34
3.5 FUENTES DE INFORMACIÓN	35
3.5.1 FUENTES PRIMARIAS:	35
3.5.2 FUENTES SECUNDARIAS:	36
CAPITULO IV RESULTADOS Y ANÁLISIS	37
4.1 INFORME DE RECOLECCIÓN DE DATOS	37
4.2 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LAS TÉCNICAS APLICADAS:	38
CAPITULO V CONCLUSIONES	50
5.1 CONCLUSIONES	50
5.2 RECOMENDACIONES	51
CAPÍTULO VI APLICABILIDAD	53
6.1 NOMBRE DE LA PROPUESTA	54
6.2 JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA	54
6.3 ALCANCE DE LA PROPUESTA	56
6.4 DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO A DETALLE DE LA PROPUESTA	62
6.5 MEDIDAS DE CONTROL	72
6.5.1 REDUCCIÓN DE TIEMPO POR HORAS NO PROGRAMADAS	72
6.5.4 NÚMERO DE ALARMAS REPORTADAS	72

6.6 CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN	73
6.7 PRESUPUESTO E IMPACTO DEL PRESUPUESTO	76
6.8 CONCORDANCIA DE LOS SEGMENTOS DE LA TESIS	78
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
ANEXOS	83

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ANALIZADOR DE VIBRACIÓN ADASH.....	12
FIGURA 2. TÉCNICAS PARA MANTENIMIENTO PREDICTIVO.	14
FIGURA 3. PARTES DE UN MOTOR ELÉCTRICO.....	15
FIGURA 4. SENSOR DE VIBRACIÓN.	17
FIGURA 5. RED DE COMUNICACIÓN DE PLC VÍA ETHERNET.....	17
FIGURA 6. MAPA CONCEPTUAL METODOLÓGICO	18
FIGURA 7. FRECUENCIA DE OCURRENCIA DE PAROS NO PROGRAMADOS.....	38
FIGURA 8. FALLAS MÁS COMUNES EN MOTORES ELÉCTRICOS.	39
FIGURA 9. EFECTIVIDAD EN LA DETECCIÓN DE FALLAS.....	40
FIGURA 10. TECNOLOGÍAS PARA EL MONITOREO DE VIBRACIÓN CONOCIDAS.....	41
FIGURA 11. RANGO DE PRESUPUESTO CONSIDERADO PARA UN PROYECTO DE MONITOREO DE VIBRACIONES.....	42
FIGURA 12. OBSTÁCULOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE VIBRACIONES.....	43
FIGURA 13. ACTORES INDISPENSABLES EN UN PROYECTO DE MONITOREO DE VIBRACIONES.....	44
FIGURA 14. BENEFICIOS ESPERADOS DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE VIBRACIONES.....	45
FIGURA 15. CRUCE DE FRECUENCIA DE PAROS POR FALLAS VS OBSTÁCULOS DE IMPLEMENTACIÓN.....	46
FIGURA 16. CRUCE OBSTÁCULOS DE IMPLEMENTACIÓN VS PRESUPUESTO CONSIDERADO.....	48

FIGURA 17. ESTRUCTURA DE DESGLOSE DE TRABAJO.....	62
FIGURA 18. DIAGRAMA DE GANTT DEL PROYECTO - 1RA PARTE.....	75
FIGURA 19. DIAGRAMA DE GANTT DEL PROYECTO - 2DA PARTE.....	75

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. MATRIZ METODOLÓGICA:	28
TABLA 2. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE.....	30
TABLA 3. GESTIÓN E INVOLUCRAMIENTO DE INTERESADOS.....	68
TABLA 4. MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS.	69
TABLA 5. LISTADO DE TAREAS DE IMPLEMENTACIÓN.....	74
TABLA 6. DESGLOSE DE COSTOS DE EQUIPOS.....	76
TABLA 7. DESGLOSE DE COSTOS POR SERVICIOS.....	77
TABLA 8. DESGLOSE DE COSTOS TOTALES.	77
TABLA 9. CONCORDANCIA DE LOS SEGMENTOS - 1RA PARTE	77
TABLA 10. CONCORDANCIA DE LOS SEGMENTOS - 2DA PARTE.	78

CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Introducción

Los motores eléctricos son uno de los elementos con mayor presencia en el mundo de las plantas productivas. Estos elementos transforman la energía eléctrica en energía mecánica rotativa con la cual se llevan a cabo un centenar de acciones indispensables para desarrollar las actividades necesarias en un proceso productivo. Así como la capacidad instalada de los motores dentro de una planta productiva es alta, también lo son las fallas por el desgaste que estos equipos tienen. Estas fallas, si no son anticipadas, pueden ocasionar paros en la producción de las plantas, que se traduce en pérdida de tiempo y de recursos, que al final impacta la rentabilidad del negocio y la eficiencia de los procesos. A raíz de estas problemáticas en los procesos de mantenimiento se han desarrollado tecnologías, técnicas y procesos de mantenimiento predictivo, con equipos y estudios que pueden ayudar a predecir estas fallas y mitigar el riesgo de paros de producción no programados.

Este estudio busca diseñar un sistema de monitoreo continuo de ciertos parámetros de los motores eléctricos, con ayuda de sensores de monitoreo de vibración, que puedan ayudar a predecir las posibles fallas que están por suceder en estos equipos, evitando así los paros no programados por desperfectos en un motor. Este sistema busca reducir al máximo los mantenimientos correctivos dentro de las plantas productivas por fallas en los motores, maximizar el tiempo de producción y aumentar la eficiencia de las maquinas dentro de los procesos productivos.

1.2 Antecedentes del problema

Los paros no programados son un problema recurrente en las plantas de producción de todo el mundo, como método de reacción a estos problemas los departamentos de mantenimiento de las plantas productivas realizan lo que denominan como “mantenimiento correctivo”, este tipo de mantenimiento no ayuda a la eficiencia del proceso, ya que se realiza hasta que ocurre una falla en uno de los equipos. A raíz de esta observación y de la pérdida de tiempo de producción que ocasionan este tipo de fallas se comenzaron a diseñar planes o rutinas de mantenimiento denominadas “mantenimiento preventivo”, estas rutinas se realizan a los equipos estimando sus horas de operación desde su último mantenimiento, para prevenir fallas, esta metodología si bien reduce la cantidad de fallas no las mitiga por completo, ya que los equipos de alto desgaste o

críticos para el proceso, siempre están expuestos a fallas que detengan por completo el proceso de una línea de producción. Bajo esta problemática el mundo ingenieril se vio retado a desarrollar tecnología para implementar una nueva metodología en los mantenimientos, denominada “mantenimiento predictivo”, este se enfoca en poder monitorear ciertos parámetros de los equipos como las horas de operación, temperatura, conmutaciones, corriente, etc. Estas nuevas variables que se monitorean por medio de equipo específico para cada cosa en conjunto a la implementación en hardware que pueda interpretar estas señales, puede predecir antes de que un equipo falle, alertando a los equipos de mantenimiento para intervenirlo oportunamente y maximizando su vida útil. Actualmente la con la cuarta revolución industrial, estas tecnologías para mantenimiento predictivo cada vez son más y están teniendo un impacto significativo en el mundo industrial.

El monitoreo de vibraciones en motores eléctricos ha sido un campo de estudio fundamental en la industria para prevenir fallas inesperadas y optimizar el mantenimiento de maquinaria. Según Torres y Batista (2010), el análisis vibro dinámico es una herramienta clave para evaluar el estado de funcionamiento de los motores eléctricos, ya que permite detectar desbalances, desalineaciones y otros defectos mecánicos que pueden afectar su desempeño. Este tipo de análisis ha evolucionado con el tiempo, incorporando técnicas avanzadas que facilitan la interpretación de los datos obtenidos mediante sensores especializados.

Por otro lado, la historia de la medición de vibraciones en el mantenimiento predictivo ha pasado por diversas etapas, desde métodos rudimentarios hasta sistemas sofisticados con sensores de alta precisión. De acuerdo con Aroeira (2023), en sus inicios, la detección de vibraciones se realizaba a través de inspecciones visuales y táctiles, lo que presentaba limitaciones en la identificación temprana de fallas. Con el desarrollo de tecnologías como los acelerómetros piezoeléctricos y los sensores MEMS, ha sido posible obtener mediciones más precisas y en tiempo real, permitiendo la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo más eficientes.

El monitoreo continuo de vibraciones se ha convertido en una práctica esencial en la industria moderna, ya que contribuye a la reducción de costos operativos y mejora la confiabilidad de los sistemas eléctricos. La integración de estos sistemas con herramientas de análisis avanzadas facilita la detección temprana de anomalías y optimiza la toma de decisiones en el mantenimiento industrial. En este sentido, el desarrollo de metodologías más precisas y automatizadas representa un avance significativo en la gestión del mantenimiento de motores eléctricos.

1.3 Definición del problema

Los paros de producción recurrentes por desperfectos en motores eléctricos, ocasionan pérdida de dinero y tiempo de producción a las plantas productivas, actualmente el análisis de vibración de los motores para predecir cuándo necesitan mantenimiento se hace por medio de equipos que toman muestras bajo una rutina de evaluación “cada cierto tiempo”, son pocos los sistemas existentes de monitoreo continuo de las variables de vibración en los motores y los existentes en el mercado tienen un costo bastante elevado.

Esta falta de sistemas, viables de integrar, para las plantas productivas ocasiona que sigan teniendo paros productivos por fallas mecánicas en los motores eléctricos, ¿cómo diseñar un sistema de monitoreo continuo de los parámetros de vibración en los motores eléctricos que sea viable económica y técnicamente con la tecnología disponible en el mercado?

Preguntas de investigación

1. ¿Cuáles son las causas más comunes de los paros no programados en los motores eléctricos dentro de la industria?
2. ¿Qué tecnologías o equipos para el monitoreo continuo de vibración existen actualmente disponibles en el mercado?
3. ¿Cuál es el alcance de proyecto para desarrollar un sistema de monitoreo continuo de vibración que alerte automáticamente sobre fallas mecánicas en motores eléctricos, utilizando las herramientas y metodologías del PMBOK®?

1.4 Objetivos del proyecto

1.4.1 Objetivo General

Desarrollar un perfil de proyecto para un desarrollo de sistema de monitoreo continuo de vibración y predicción de fallas en motores eléctricos con el respaldo del enfoque de proyectos del PMBOK®

1.4.2 Objetivos específicos

- Establecer las causas de paros no programados más comunes en los motores eléctricos en la industria.
- Investigar las tecnologías disponibles para el monitoreo continuo de los parámetros de vibración en los motores eléctricos en el mercado industrial actual.
- Establecer la gestión de alcance de proyecto para desarrollar un sistema de monitoreo continuo de vibración que sea capaz de alertar automáticamente antes de que ocurra una falla mecánica en los motores eléctricos, con las herramientas del PMBOK®.

1.5 Justificación del proyecto

La implementación de un sistema de monitoreo continuo de vibración en motores eléctricos es crucial para los usuarios responsables en gestionar el mantenimiento predictivo en entornos industriales. Actualmente, las inspecciones periódicas dejan ventanas de tiempo en las que pueden ocurrir fallas inesperadas, generando pérdidas económicas por paros no programados, costos de reparación y reducción de la eficiencia operativa.

Este proyecto busca reducir los costos asociados a mantenimientos correctivos y paros inesperados, mejorando la planificación del mantenimiento y aumentando la vida útil de los motores. Un sistema de monitoreo continuo puede representar un retorno de inversión significativo al disminuir el impacto financiero de las fallas imprevistas. El uso de sensores de vibración de última generación, junto con algoritmos de análisis avanzados, permitirá detectar anomalías en tiempo real y generar alertas tempranas, facilitando la toma de decisiones basada en datos.

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

Los proyectos de automatización industrial buscan desarrollar sistemas que resuelvan problemáticas, hagan actividades repetitivas o anticipen fallas potenciales. Este tipo de proyectos se pueden abordar desde metodologías predictivas ya que se realizan utilizando como base tecnología ya existente y específica para cada aplicación. Los sistemas de monitoreo continuo de variables han impulsado el mantenimiento predictivo a ser una alternativa ideal para evitar paros no programados o mitigar riesgo de fallas de los equipos.

2.1 Análisis de la situación actual

Todos los productos que consumimos día a día, como los refrescos, celulares, vehículos, computadoras, snacks, galletas, etc. Son procesados, construidos o creados dentro de una planta de producción. Las plantas de producción o fabricas industriales son entornos donde las máquinas y los humanos interactúan para convertir la materia prima hasta un producto final el cual es distribuido, comercializado y posteriormente adquirido y utilizado por los consumidores finales.

En toda máquina dentro de los procesos productivos existen vibraciones. Las vibraciones son un indicador de que algo no anda bien en una máquina, la vibración puede indicar que hay desgaste de las piezas mecánicas, fisuras, pérdida de efectividad de los sellos, etc. Por lo tanto, monitorear o detectar los niveles de vibración de una maquina es una manera efectiva para poder prever una falla. (Kulichvsky et al., s. f.)

Las vibraciones se pueden monitorear tanto en máquinas rotativas como en máquinas inducidas como lo son ejes de transmisión, este monitoreo nos permite establecer si las maquinas se encuentran dentro de los parámetros estándares o fuera de estos para poder determinar la vida útil de estas y cuando es necesario realizarles un mantenimiento.

Actualmente uno de los métodos más utilizados para el mantenimiento predictivo en motores eléctricos es el análisis vibro dinámico, este análisis permite monitorear diversas variables con las cuales se puede trazar una tendencia de desgaste mecánico de las distintas piezas de un motor eléctrico y darle seguimiento al estado de este. Con el análisis de vibraciones se pueden predecir fallas como; rotura y agrietamiento de barras y anillos en cortocircuito del rotor, excentricidades, estática y dinámica, desequilibrios y desalineaciones mecánicas, fallas en los cojinetes, perdida de alguna fase, cortocircuitos entre espiras, imperfecciones en el circuito

magnético y otras. (Torres-Rodríguez & Batista-Rodríguez, 2010)

Un análisis de vibraciones este compuesto por dos etapas:

- a. Obtención de datos.
- b. Interpretación de datos e identificación de problemas. (Kulichvsky et al., s. f.)

Actualmente se realizan análisis de vibración en los motores eléctricos bajo un enfoque de mantenimiento preventivo de la siguiente forma.

Los equipos de medición de vibraciones son colocados en los motores eléctricos durante un tiempo determinado, en este tiempo los sensores recopilan los datos necesarios y luego son interpretados en un analizador de vibraciones bajo 2 técnicas, el análisis de valores globales y el análisis espectral de vibraciones. Estas muestras de vibración son comparadas bajo la vibración nominal de otras máquinas similares o bajo parámetros de alarma establecidos en las normas ISO. Si bien este enfoque preventivo es útil para evitar paros no programados en las maquinas, no es eficiente ya que, si los intervalos de revisión son muy largos, puede no detectarse una falla a tiempo y si son demasiado cortos, los costos de mantenimiento suben al reemplazar piezas que no han finalizado su vida útil.



Figura 1. Analizador de vibración ADASH.

Fuente:(Unidad de Vibración, s. f.)

2.2 Conceptualización

Con la industrialización se crearon una gran cantidad de máquinas y componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos, los cuales sufren un desgaste físico de acuerdo con el uso constante dentro de las máquinas industriales. Para la reparación de fallas o daños debido a este desgaste se formaron a especialistas que forman parte de los equipos de mantenimiento dentro de las plantas. Estos especialistas son los encargados de reparar las máquinas dentro de una planta de producción y este mantenimiento se realiza bajo 3 métodos:

Mantenimiento correctivo: el mantenimiento correctivo se aplica cuando una máquina deja de operar por una falla en alguna de sus partes. Este tipo de mantenimiento busca reemplazar o reparar la pieza que falló en el menor tiempo posible, para poder reanudar la operación de la máquina y reducir al máximo el tiempo de paro de producción. (Pinzón, s. f.)

El mantenimiento correctivo se le conoce también como mantenimiento reactivo y es uno de los más ineficientes ya que se soluciona sobre la marcha hasta que un equipo falla, esto implica pérdida del tiempo de producción lo que tiene asociado a su vez dinero que la empresa o la planta deja de percibir como ingresos debido a que no está produciendo. En este tipo de fallas también se tiene el riesgo de que el producto que se está procesando se heche a perder si se extiende demasiado, en dependencia del tipo de producto.

Mantenimiento preventivo: El mantenimiento preventivo, consta en crear rutinas de mantenimiento las cuales se ejecutan bajo un tiempo definido basándose en algunos análisis o la experiencia que tiene el equipo de mantenimiento. En este método de mantenimiento el equipo calendariza las actividades de reparación, inspección o monitoreo para realizarse cada cierto periodo, con el objetivo de anticiparse a las posibles fallas del equipo. (Pinzón, s. f.)

Estas rutinas se documentan y se registran para calendarizar la nueva ronda de ejecución de las actividades. Con el mantenimiento preventivo se pueden evitar fallas catastróficas al realizar mantenimiento a los equipos con cierta periodicidad.

En este tipo de mantenimientos no se prioriza la eficiencia del mantenimiento, ya que las piezas o equipos se reemplazan sin conocer realmente si ya llegaron al final de su vida útil. Lo que eleva los costos por mantenimiento.

Mantenimiento predictivo: en el mantenimiento predictivo, se asocia el desgaste con parámetros físicos que permiten evaluar el comportamiento de ciertas variables para poder predecir el fallo inminente de un equipo industrial. En el equipo se evalúan, configuran y gestionan valores de alarma para aquellas variables que se contemplan relevantes para medir y gestionar. (Pinzón, s. f.)

En el mantenimiento predictivo se ejecutan técnicas de monitoreo continuo o periódico, donde se recopilan datos de las variables relevantes a evaluar, con los cuales se analiza el funcionamiento de un equipo, se establecen límites de tolerancia para estas variables, los cuales si se ven rebasados indican sobre una falla inminente en el equipo



Figura 2. Técnicas para mantenimiento predictivo.

Fuente: (Pinzón, s. f.)

Motores eléctricos: los motores eléctricos son maquinas rotativas que transforman la energía eléctrica en energía mecánica. Los motores están contruidos con diversas partes, entre sus principales destacan el estator y el rotor. Por medio de la corriente eléctrica se genera un campo electromagnético rotativo en el estator, el cual genera una corriente inducida en el rotor haciéndolo girar a una velocidad y fuerza determinada, de esta forma se consigue trasladar energía mecánica por medio del eje del rotor el cual se acopla a las distintas partes de una máquina. (Pernia, 2011)

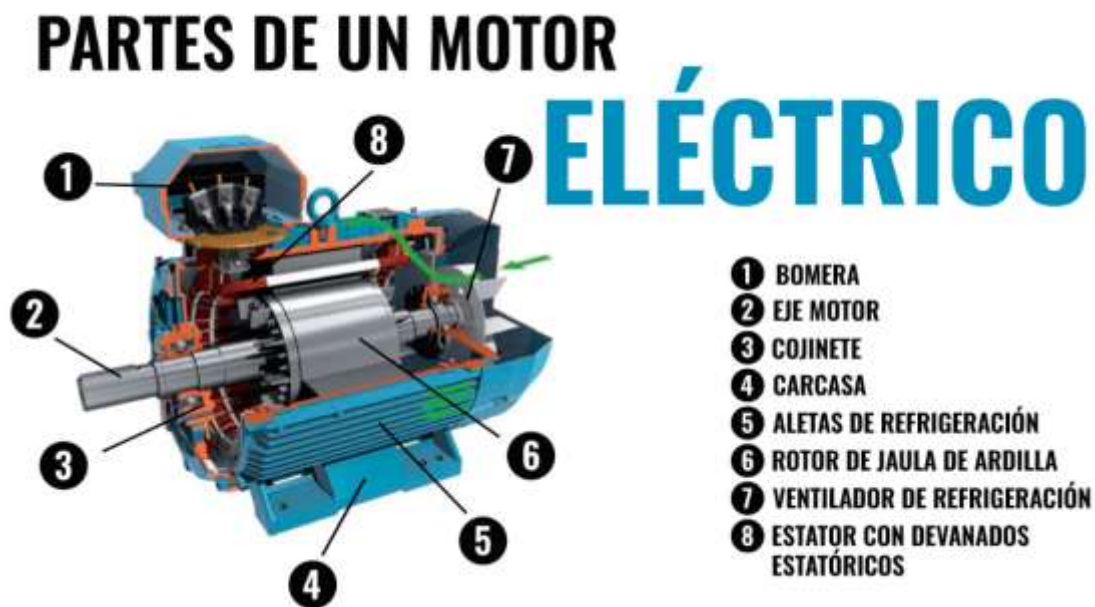


Figura 3. Partes de un motor eléctrico.

Fuente: (Electrotec | Partes de un Motor Electrico, s. f.)

Automatización: con la industrialización cada vez fue una necesidad el que las maquinas pudiesen realizar ciertos procesos o actividades sin intervención humana, a esto se le conoce como automatización.(Agudelo et al., s. f.)

La automatización de sistemas industriales consta en identificar tareas repetitivas y diseñar sistemas lógicos programables o cableados para desarrollar secuencias automáticas que puedan desarrollar esa tarea, por ejemplo, el cambio de giro de una banda transportadora o la clasificación de producto en base a su material.

Los sistemas automatizados son la base donde se construyen las diferentes técnicas para monitoreo continuo de variables y son estos sistemas o elementos los que ayudan a poder predecir fallas en base a la recopilación e interpretación de datos.

Vibraciones: se conoce como vibración u oscilación a cualquier movimiento que se repite después de un intervalo de tiempo. (Rao, et al. 2011)

Todos los movimientos producen una vibración y estas producen un ruido. Un ejemplo son las vibraciones de las cuerdas vocales, al hablar las cuerdas vocales vibran a una cierta frecuencia la cual produce un sonido que pueden percibir los oídos humanos. Igual que las cuerdas vocales, todos los movimientos dentro de una maquina produce cierta vibración que puede ser percibida por equipos diseñados para monitorearlas.

Espectro de vibraciones: para poder estudiar y analizar las vibraciones en una maquina se deben analizar 3 variables fundamentales el desplazamiento, la velocidad y la aceleración del objeto que está vibrando, el espectro de vibraciones es la representación gráfica de estas variables que ayuda a visualizar los distintos comportamientos que tienen estas variables a través del tiempo y como la frecuencia de estas va cambiando. (White, 2010)

Sensores industriales: Los sensores son aparatos capaces de transformar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, en magnitudes eléctricas. (Serna et al., 2010)

Los sensores recopilan información de variables como velocidad, aceleración, desplazamiento, choque, temperatura, etc.

Para el análisis de vibración los sensores son los encargados de recopilar las variables y frecuencias de vibración para poder determinar las fallas en los motores eléctricos. Estos datos recolectados se comparan con los datos establecidos bajo norma o los parametrizados bajo el funcionamiento común de máquinas similares.



Figura 4. Sensor de vibración.

Fuente: («Acelerómetro para vibración en desplazamiento METRA KSI84D», 2021)

Controladores lógicos programables: para la recopilación e interpretación de los datos de estos sensores que envían magnitudes eléctricas se utilizan los controladores lógicos programables (PLC). Los controladores lógicos programables son máquinas electrónicas que están diseñadas para controlar en tiempo real y en medio industrial procesos secuenciales. (Aguilera, 2002)

Los PLC trabajan como el cerebro de una máquina, es aquí donde llegan todas las señales de entrada, se procesan y transforman en señales de salida que indican a los sistemas realizar tareas específicas y secuenciales. Se le conoce como lógica de programación a la secuencia de tareas que el PLC ordenara al sistema realizar en base a condiciones ya establecidas por el usuario.

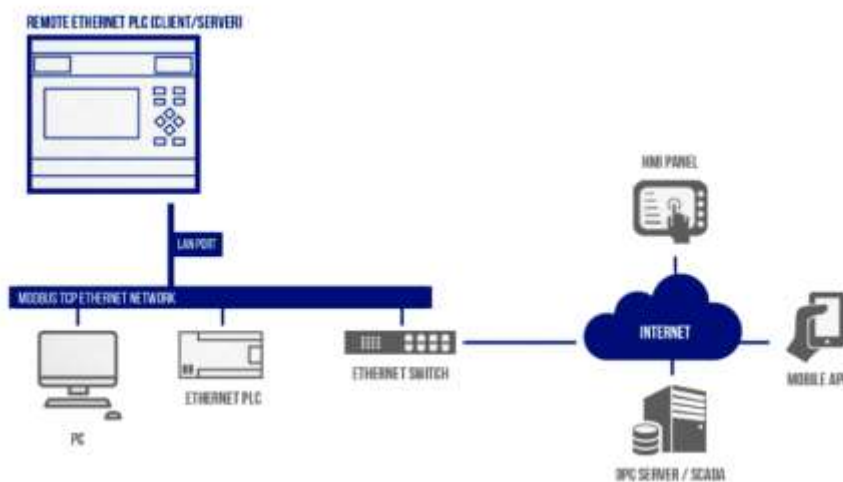


Figura 5. Red de comunicación de PLC vía Ethernet.

Fuente:(Ethernet PLC - Sensorstecnic, Honeywell, s. f.)

2.3 TEORÍAS DE SUSTENTO

El desarrollo de un sistema de monitoreo continuo de vibración y predicción de fallas en motores eléctricos requiere un enfoque metodológico robusto que garantice una implementación efectiva y alineada con las mejores prácticas de gestión de proyectos. En este sentido, la metodología en cascada (Waterfall) y el estándar PMBOK® (Project Management Body of Knowledge) representan dos enfoques clave para estructurar y ejecutar el proyecto de manera eficiente.

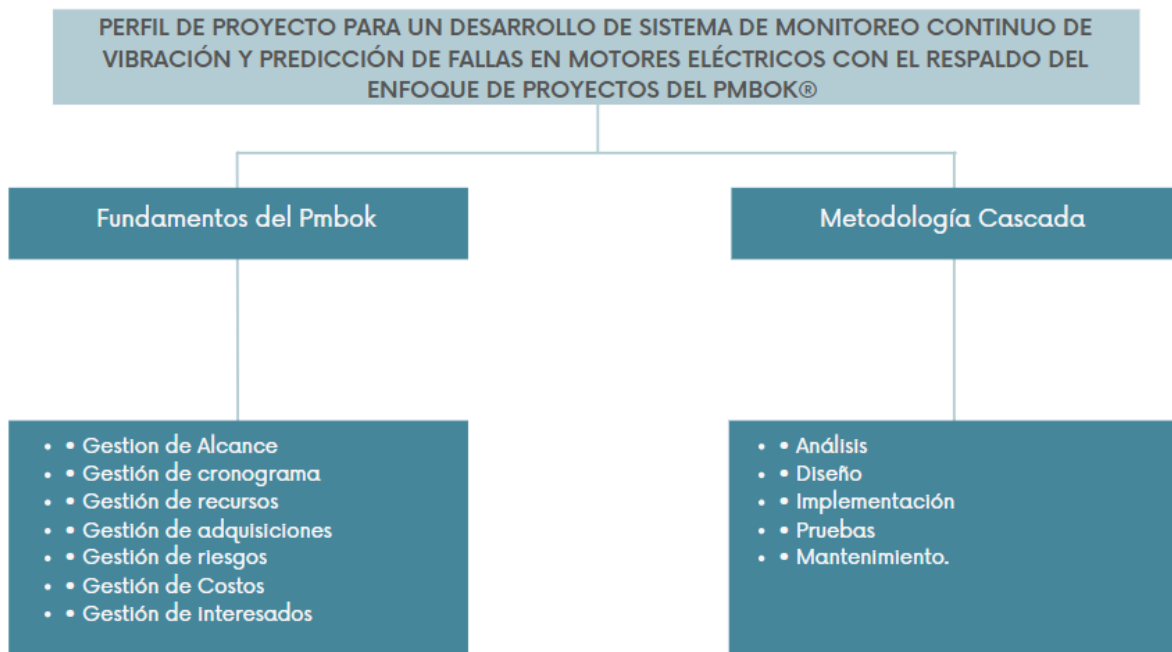


Figura 6. Mapa conceptual metodológico

Fuente: (Elaboración propia).

2.3.1 Bases Teóricas

La metodología Waterfall permite la división del proyecto en fases secuenciales, asegurando que cada etapa se complete antes de iniciar la siguiente. Por su parte, el PMBOK® proporciona directrices específicas para la gestión de los distintos ámbitos del proyecto, como alcance, cronograma, recursos, adquisiciones, riesgos, costos e interesados. La combinación de ambas metodologías garantizará un proceso ordenado y basado en estándares internacionales, lo que permitirá una ejecución eficiente y efectiva del proyecto en el contexto industrial.

1. Aplicación de la Metodología Waterfall en el proyecto.

La metodología Waterfall se caracteriza por su enfoque estructurado y secuencial. Se compone de diversas fases que deben completarse en orden, evitando retrocesos innecesarios que podrían afectar la integridad del proyecto (Sommerville, 2015). Esta metodología es perfecta para este tipo de proyectos donde la culminación de cada actividad es clave para el avance del proyecto, pues una fase del proyecto no puede comenzar sin haber finalizado su predecesora. El Waterfall permite a los administradores de proyecto que tienen un objetivo definido desde el principio trabajar con retrospectiva, es decir, que pueden tener un plan claro con los requisitos necesarios para desarrollar el proyecto. Así mismo, este facilita el seguimiento de las actividades y administra el tiempo de los miembros del proyecto de un modo efectivo por lo que en la fase de planificación se puede estimar con precisión la duración de dichos eventos. Las principales fases de la metodología Waterfall en el contexto del presente proyecto son:

- **Recolección de Requisitos:** Identificaremos los requisitos necesarios por parte de los usuarios de motores eléctricos, de modo que se pueda definir un alcance. Es clave establecer puntos como las fallas comunes en motores eléctricos, modo de recolección y transmisión de los datos, visualización de la información, tecnologías de vanguardia, variables de medición relevantes, condiciones ambientales y facilidades del usuario.
- **Diseño del Sistema:** Importante generar una plataforma en que la información sea fácil de acceder y de visualizar. Para este proceso es importante analizar la fase recolección de requisitos para priorizar los valores el cual le sean más importantes al cliente, esto de la mano con una complejidad baja que sea de uso sencillo para todo el interesado. Entre otros, importante el montaje físico y la adecuación del instrumento de medición al motor eléctrico.
- **Implementación:** Gestionar todos los recursos y ejecutar el cronograma planificado siguiendo las actividades a desarrollar paso por paso para la culminación del último entregable.
- **Pruebas y Validación:** Luego de la implementación se procede a unos testeos en condiciones reales para corroborar que el sensor puede leer datos y transmitirlos en tiempo y forma. Se corrobora con el usuario el visto bueno de la plataforma donde se miran las variables de vibraciones y otros gráficos. Evaluación del funcionamiento de todas las partes durante un periodo de tiempo de 30 días sin errores para la validación del proyecto.
- **Despliegue y Mantenimiento:** A partir del tiempo estipulado de prueba, se estará realizando

unas inspecciones rutinarias tanto para la recolección de la información como revisar la condición del equipo en dado caso que se necesite un mantenimiento.

El uso de esta metodología permitirá minimizar riesgos al garantizar que cada fase esté completamente definida antes de pasar a la siguiente, lo que resulta especialmente relevante en proyectos donde la fiabilidad del sistema es crítica (Pressman, et al., 2020).

2. Aplicación del PMBOK® en el proyecto.

El PMBOK® (Project Management Body of Knowledge) es un marco de referencia reconocido internacionalmente para la gestión de proyectos. Proporciona un conjunto de buenas prácticas, herramientas y procesos que permiten gestionar eficazmente los proyectos, asegurando el cumplimiento de los objetivos en términos de alcance, tiempo, costo, calidad y otros factores clave.

En el contexto de esta tesis, cuyo enfoque es el desarrollo de un perfil de proyecto para un sistema de monitoreo continuo de vibración en motores eléctricos, la aplicación del PMBOK® es crucial para garantizar que la propuesta sea factible, estructurada y alineada con las mejores prácticas en gestión de proyectos.

Las metodologías del PMBOK® permiten una mejor planificación y control de los aspectos clave del proyecto, minimizando riesgos y optimizando recursos. En esta tesis, se hará especial énfasis en las siguientes áreas de gestión:

- Gestión del Alcance

La gestión del alcance es fundamental para definir y controlar el trabajo que se debe realizar en el proyecto. En esta tesis, esta gestión asegurará que el perfil del sistema de monitoreo continuo de vibración sea claro, bien delimitado y alineado con los objetivos planteados. Para ello, se establecerán límites precisos para evitar desviaciones y garantizar que los entregables sean correctamente definidos, como la documentación del sistema, el análisis de factibilidad y la propuesta de implementación. Se descompondrá el proyecto en tareas manejables utilizando una estructura de desglose del trabajo (EDT) que permitirá visualizar la relación entre actividades. Finalmente, se implementará un control del alcance que garantice la conformidad con los requerimientos definidos y permita gestionar cualquier cambio que surja sin comprometer la viabilidad del proyecto.

- Gestión de los Recursos

La gestión de los recursos permitirá definir y administrar de manera eficiente los insumos necesarios para el desarrollo del perfil del proyecto, considerando recursos humanos, materiales y tecnológicos. En esta tesis, se identificarán los sensores, software, hardware y demás componentes que formarán parte del sistema de monitoreo continuo de vibración, asegurando su disponibilidad y viabilidad. También se analizará la necesidad de adquirir tecnología externa y la posible capacitación del personal involucrado en la operación del sistema en caso de implementación. A lo largo del proyecto, se supervisará la asignación y utilización de estos recursos para optimizar costos y evitar desperdicios, garantizando así que los insumos sean empleados de manera eficaz y sostenible.

- Gestión del Cronograma

El cronograma es un componente esencial para la organización y planificación de las actividades necesarias para el desarrollo del perfil del proyecto. En esta tesis, se identificarán todas las tareas requeridas y se establecerá la secuencia óptima para su ejecución, considerando la lógica de precedencia entre actividades como la investigación de tecnologías antes de la elaboración del perfil.

- Gestión de la Calidad

La gestión de la calidad garantizará que el perfil del sistema de monitoreo continuo de vibración cumpla con los estándares técnicos adecuados y sea viable para su implementación en la industria. Para ello, se establecerán criterios de calidad desde la fase de planificación, definiendo los requisitos que debe cumplir el perfil del proyecto en términos de precisión técnica y aplicabilidad. Durante la elaboración del proyecto, se aplicarán revisiones y verificaciones periódicas para evaluar la solidez del contenido, asegurando que las recomendaciones y conclusiones sean sustentadas por información confiable. Finalmente, se implementará un control de calidad que permita validar la conformidad del documento final con los requisitos establecidos, garantizando la rigurosidad metodológica y la relevancia de los resultados.

2.3.2 Metodologías desarrolladas por otros investigadores o expertos

Las metodologías del PMBOK® y Waterfall se han utilizado para estructurar la planificación, ejecución y control de otros proyectos de monitoreo de características similares, tales como el desarrollo de perfiles de proyectos o implementación de sistemas de medición de

temperatura, humedad y emisión de gases. El siguiente apartado se fundamenta en dos tesis que sirven como respaldo para este perfil de proyecto, además de actuar como guía, dado que ambas han sido casos de éxito que han logrado resultados positivos en sus respectivos trabajos.

2.3.2.1 Aplicación de la metodología PMBOK® y Cascada (Waterfall) en el monitoreo de condiciones

La utilización de la metodología Waterfall en nuestro proyecto se basa en su efectividad demostrada en estudios previos, como el de Mendoza (2024), quien la aplicó con éxito en el “EVALUACIÓN DE SENSORES DE VARIABLE FÍSICA PARA SU APLICACIÓN EN IOT PARA LA INDUSTRIA”. Su implementación permitió establecer una estructura clara y organizada para la gestión de datos provenientes de sensores, asegurando que cada fase del desarrollo se completara antes de avanzar a la siguiente. En nuestro caso, la metodología Waterfall es especialmente adecuada debido a la naturaleza secuencial de nuestro proyecto, que requiere una planificación detallada y validaciones progresivas para garantizar la viabilidad del sistema de monitoreo continuo de vibración y predicción de fallas en motores eléctricos.

Uno de los principales puntos de éxito de la metodología en el estudio de Mendoza fue la fase de recopilación de información, donde se seleccionaron cuidadosamente los sensores y componentes adecuados antes de proceder al diseño del sistema. Esta misma estrategia es crucial en nuestro proyecto, ya que debemos investigar y definir varios factores claves como las causas principales en las fallas de motores, los sensores de vibración más apropiados, así como los sistemas de adquisición y análisis de datos que mejor se adapten a las condiciones industriales. Si en la investigación de Mendoza la selección adecuada de sensores de temperatura, luz y presencia humana fue clave para la precisión del sistema, en nuestro caso, el establecer un perfil de proyecto adecuado a lo que el mercado realmente demanda, será determinante para el éxito del proyecto.

Otro punto de éxito en la aplicación de Waterfall en la tesis de Mendoza fue la fase de diseño e implementación del sistema, donde se estableció una arquitectura bien definida antes de iniciar la fase de programación y pruebas. Este mismo enfoque resulta indispensable en nuestro caso, ya que el sistema de monitoreo de vibración debe contar con una infraestructura robusta que

incluya la disposición de sensores en puntos estratégicos, la integración con sistemas de procesamiento de datos y la comunicación con plataformas de análisis predictivo. Al aplicar Waterfall, aseguramos que el diseño del sistema esté completamente especificado y validado antes de su implementación, evitando retrabajos costosos y asegurando que los requerimientos sean cumplidos desde el inicio.

Asimismo, la metodología permitió estructurar la fase de pruebas y validación de manera rigurosa, asegurando que el sistema cumpliera con los objetivos planteados antes de ser considerado como una solución viable. En nuestro caso, esta fase será clave para verificar la precisión de los sensores de vibración en la detección temprana de fallas en motores eléctricos. Al seguir el enfoque en cascada, podremos desarrollar pruebas progresivas en cada componente del sistema, comenzando con la calibración de sensores, pasando por la validación del procesamiento de datos y finalizando con la evaluación del sistema completo en condiciones reales de operación.

Por último, Waterfall también se destacó en el estudio por permitir una documentación clara y estructurada del proceso de desarrollo, lo cual es un requisito esencial en nuestro proyecto. Al aplicar esta metodología, podremos generar un registro detallado de cada fase del proyecto, lo que facilitará aplicar el mismo sistema en diferentes usuarios.

La experiencia de Mendoza (2024) demuestra que su aplicación es efectiva en proyectos donde la secuencialidad y la validación progresiva de cada fase son críticas para el éxito. Aplicando Waterfall, garantizaremos que nuestro sistema se desarrolle con una base estructurada, reduciendo riesgos, optimizando recursos y asegurando que cada etapa se complete de manera eficiente antes de avanzar a la siguiente.

Ahora, para la aplicación de la metodología PMBOK® en nuestra investigación se fundamenta en experiencias previas como la tesis de Torres y Ulloa (2024), quienes estructuraron “PERFIL DE PROYECTO: ESTRATEGIAS DE GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN LOS DEPARTAMENTOS DE CHOLUTECA Y LA PAZ”. En su estudio, la implementación del PMBOK® permitió definir con claridad las fases del proyecto, garantizando una planificación ordenada y alineada con los objetivos estratégicos. En nuestro caso, dado que el propósito es

desarrollar un perfil de proyecto para un sistema de monitoreo continuo de vibración en motores eléctricos, resulta esencial utilizar este marco metodológico para estructurar correctamente cada componente del proyecto.

Uno de los aspectos más relevantes en la tesis de Torres y Ulloa (2024) fue la gestión del alcance, la cual permitió delimitar claramente las actividades necesarias para el desarrollo del proyecto y evitar desviaciones que comprometieran los entregables finales. En nuestro estudio, esta gestión nos permitirá establecer los objetivos específicos del sistema de monitoreo, definiendo con precisión los componentes a desarrollar, tales como la selección de sensores, la integración con sistemas de análisis de datos y el desarrollo de alertas predictivas. Al igual que en la tesis de referencia, elaboraremos una Estructura de Desglose del Trabajo (EDT), dividiendo el proyecto en tareas concretas y organizadas, asegurando que cada fase se ejecute de manera controlada y sin desviaciones en el alcance establecido

Otro elemento clave es la gestión del cronograma. En la tesis de Torres y Ulloa (2024), se utilizó la técnica PERT para estimar la duración de cada actividad y definir un plan de trabajo eficiente, minimizando retrasos y asegurando que cada fase se complete en el tiempo previsto. En nuestro caso, aplicaremos un enfoque similar para establecer un cronograma detallado que contemple desde la fase de investigación y selección de sensores hasta la implementación y validación de los datos obtenidos. La planificación de hitos garantizará que cada etapa del perfil del proyecto se desarrolle en secuencia lógica, evitando retrasos que puedan afectar el desarrollo integral del sistema

La gestión de riesgos fue otro de los aspectos fundamentales en la tesis, donde se identificaron amenazas potenciales que podían afectar la implementación de estrategias hídras, permitiendo el desarrollo de planes de mitigación efectivos. En nuestro estudio, este enfoque será esencial para anticipar y gestionar riesgos asociados al monitoreo de vibración, tales como fallos en la adquisición de datos, interferencias en la transmisión de información o dificultades en la integración con sistemas preexistentes en la industria. La elaboración de una matriz de riesgos permitirá categorizar cada amenaza según su impacto y probabilidad, estableciendo estrategias preventivas para asegurar la operatividad del sistema sin interrupciones significativas.

Finalmente, la gestión de recursos fue clave para garantizar la disponibilidad y correcta asignación de los elementos necesarios para el desarrollo del proyecto. En nuestro caso, esta gestión permitirá definir los sensores de vibración adecuados, los equipos de procesamiento de datos, la infraestructura de comunicación y el personal especializado necesario para llevar a cabo la implementación del sistema. La correcta planificación y distribución de estos recursos asegurará que cada componente del proyecto cuente con los insumos necesarios en el momento adecuado, evitando retrasos o problemas logísticos durante su desarrollo

En conclusión, la experiencia de Torres y Ulloa (2024) demuestra que la aplicación del PMBOK® en perfiles de proyecto permite una planificación estructurada, asegurando que cada fase del estudio se ejecute de manera ordenada y alineada con los objetivos establecidos. En nuestro caso, esta metodología proporcionará una base sólida para la gestión del alcance, cronograma, riesgos y recursos, garantizando que el perfil del proyecto de monitoreo continuo de vibración se desarrolle con rigor metodológico y alineado con los estándares de gestión de proyectos existentes.

2.3.3 Instrumentos utilizados

En las investigaciones de sustento, se han empleado distintos instrumentos de recolección de datos acordes con la naturaleza de cada estudio. En la tesis de Torres y Ulloa (2024), que desarrolla un perfil para estrategias de gestión del recurso hídrico, se han utilizado entrevistas con expertos en el área ambiental, así como encuestas a comunidades y actores clave en la gestión del agua, con el fin de recopilar información sobre las condiciones del recurso hídrico y las necesidades identificadas en la región. Estos instrumentos permitieron obtener una visión integral del problema y sustentar la viabilidad de las estrategias propuestas.

Por otro lado, en la tesis de Mendoza (2024), que implementa la metodología en cascada para el desarrollo de un sistema IOT de seguridad, el enfoque estuvo orientado hacia la validación técnica del sistema. Se han utilizado pruebas experimentales y análisis de desempeño de los sensores y dispositivos empleados, asegurando que el sistema cumpliera con los requerimientos establecidos. En este tipo de estudios, las pruebas de funcionamiento y la recopilación de datos a

través de herramientas de monitoreo son fundamentales para validar la efectividad del sistema implementado.

Estos instrumentos de recolección de datos, aunque diferentes en su aplicación, contribuyen a la estructuración metodológica de cada investigación, asegurando la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos.

2.4 Marco Legal

En el presente estudio, no se considera un marco legal aplicable, ya que la investigación se centra en el desarrollo de un perfil de proyecto para la implementación de un sistema de monitoreo continuo de vibración en motores eléctricos. Dado que el estudio no involucra regulaciones específicas, normativas ambientales o disposiciones legales que afecten directamente su desarrollo, no es necesario un análisis jurídico dentro del alcance de esta investigación.

CAPITULO III METODOLOGÍA

3.1 Congruencia Metodológica

La metodología utilizada en esta investigación ha permitido estructurar de forma ordenada, rigurosa y coherente el desarrollo del perfil del proyecto, asegurando que cada etapa esté alineada con los objetivos propuestos y las necesidades reales del entorno industrial. Esta estrategia metodológica no solo guía el proceso de formulación del proyecto, sino que también proporciona un marco lógico que facilita la toma de decisiones fundamentadas en cada una de sus fases.

Desde la identificación precisa del problema hasta la propuesta final, el enfoque metodológico adoptado posibilita una secuencia clara y progresiva de pasos: se parte del diagnóstico inicial basado en evidencia, seguido por una formulación objetiva de los objetivos específicos, para luego avanzar al análisis y procesamiento de la información recolectada, la planificación de actividades y recursos, y finalmente la construcción del perfil de proyecto. Esta estructuración garantiza que el desarrollo del proyecto no sea una acumulación de ideas aisladas, sino un cuerpo coherente de decisiones interconectadas y orientadas a resolver una problemática concreta.

Asimismo, al incorporar herramientas propias de la gestión de proyectos y criterios técnicos aplicables a entornos industriales, se fortalece la aplicabilidad del proyecto y su valor práctico. El método seguido asegura no solo resultados relevantes, sino también sostenibles en el tiempo, con un enfoque preventivo que responde a los retos actuales de mantenimiento predictivo y eficiencia operativa. En síntesis, esta metodología contribuye significativamente a elevar la calidad técnica del perfil de proyecto, facilitando su implementación en un contexto real y alineándolo con las mejores prácticas en gestión de proyectos tecnológicos e industriales.

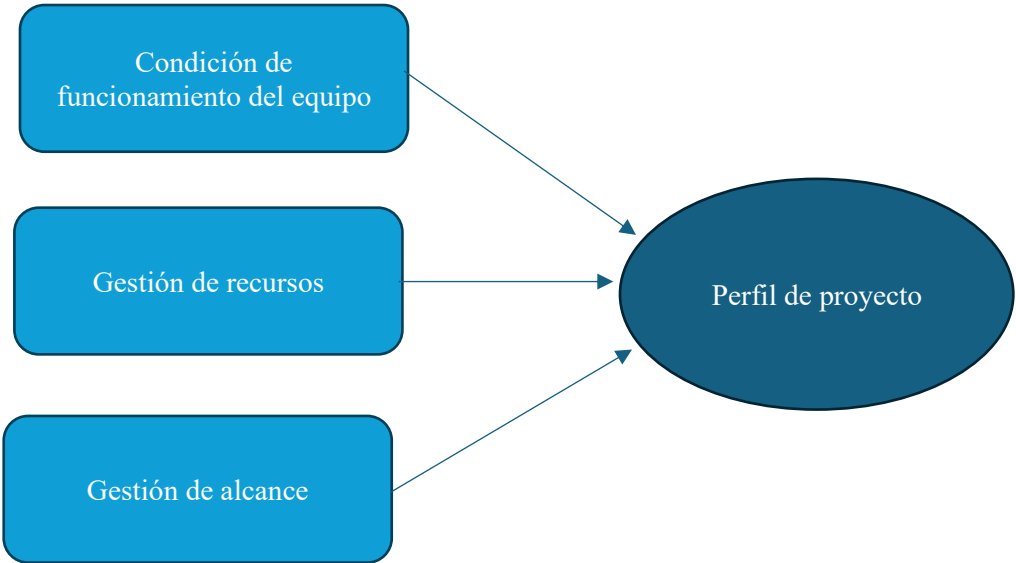
3.1.1 Matriz Metodológica:

Perfil de proyecto para un desarrollo de sistema de monitoreo continuo de vibraciones y predicción de fallas en motores eléctricos					
Problema	Preguntas de Investigación	Objetivo General	Objetivos Específicos	Variables independientes	Variables dependientes
¿Qué perfil de proyecto desarrollar para la implementación de un sistema de monitoreo continuo de vibración y predicción de fallas en motores eléctricos, utilizando sensores de vibración para la adquisición y análisis de datos?	¿Cuáles son las causas más comunes de los paros no programados en los motores eléctricos dentro de la industria?	Desarrollar un perfil de proyecto para un monitoreo continuo de vibración y predicción de fallas en motores eléctricos con el apoyo de sensores de vibraciones para la adquisición y análisis de datos.	Establecer las causas de paros no programados más comunes en los motores eléctricos en la industria.	Condición de funcionamiento del equipo.	Perfil de Proyecto
	¿Qué tecnologías o equipos para el monitoreo continuo de vibración existen actualmente disponibles en el mercado?		Investigar las tecnologías disponibles para el monitoreo continuo de los parámetros de vibración en los motores eléctricos en el mercado industrial actual.	Gestión de recursos.	
	¿Cuál es el alcance de proyecto para desarrollar un sistema de monitoreo continuo de vibración que alerte automáticamente sobre fallas mecánicas en motores eléctricos, utilizando las herramientas y metodologías del PMBOK®?		Establecer la gestión de alcance de proyecto para desarrollar un sistema de monitoreo continuo de vibración que sea capaz de alertar automáticamente antes con anticipación una falla mecánica en los motores eléctricos, con las herramientas del PMBOK®.	Gestión de alcance.	

Tabla 1. Matriz metodológica:

Fuente: (Elaboración propia)

3.1.2 Esquema de variables de estudio:



Fuente: (Elaboración propia)

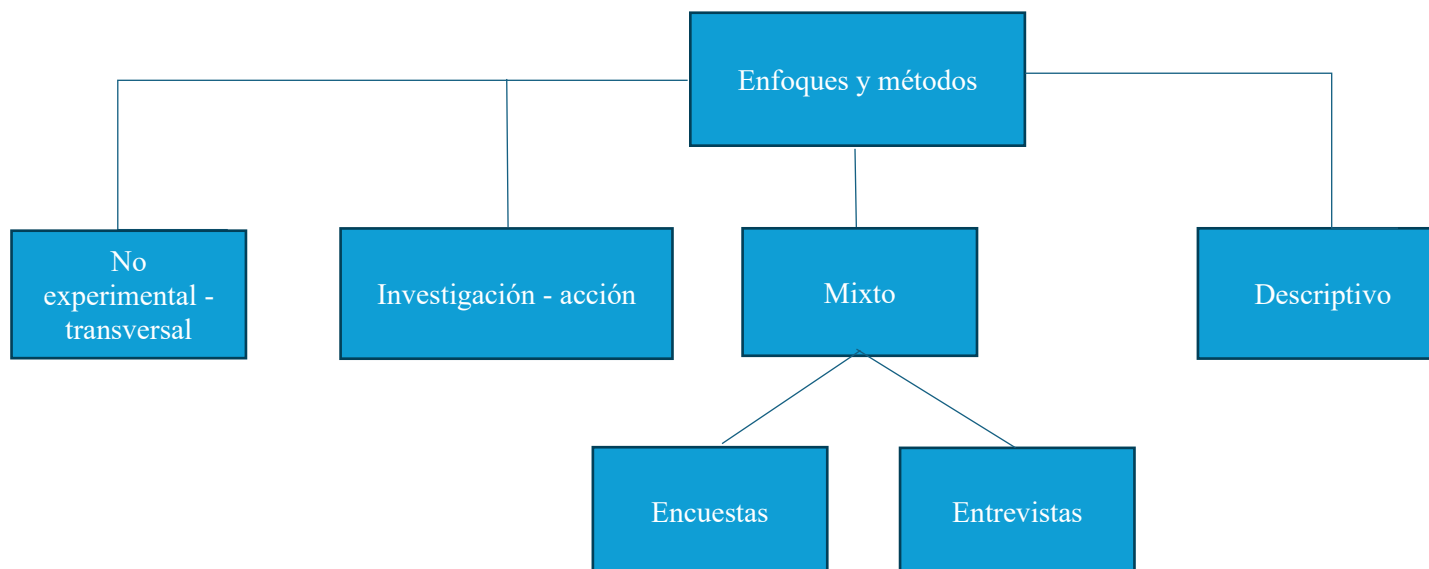
3.1.3 Operacionalización de las variables

Variable Independiente	Definición		Dimensiones	Ítems
	Conceptual	Operacional		
Condición de funcionamiento del motor	Se refiere al estado en el que opera un motor eléctrico, determinado por factores como vibraciones, temperatura, corriente y fallas mecánicas o eléctricas. Es un indicador clave en el mantenimiento predictivo para evitar paros no programados y mejorar la eficiencia operativa.	Se medirá mediante la recolección y análisis de datos sobre la frecuencia de fallas y el impacto del mantenimiento predictivo en la disponibilidad del motor.	Frecuencia en fallos comunes en motores eléctricos	Numero de fallas por causa raíz.
		Se utilizarán sensores de vibración y registros históricos para evaluar su desempeño y detectar anormal	Eficiencia en el mantenimiento predictivo	Impacto en el monitoreo de fallas
Gestión de recurso	Hace referencia a la administración eficiente de los elementos necesarios para la implementación del sistema de monitoreo continuo. Incluye la asignación de tecnología, personal y presupuesto para garantizar la viabilidad del proyecto.	Se evaluará a través de la disponibilidad de sensores de vibración, software de monitoreo y personal capacitado. También se analizará la inversión presupuestaria destinada al proyecto y la eficiencia en la distribución de los recursos	Disponibilidad de tecnologías y equipos	Cantidad y tipo de sensores
			Presupuesto asignado para estas tecnologías	Costos
Gestión de alcance	Es el proceso de definir y controlar el trabajo necesario para cumplir con los objetivos del proyecto, asegurando que el sistema de monitoreo cumpla con las especificaciones técnicas y funcionales establecidas.	Se medirá mediante la documentación del alcance del proyecto, la planificación de actividades, el control de cambios y el seguimiento del cumplimiento de los objetivos establecidos. Se analizarán informes de avance, cronogramas y ajustes en la planificación	Requisitos del proyecto	Objetivos del proyecto
			Planificación de actividades	Cronograma y fases del proyecto
			Control de cambios	Documentación y gestión de cambios

Tabla 2. Operacionalización de variable

Fuente: (Elaboración propia).

3.2 Enfoque y métodos



Fuente: (Elaboración propia)

Este perfil de proyecto adopta un enfoque mixto, combinando encuestas y entrevistas como instrumentos de medición. Se emplea un diseño no experimental y transversal, ya que las mediciones se realizarán en un período de tiempo definido. Además, el estudio es descriptivo, pues se busca definir los elementos claves para establecer el perfil del proyecto.

3.3 Diseño de la investigación

3.3.1 Población:

La población para esta investigación la definiremos como todos los usuarios de motores eléctricos que pertenezcan a un equipo de mantenimiento dentro de las plantas de producción dentro del casco urbano de San Pedro Sula. Esta población se sacará como una media de personas en los equipos de mantenimiento, considerando todas las plantas de producción dentro de San Pedro Sula. En esta Zona del país se contabilizan aproximadamente 61 plantas productivas, de las cuales los equipos de mantenimiento en promedio cuentan con 3 especialistas (supervisores de mantenimiento) y 12 técnicos de mantenimiento, dejándonos una población de:

Población: $61*(3+12) = 900$ Personas en los equipos de mantenimiento

3.3.2 Muestra:

La muestra de esta población se calculará utilizando la fórmula de cálculo de muestra para variables categóricas, quedando de la siguiente forma:

$$n = \frac{PQZ^2N}{PQZ^2 + e^2N}$$

Donde:

n = Tamaño de muestra buscado.

N = Tamaño de población o universo.

Z = Parámetro estadístico de confianza que depende del nivel de confianza.

e = Error máximo aceptado.

P = Probabilidad de que ocurra el evento estudiado

Q = Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado.

Para esta investigación se tomará un 80% de probabilidad de éxito, que hará alusión a que las personas pertenecen a un equipo de mantenimiento y sean usuarios directos o estén involucrados en el mantenimiento de los motores y un 20% de probabilidad de que no. Utilizaremos un valor Z de 1.96 correspondiente a un nivel de confianza NC del 95% y un error máximo aceptado permitido de un 5%, resultando en la siguiente muestra:

$$n = \frac{(0.8)(1 - 0.8)(1.96)^2(900)}{(0.8)(1 - 0.8)(1.96)^2 + (0.05)^2(900)}$$

$$n = 193 \text{ personas}$$

3.3.3 Técnicas de muestreo:

En esta investigación se hará uso de una estrategia de recolección de datos por medio de un muestreo aleatorio simple. Con la población definida, se busca la muestra a la cual se le aplicara el instrumento de recolección de datos. El muestreo aleatorio simple no discrimina ni se orienta por sujetos específicos de la población. Para este proyecto esta técnica se ajusta correctamente a la muestra, ya que todos los que forman parte de la población tienen el conocimiento para brindar la

información necesaria para la investigación.

Para esta investigación la población son las personas que forman parte de un equipo de mantenimiento en las plantas productivas, en estos equipos podemos encontrar tanto especialistas como técnicos mecánicos y eléctricos. Los motores eléctricos al estar conformados por una parte mecánica y otra eléctrica, nos brinda esa facilidad para recopilar información sobre sus fallas, ya que estas se suscitan tanto en el campo de la mecánica como en el de la electricidad. Es por eso por lo que podemos utilizar el muestreo aleatorio simple como técnica de recolección de datos y obtener la información necesaria para analizar.

3.4 Técnicas, instrumentos y procedimientos aplicados

Para recopilar la información de la muestra extraída de nuestra población, se usarán diversas técnicas e instrumentos, los cuales son:

3.4.1 Técnicas:

Encuestas: Las encuestas serán el principal instrumento de recolección de datos de esta investigación. Se diseñara una encuesta compuesta de preguntas específicas enfocadas a temas como los tipos de fallas más recurrentes en los motores eléctricos, las horas de paro de producción que estas causan, como se está dando el mantenimiento a los motores actualmente, como se están monitoreando las diferentes variables, con que tecnología para mantenimiento predictivo se cuentan en las plantas, entre otras muchas interrogantes con las cuales se busca obtener información certera de las personas que trabajan en las áreas de mantenimiento de las plantas.

Revisión de literatura: Los sistemas de monitoreo de vibraciones, se basan en el análisis e interpretación de variables específicas, características de estas. Es por esto por lo que se debe realizar una investigación de las literaturas relacionadas a estos temas, tanto en la parte mecánica como en la parte de control, para saber cómo se deben interpretar las variables que los sensores de vibración proporcionaran al sistema.

3.4.2 Instrumentos:

Cuestionarios: Las encuestas se llevarán a cabo por medio de cuestionarios de Google forms, donde las personas de los equipos de mantenimiento podrán responder las interrogantes diseñadas para recopilar la información necesaria para la investigación. Este instrumento nos permite exportar las respuestas a una base de datos en Excel donde podemos manipular de una forma más fácil la información recolectada y encontrar tendencias y patrones de los cuales podremos extraer conclusiones precisas que formaran las bases de la investigación.

Notas de campo: Con los usuarios de los motores se harán recorridos en los diferentes procesos para evaluar las consideraciones que se deben de tener en cuenta para plantear el sistema de predicción de fallas, si los entornos son apropiados para los equipos y bajo qué condiciones externas al funcionamiento del motor eléctrico debe funcionar dicho sistema. Todas estas observaciones se documentarán por medio de notas de campo.

3.4.3 Procedimientos:

Para la aplicación de los instrumentos se seguirán los siguientes pasos:

1. Identificación de las plantas a visitar: en base al listado de plantas contabilizadas para la zona de San Pedro Sula, se diseñará una programación de visitas y reuniones con los supervisores y técnicos de mantenimiento de diversas plantas.
2. Agendar las visitas: se contactarán a las personas correspondientes de cada equipo de mantenimiento vía telefónica para agendar visitas a planta donde se llevarán a cabo los recorridos por los procesos productivos y las reuniones con los equipos de mantenimiento, donde se recolectará la información necesaria para la investigación.
3. Recorridos en planta: una vez pactadas las reuniones se asistirá a las plantas con los equipos de mantenimiento, para hacer recorridos por sus procesos productivos, de esta forma se podrán tomar las notas de campo de las condiciones donde operan estos equipos y los sistemas de monitoreo y control existentes para el funcionamiento de estos.

4. Reuniones con los especialistas: En estas reuniones se tocarán temas como experiencias de los especialistas de mantenimiento de cada planta en cuanto a las fallas comunes de los motores, se buscará establecer un alcance claro para el sistema y las funcionalidades mínimas con las que este debería de cumplir.

5. Aplicación de encuesta: al final de la reunión se le aplicará la encuesta a los técnicos y supervisores de mantenimiento para poder recopilar la información que posteriormente deberá ser tabulada y analizada para poder comenzar con el desarrollo del sistema en base a la información recolectada.

6. Tabulación y análisis de respuestas: una vez encuestadas las personas de nuestra muestra, se tabularán las respuestas y se analizarán los resultados, estableciendo el alcance del sistema y cuáles son las fallas que deberá alertar a los usuarios para que estos tomen acciones predictivas de mantenimiento.

3.5 Fuentes de información

Las fuentes de información de esta investigación son una combinación entre bases de datos de dos empresas “Central de mangueras” y “Automatización y control industrial”, documentación brindada por los fabricantes de los sensores y los equipos que se utilizarán para el desarrollo del sistema y literatura sobre análisis de información que servirá como respaldo teórico de las variables a medir.

3.5.1 Fuentes primarias:

Bases de datos: Central de mangueras y Acisa son empresas dedicadas a la distribución de equipos industriales. Estas empresas tienen en sus bases de datos la información de contacto y el mapeo de las plantas productivas de todo el país. Para esta investigación de estas bases de datos se tomó el listado de plantas productivas que operan en el casco urbano de San Pedro Sula, así como

se tomarán los contactos de las personas que laboran en los equipos de mantenimiento de las distintas plantas. De esta forma se harán los acercamientos precisos a la población que buscamos estudiar.

Documentación del fabricante: para poder establecer las preguntas con las cuales se dimensionará el sistema, se tomarán como referencia las documentaciones de los fabricantes de los equipos que lo conformarán. Basándonos en esta documentación se podrán establecer los parámetros de operación del sistema y definir la información que se deberá consultar a los especialistas y a los técnicos de mantenimiento para el dimensionamiento de la tecnología que se utilizará en el sistema de monitoreo.

Encuestas: Las encuestas aplicadas a las personas de los distintos equipos de mantenimiento será una de las fuentes de información principales utilizadas en el análisis de la información para la investigación. La información adicional que resulte de las reuniones con estas mismas personas funcionara como eje central para establecer las necesidades de los usuarios y sobre esto dimensionar el alcance del sistema de monitoreo de vibración.

3.5.2 Fuentes secundarias:

Literatura sobre análisis de vibración: otra de las fuentes de información fundamentales en esta investigación, son los libros de análisis de vibración. En estas literaturas se encuentran los conceptos teóricos que respaldaran el sistema de monitoreo de vibración y podrán dar fe de que las variables que los sensores monitorearan son las que se monitorean actualmente en sistemas homólogos, dando validez al funcionamiento correcto del sistema.

Informes de investigación: Se utilizarán 2 tesis como referencias metodológicas para poder tener una guía de cómo aplicar la metodología Waterfall y el enfoque de gestión de proyectos del PMBOK®, para el desarrollo de la investigación y el sistema de monitoreo de vibración. Estas tesis están orientadas a temas industriales como recolección de información por medio de IOT y monitoreo de variables, temas directamente relacionados a la investigación y el sistema que se busca desarrollar.

CAPITULO IV RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Informe de recolección de datos

Esta investigación se desarrolla en un entorno industrial, donde la muestra de nuestra población involucra a los especialistas y técnicos que laboran dentro los equipos de mantenimiento de las plantas productivas en San Pedro Sula. El acercamiento con estas personas se hizo por medio de visitas técnicas, estas visitas se tratan sobre problemáticas ingenieriles dentro de las plantas productivas, como equipos o sistemas para los cuales se busquen soluciones técnicas dentro de las diferentes tecnologías que se encuentran en el mercado.

En estas visitas se planteó como objetivo poder abordar la posible problemática que representaba para las plantas productivas los paros no programados por fallas en los motores eléctricos. Se hablaba con las personas encargadas del mantenimiento de estos equipos sobre cómo se maneja actualmente el monitoreo de los motores eléctricos y bajo qué criterios se les da mantenimiento.

Luego de esta platica introductoria del tema, se hicieron recorridos por las líneas de producción para tener una idea más clara de la capacidad instalada de cada planta en cuanto a motores eléctricos y poder establecer una base sobre la cual realizar las preguntas de orientadas al sistema de monitoreo continuo de vibración.

La encuesta fue aplicada al final de la visita, tanto a los supervisores de mantenimiento, especialistas y técnicos, las preguntas de la encuesta fueron diseñadas para poder evaluar las 3 variables de investigación previamente definidas (Condiciones de funcionamiento de los motores, gestión de recursos y gestión de alcance).

En total se lograron recolectar 202 encuestas lo que supera al número de la muestra planteada de 193 encuestas, estos datos serán tabulados y analizados en este capítulo.

4.2 Resultados y análisis de las técnicas aplicadas:

1) ¿Con qué frecuencia ocurren paros no programados por causa de los motores eléctricos en su planta?

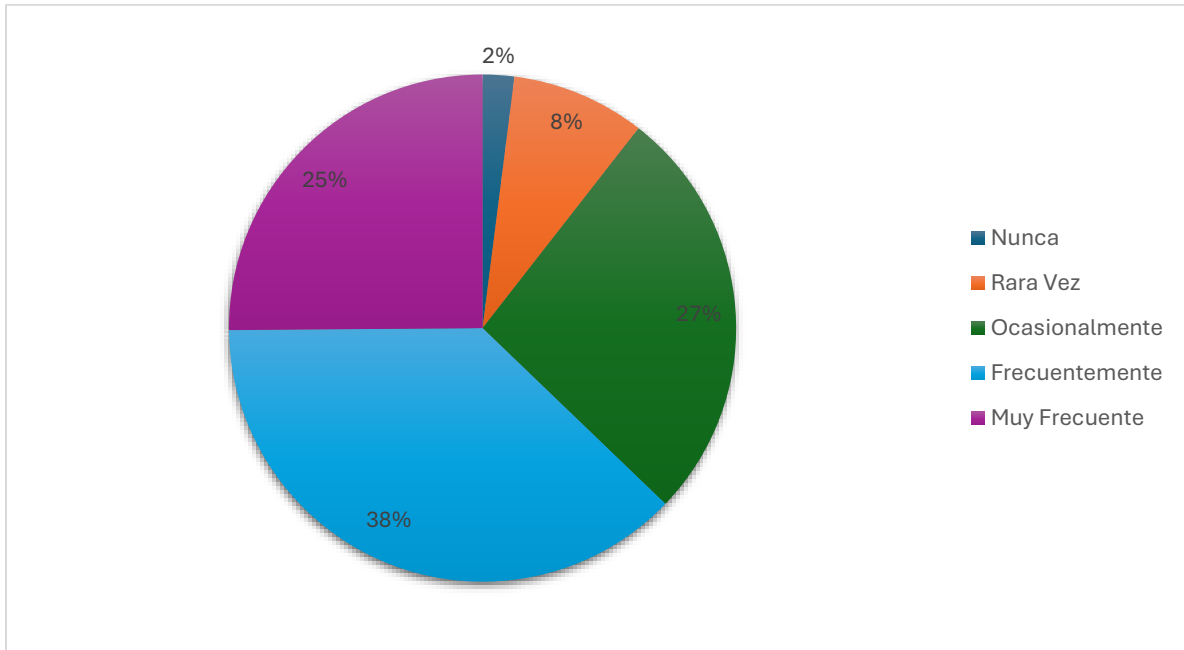


Figura 7. Frecuencia de ocurrencia de paros no programados.

Fuente: (Elaboración propia).

La primera pregunta de la encuesta nos permite dimensionar el alcance y la frecuencia de la problemática que estamos abordando en nuestro perfil de proyecto. El análisis de las respuestas indica que, en las plantas productivas de San Pedro Sula, los paros no programados causados por fallas en motores eléctricos son frecuentes y representan una preocupación constante durante la jornada productiva. Esto refuerza la justificación para desarrollar un sistema de monitoreo continuo de vibraciones. Según los resultados, el 62.8% de los encuestados afirma que enfrentan estos paros de manera frecuente; un 26.7% indica que se trata de un evento ocasional que logran mitigar mediante las rutinas de mantenimiento establecidas por sus empresas; y un 10.4% señala que no es una situación común, lo cual es comprensible en aquellos casos donde la cantidad de motores es manejable, permitiendo así la implementación de un mantenimiento preventivo y riguroso.

2) Seleccione las principales causas que han provocado paros no programados en motores eléctricos (puede seleccionar más de una):

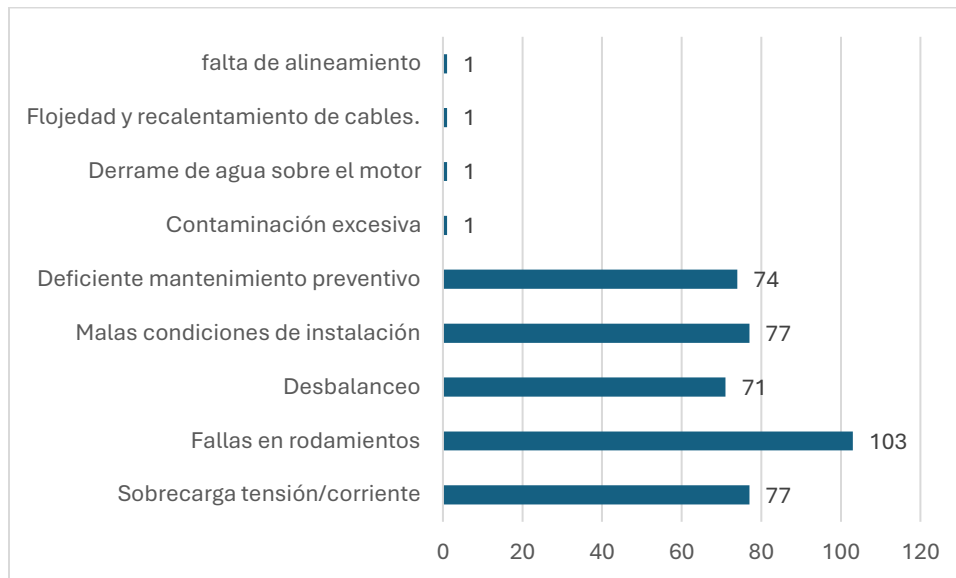


Figura 8. Fallas más comunes en motores eléctricos.

Fuente: (Elaboración propia).

La segunda pregunta de la encuesta busca identificar cuáles son las fallas más comunes en los motores eléctricos. Esta información es clave para determinar qué tipos de fallas debería ser capaz de predecir el sistema de monitoreo de vibraciones, con el objetivo de alertar al personal de mantenimiento antes de que ocurran. El 51% de los encuestados señaló que la falla más recurrente es la relacionada con los rodamientos. Un 38.1% indicó que la segunda falla más frecuente es por sobrecarga de tensión o corriente, generalmente asociada a un mantenimiento deficiente en los conductores eléctricos o a la saturación de la carga mecánica. Otro 38.1% atribuye las fallas a malas condiciones de instalación, tanto en el aspecto mecánico como en los componentes eléctricos. Además, el 36.6% considera que un mantenimiento preventivo deficiente, ya sea por la ausencia de rutinas de inspección o por una ejecución inadecuada, es un factor determinante. El 35.1% identifica el desbalanceo como la tercera causa más común de fallas. Por otro lado, apenas el 0.5% de los encuestados mencionó como causas recurrentes problemas como desalineación, contaminación excesiva, flojedad, sobrecalentamiento y derrames de agua sobre los motores, lo que sugiere que estas fallas ocurren con menor frecuencia.

¿Con qué nivel de efectividad considera que se detectan a tiempo las fallas en los motores eléctricos de su planta?

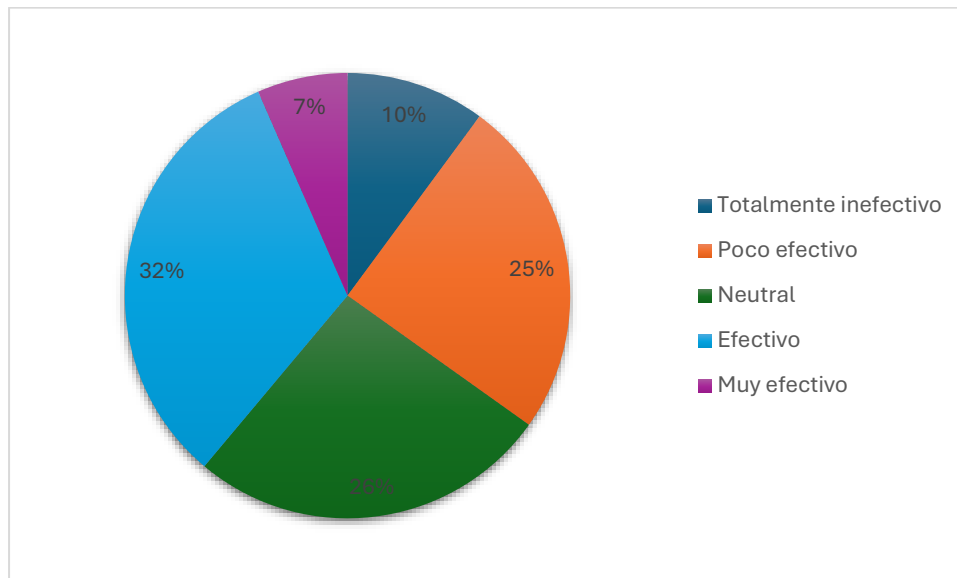


Figura 9. Efectividad en la detección de fallas.

Fuente: (Elaboración propia).

El propósito de esta pregunta es evaluar el impacto que tienen las fallas en motores eléctricos sobre la eficiencia operativa de una planta productiva, específicamente en relación con el tiempo de respuesta ante dichas fallas. Un 31.8% de los encuestados considera que el tiempo de respuesta es efectivo, lo cual se explica por el uso de métodos convencionales de mantenimiento, aunque estos no sean continuos, sino rutinarios y aplicados de forma puntual ya sea diaria, semanal o incluso mensual. Sin embargo, un 61.8% opina que el tiempo de respuesta es mejorable, destacando que cada segundo de paro no programado representa una pérdida económica, por lo que debe ser atendido con inmediatez. Este resultado es relevante, ya que sugiere que la percepción general sobre la efectividad del mantenimiento es neutral, con una tendencia hacia la ineficacia, lo que indica que, en la mayoría de los casos, las fallas en los motores no se detectan a tiempo.

3. ¿Qué tecnologías de monitoreo continuo de vibración conoce?

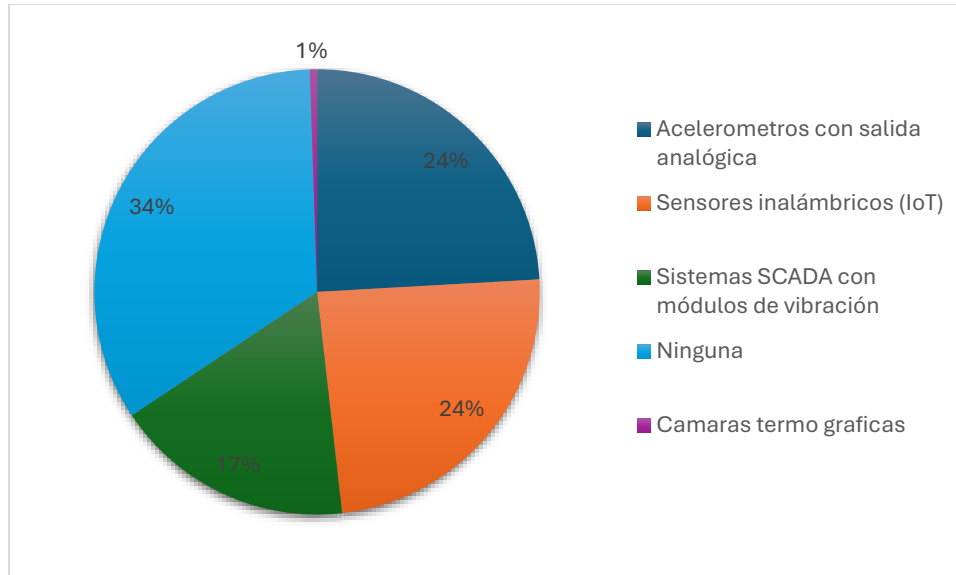


Figura 10. Tecnologías para el monitoreo de vibración conocidas.

Fuente: (Elaboración propia).

La pregunta número 4, busca identificar el nivel de conocimiento de los usuarios de motores eléctricos, sobre las diferentes tecnologías o sistemas que se encuentran en el mercado para el monitoreo continuo de vibraciones. El 33.8% de las personas encuestadas indican no conocer ninguna de las tecnologías que se pueden implementar en estos tipos de sistemas, con este número se establece que son sistemas que aún no tienen una gran presencia en las plantas productivas a pesar de la notable necesidad. El 23.7% de los encuestados dicen conocer los sensores inalámbricos y el mismo porcentaje dice conocer los acelerómetros con salida analógica, sistemas de monitoreo que son instalados para monitorear parámetros en específico como feedback de posibles fallas. El 18.2% de las personas encuestadas dijo conocer los módulos de vibración de los sistemas SCADA, sistemas que han ido quedando desfasados por su complejidad en la integración. Un pequeño porcentaje dijo conocer las cámaras termográficas, estos sistemas son menos conocidos en el mercado industrial debido a sus elevados costos.

4. ¿Cuál sería un rango de presupuesto considerable para asignar a un proyecto de monitoreo de vibraciones para motores eléctricos?

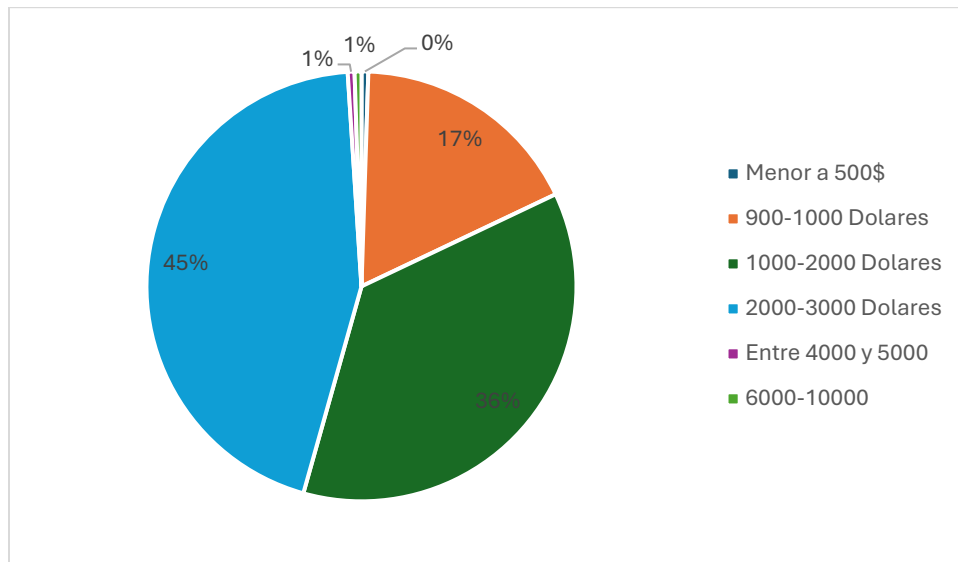


Figura 11. Rango de presupuesto considerado para un proyecto de monitoreo de vibraciones.

Fuente: (Elaboración propia).

Al ser los usuarios conocedores del tema hay un buen porcentaje (43.7%) que seleccionan el rango de presupuesto más alto posible pues comprenden la magnitud del problema y lo valioso que una solución como lo es un monitoreo continuo de vibraciones puede dar a un equipo de mantenimiento predictivo. Dentro de las respuestas aisladas también colocaron valores más arriba de lo establecido por lo que esto refuerza más este pensamiento sobre una asignación de presupuesto adecuado para la gestión de recursos. Por último, hay que mencionar que un 35.7% de los encuestados también seleccionaron la 2da opción de entre 1,000 a 2,000 dólares como presupuesto que es lo que puede realmente costar un sistema como estos utilizando equipos de calidad y también un buen servicio. La tercera opción con un 17.1% se orienta más a la gente que puede buscar una opción económica con menos prestaciones o simplemente el presupuesto que se le puede asignar en su empresa es más limitado o restrictivo.

5. ¿Cuál considera el principal obstáculo para implementar un sistema de monitoreo continuo de vibración?

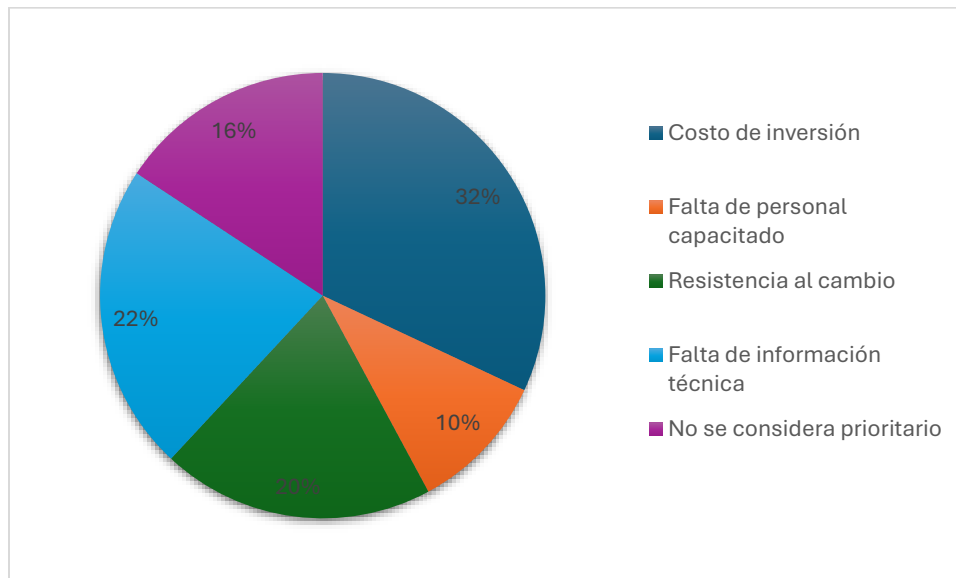


Figura 12. Obstáculos para la implementación de un sistema de monitoreo de vibraciones.

Fuente: (Elaboración propia).

Los sistemas de monitoreo continuo enfocados a mantenimiento predictivo, en general tienen muchos obstáculos para poder ser implementados, esto debido a factores internos de las organizaciones, esta pregunta busca evaluar cual de estos obstáculos comunes tiene mayor peso para que no sea una prioridad este tipo de proyectos. El 32% indican que este tipo de sistemas no se implementan por sus costos de inversión, al ser un sistema para predecir fallas, es complicado que las organizaciones aprueben presupuestos si no ven el valor que estos sistemas les podría generar. El 22.5% indica que este tipo de proyectos no se implementan por falta de información técnica, al ser sistemas poco implementados, las empresas que se especializan en el desarrollo son pocas, por lo que el acceso a información técnica a veces es limitado. El 19.5% indican que hay una resistencia al cambio en la forma de hacer los mantenimientos por parte de los equipos, estas tecnologías son relativamente nuevas, lo que genera que los equipos de mantenimiento con personal con mayor tiempo generen una resistencia a implementar nuevas tecnologías. El 15.5% indica que la implementación de estos sistemas no se considera prioritarios. Tan solo un 10.5% concluyo que es por falta de personal capacitado.

6. ¿Qué actores considera indispensable en la formulación del alcance de un proyecto como este?

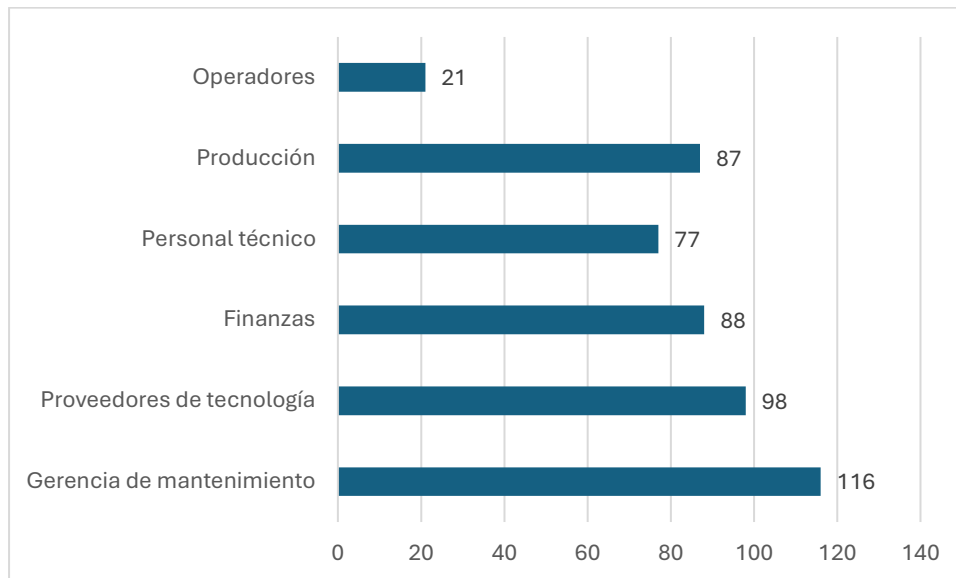


Figura 13. Actores indispensables en un proyecto de monitoreo de vibraciones.

Fuente: (Elaboración propia).

Esta pregunta está orientada a conocer a los interesados y el alcance que ellos están dispuestos a obtener con esta posible solución ante la problemática. Los resultados fueron variados pero el destacado con mayor porcentaje es el gerente de mantenimiento (116 selecciones) pues al ser una solución orientada a este departamento claramente es uno de los implicados principales. En segundo con un 48.5% de las selecciones (98 selecciones) tenemos a los proveedores pues al final evaluar las opciones de recursos con estas empresas terceras es fundamental para cumplir con el alcance establecido. Ya con menores porcentajes, pero también una cantidad de veces selecciones a considerar los usuarios consideran notablemente a departamentos como el de finanzas y producción a tener poder dentro del proyecto pues al final estos son influidos tanto por la productividad como posibles financiamientos y retornos de inversión que este tipo de perfil de proyecto puede dar a la empresa. Lo que sí es de hacer hincapié es que los operadores tienen pocas selecciones y es que para tomar una decisión no repercutirían con tanta fuerza en una decisión, pero siempre hay encuestados que marcan que son personas que hay que tenerlas en el radar.

7. ¿Qué beneficios espera lograr si se implementa correctamente un sistema de este tipo?

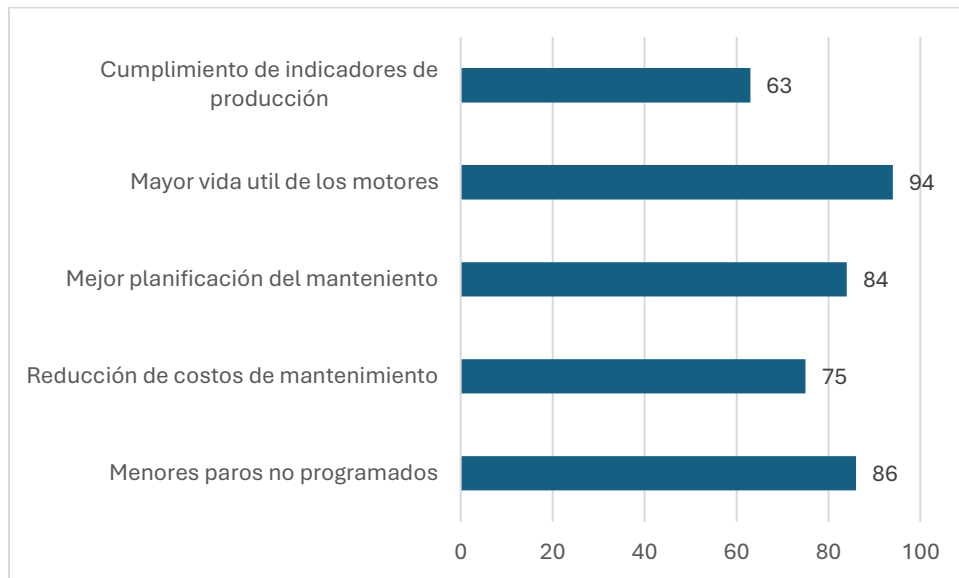


Figura 14. Beneficios esperados de un sistema de monitoreo de vibraciones.

Fuente: (Elaboración propia).

Para el éxito de este perfil de proyecto es esencial conocer los resultados esperados del mismo. El análisis es claro y dentro de las respuestas más seleccionadas es obtener mayor vida útil del motor (46.5% con 94 selecciones). Al final los motores con cuidado correspondiente pueden tener una vida de 20 años y el costo de adquisición de un motor nuevo es considerable sumando también el costo a cuando el equipo no opera. Con la ayuda del predictivo que puede dar este sistema de monitoreo también es algo que les interesa a los usuarios generar un mejor plan de mantenimiento (41.6% con 84 selecciones) por lo que el hecho que ellos puedan gestionar sus calendarios es de alto valor. Esto también añadiendo el propósito del proyecto que es reducir estas horas por paro no programado (42.6% con 86 selecciones).

Cruce de variables

Cruce 1: Frecuencia de paros por fallas en motores (Pregunta 1) vs Obstáculos de implementación de un sistema de monitoreo continuo de vibraciones (Pregunta 6):

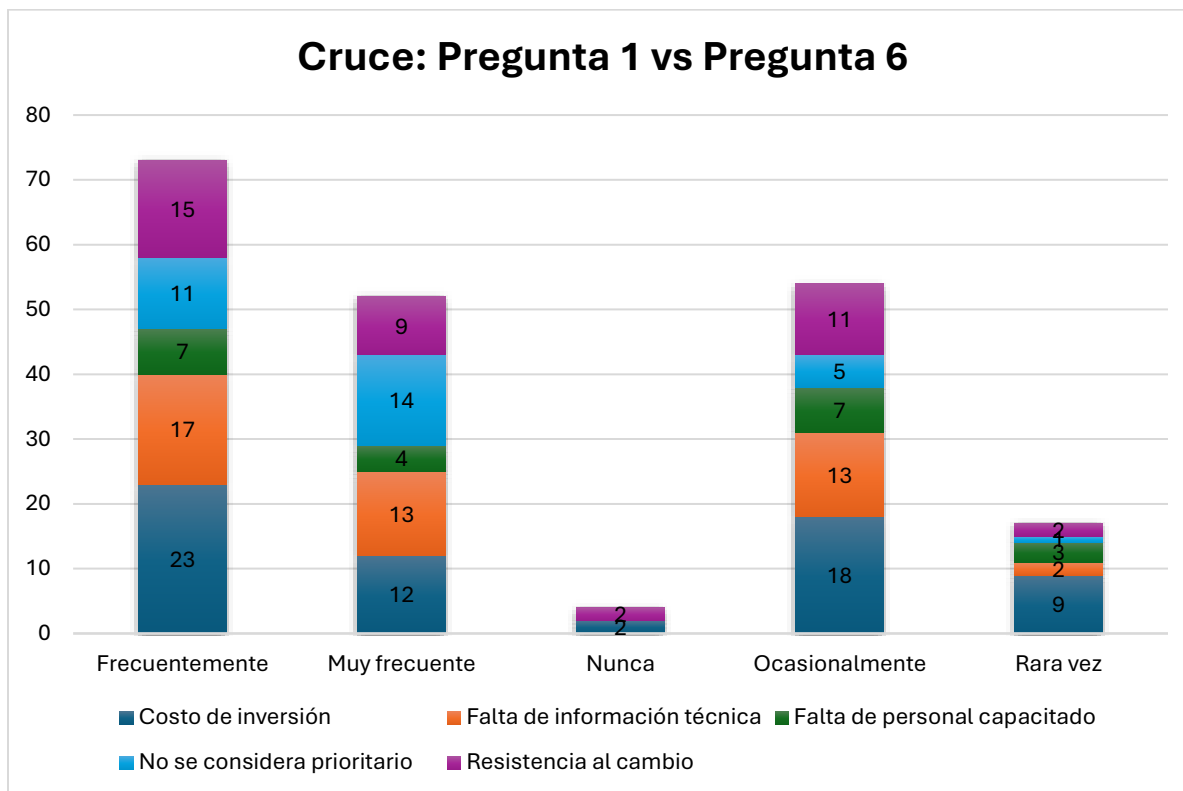


Figura 15. Cruce de frecuencia de paros por fallas vs Obstáculos de implementación.

Fuente: (Elaboración propia).

En la pregunta 1 se buscaba establecer con qué frecuencia se daban situaciones de paros no programados por causa de fallas en los motores, según los resultados de esta pregunta 181 de los encuestados indican que este tipo de paros se dan entre ocasionalmente y muy frecuente, lo que nos indica que la problemática es algo que impacta considerablemente en el día a día a las plantas productivas. Es de vital importancia para el proyecto entender si es una problemática existente, cuáles son las principales limitantes por las que no se implementan los sistemas de mantenimiento predictivo para motores eléctricos. En este cruce podemos analizar que uno de los principales obstáculos por los que no se instalan este tipo de sistemas, es por su costo de inversión incluso en los casos en los cuales los paros no programados por causa de fallas en los motores tienen una frecuencia alta. Este análisis nos lleva a plantearnos en que alternativas tenemos disponibles en cuanto a tecnología para poder plantear una solución viable tanto técnica como económicamente.

También se puede observar en este cruce, que la falta de información técnica es un obstáculo de peso, por lo que es importante poder socializar con los equipos de mantenimiento de las plantas, la información necesaria para que entiendan técnicamente estos sistemas y como implementarlos en sus procesos podría reducir las horas de paro no programado.

Cruce 2: Obstáculos de implementación de un sistema de monitoreo continuo de vibraciones (Pregunta 6) vs presupuesto considerable para un proyecto de esta índole (Pregunta 5):

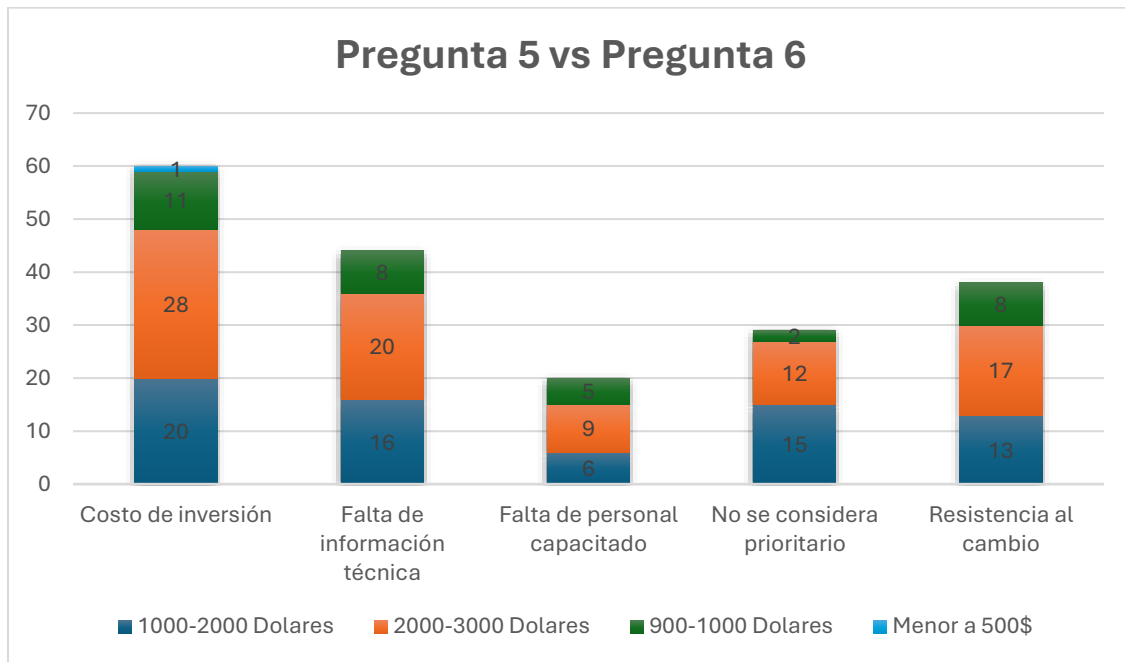


Figura 16. Cruce obstáculos de implementación vs presupuesto considerado.

Fuente: (Elaboración propia).

De este cruce de variables se puede analizar que a pesar de que el costo de inversión es el principal obstáculo por el cual no se integran proyectos de monitoreo continuo de vibración, las personas encuestadas indican que el presupuesto a considerar es alto, por lo que nos da la interpretación que en muchos casos se sabe que el sistema tiene un elevado costo en base al valor que aporta a los procesos de mantenimiento, sin embargo, las organizaciones no están dispuestas a pagarlo. Este análisis refuerza la idea del cruce anterior, que para el planteamiento de la solución se debe buscar una alternativa que sea congruente en cuanto a calidad y precio.

La encuesta aplicada ofrece conclusiones clave para orientar los objetivos del perfil de proyecto. En primer lugar, se confirma que las fallas en motores eléctricos son una situación común en la industria, lo que refuerza la necesidad de diseñar un sistema alineado con las expectativas y necesidades reales de los usuarios. Asimismo, identificar las principales causas de estas fallas como problemas en rodamientos, sobrecargas eléctricas y mala instalación permite definir las variables que el sistema de monitoreo debe considerar, tales como el estado de las balineras, la detección de picos anormales de corriente o voltaje, y la posible desalineación con componentes mecánicos acoplados al eje. Los resultados también revelan que, si bien muchos usuarios no están familiarizados con las tecnologías disponibles en el mercado, valoran positivamente este tipo de soluciones, al punto de seleccionar presupuestos altos entre las opciones propuestas, aunque el costo es percibido como un posible obstáculo para su implementación. Además, se identificaron actores clave para la gestión del proyecto, siendo la gerencia de mantenimiento y los proveedores de tecnología los principales interesados, seguidos por los departamentos de producción y finanzas, cuya aprobación será fundamental para el éxito del proyecto. Con base en estos hallazgos, se definen tres objetivos centrales: alargar la vida útil del motor, reducir los costos de mantenimiento y disminuir las horas de paro no programado.

CAPITULO V CONCLUSIONES

5.1 Conclusiones

1. Las principales causas de paros no programados en la industria de San Pedro Sula están relacionadas con fallas en motores eléctricos, siendo las más comunes los problemas en los rodamientos, los niveles elevados de sobretensión y sobrecorriente, así como una instalación incorrecta del equipo, según se muestra en la figura 8 (Fallas más comunes en motores eléctricos, Capítulo IV). Estas condiciones afectan directamente la confiabilidad de los motores, que son fundamentales para el funcionamiento de los procesos industriales. De hecho, los paros no programados representan una problemática recurrente, reportada por el 38 % de los encuestados (véase figura 7, Frecuencia de paros no programados, Capítulo IV). Esta situación evidencia una necesidad concreta y actual en la industria local por implementar soluciones efectivas de monitoreo de condición en motores eléctricos. Por lo tanto, se presenta una oportunidad clara para desarrollar un perfil de proyecto enfocado en esta problemática, que contemple como ejes principales el monitoreo del estado de los rodamientos, el control de variables eléctricas críticas como la sobretensión y la sobrecorriente, y la verificación de una instalación adecuada del equipo

2. Luego de identificar las condiciones más relevantes para el usuario en un sistema de monitoreo de motores eléctricos, es fundamental conocer las tecnologías disponibles en el mercado, así como el presupuesto que los interesados consideran adecuado para implementar un sistema de este tipo. Las tecnologías más comunes en el mercado actual incluyen sensores IoT y acelerómetros con salida analógica (véase figura 10, Tecnologías para el monitoreo de vibración conocidas, Capítulo IV). Estos dispositivos también pueden servir como guía para una selección y gestión de recursos óptima, brindando confianza al usuario al permitirle utilizar equipos con los que ya esté familiarizado o haya tenido experiencia previa. En cuanto al presupuesto, un aspecto positivo es que la industria reconoce el costo de un buen sistema de monitoreo, por lo que explicar o justificar la inversión suele ser más sencillo, dado que conocen el valor que este tipo de soluciones puede aportar. Un presupuesto estimado para un sistema de este tipo puede oscilar entre 2,000 y 3,000 dólares (véase figura 11, Rango de presupuesto considerado para un proyecto de monitoreo de vibraciones, Capítulo IV).

3. Se concluye que para establecer una adecuada gestión del alcance en un proyecto de

monitoreo continuo de vibración en motores eléctricos, es fundamental identificar desde la formulación del proyecto a los actores clave involucrados. Se destacan como principales al gerente de mantenimiento, los proveedores especializados y los departamentos de finanzas y producción, sin dejar de lado a los operadores, quienes también deben ser considerados por su vínculo directo con la operación diaria (véase figura 13, Actores indispensables en un proyecto de monitoreo de vibraciones, Capítulo IV). Entre los principales obstáculos identificados, el alto costo de inversión inicial representa la barrera más relevante, lo que exige incorporar en el alcance una justificación económica sólida que demuestre el valor del sistema. Asimismo, deben contemplarse la falta de información técnica y la resistencia al cambio, proponiendo estrategias de capacitación y acompañamiento (véase figura 12, Obstáculos para la implementación de un sistema de monitoreo de vibraciones, Capítulo IV). Finalmente, se establece que los beneficios esperados, como la reducción de paros no programados, la extensión de la vida útil de los motores y una mejor planificación del mantenimiento, deben guiar la definición de los entregables del proyecto (véase figura 14, Beneficios esperados de un sistema de monitoreo de vibraciones, Capítulo IV).

5.2 Recomendaciones

1. Un motor eléctrico es un equipo más complejo de lo que comúnmente se percibe, por lo que existen múltiples causas potenciales de falla que pueden provocar paros no programados, muchas de las cuales no son identificadas por los usuarios. Identificar y clasificar estas causas de manera objetiva, según su criticidad, representa un factor clave de interés para el usuario y puede derivar en ajustes importantes al perfil del proyecto.

2. Se recomienda optar por tecnologías consolidadas como sensores IoT y acelerómetros con salida analógica, evaluando previamente su relación costo-beneficio y contando con el respaldo de proveedores confiables que brinden soporte técnico. No obstante, dado el ritmo acelerado del avance tecnológico, es fundamental mantenerse actualizado sobre nuevas soluciones en el mercado y considerar también opciones de marcas de alta gama que ofrezcan mayor confiabilidad al usuario final.

3. En todo perfil de proyecto, una adecuada gestión del alcance es fundamental; sin

embargo, en este caso particular, donde intervienen múltiples actores, departamentos y perspectivas, su importancia se vuelve aún más crítica. Se recomienda documentar detalladamente cada acuerdo alcanzado durante las reuniones con los interesados y formalizarlo mediante la firma de un consentimiento conjunto. Esto permitirá establecer un enfoque claro y consensuado, reduciendo la probabilidad de cambios frecuentes y facilitando el cumplimiento exitoso de los objetivos del proyecto.

4. Para desarrollar de forma efectiva un sistema de monitoreo continuo de vibración en motores eléctricos, se recomienda definir un perfil de proyecto con un enfoque estratégico que considere tanto la viabilidad técnica como la integración con los objetivos organizacionales. Este tipo de solución debe alinearse con las metas de productividad, eficiencia operativa y mantenimiento predictivo de la empresa. Por ello, es clave no solo una correcta gestión del alcance, sino también una articulación clara entre todas las áreas involucradas desde la etapa de formulación. Se aconseja establecer mecanismos formales de planificación y consenso, como actas de reuniones, validación de requerimientos y acuerdos firmados, que aseguren que el proyecto tenga un rumbo definido y compartido. Esto facilitará la toma de decisiones, reducirá la improvisación durante la ejecución y contribuirá a que los beneficios esperados como mayor disponibilidad de los equipos y reducción de costos por fallas se alcancen dentro del tiempo y presupuesto definidos.

Capítulo VI APLICABILIDAD

A lo largo de esta investigación se ha establecido la problemática que representa la falta de mantenimiento predictivo en los motores eléctricos dentro de las plantas industriales y como esto impacta directamente a la productividad de la planta, ocasionando paros no programados por fallas en estos equipos. En este capítulo se planteará una propuesta de sistema de monitoreo continuo de vibraciones para el mantenimiento predictivo de los motores eléctricos.

ÍNDICE DE PROPUESTA DE PROYECTO

6.1 NOMBRE DE LA PROPUESTA	54
6.2 JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA.....	54
6.3 ALCANCE DE LA PROPUESTA	56
6.4 DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO A DETALLE DE LA PROPUESTA	62
6.4.1 ¿QUÉ SE HARÁ Y COMO SE HARÁ?	63
6.4.2 DESARROLLO DE TODOS LOS ELEMENTOS NECESARIOS.....	66
6.5 MEDIDAS DE CONTROL.....	72
6.5.1 REDUCCIÓN DE TIEMPO POR HORAS NO PROGRAMADAS.....	72
6.5.2 COMPARACIÓN DE COSTOS DE MANTENIMIENTO	72
6.5.3 REVISIÓN DE HISTORIALES DE FALLAS.....	72
6.5.4 NÚMERO DE ALARMAS REPORTADAS.....	72
6.6 CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN	73
6.7 PRESUPUESTO E IMPACTO DEL PRESUPUESTO	76
6.8 CONCORDANCIA DE LOS SEGMENTOS DE LA TESIS.....	78

6.1 Nombre de la propuesta

PERFIL DE PROYECTO PARA UN SISTEMA DE MONITOREO CONTINUO DE VIBRACIÓN Y PREDICCIÓN DE FALLAS EN MOTORES ELÉCTRICOS.

6.2 Justificación de la propuesta

Muchas de las maquinas industriales tienen como dispositivo de trabajo principal un motor eléctrico. Basándonos en la investigación realizada en este documento un gran porcentaje de los usuarios encuestados indican que los paros programados por fallas en motores eléctricos ocurren con una alta frecuencia en sus procesos productivos, esto nos demuestra que la problemática dentro de las plantas productivas en San Pedro Sula está ocasionando pérdidas de tiempo de producción por falta de sistemas que puedan anticipar estas fallas en los motores eléctricos.

Actualmente los procedimientos de mantenimiento dentro de los procesos industriales están diseñados en base al mantenimiento correctivo y preventivo, sin embargo, cada vez más se van diseñando e implementando sistemas o rutinas de inspección orientadas al mantenimiento predictivo. Como se estableció en las bases teóricas de esta investigación, uno de los métodos más utilizados actualmente para el mantenimiento predictivo de motores es el análisis vibro dinámico, rutina de inspección que se hace por medio de equipos especializados en recolectar datos de vibración mecánica de los motores que posteriormente son analizados e interpretados por especialistas en el área. Esta forma de revisión si bien es útil para poder determinar el estado de un motor no maximiza su vida útil, ya que son rutinas de inspección que se realizan cada cierto tiempo, sin oportunidad de detectar un cambio en las variables de estado de forma ágil.

Habiendo establecido la problemática y el contexto en el cual se trabajan este tipo de sistemas hoy en día, se planteara un sistema de monitoreo continuo de vibración para motores eléctricos que pueda detectar y anticipar las fallas más comunes según los encuestados, como desbalanceo, fallas en rodamientos y sobre tensión/corriente. Con este sistema se espera reducir los paros no programados por fallas en los motores eléctricos, maximizar la vida útil del equipo realizando mantenimientos cuando en realidad lo necesiten y aumentar la eficiencia productiva y operativa de las maquinas industriales retribuyendo en un impacto económico directo a las empresas que apliquen este sistema.

Beneficios principales:

- **Reducción significativa de paros no programados:** el monitoreo en tiempo real permitirá detectar anomalías mecánicas antes de que se conviertan en fallas catastróficas. Esto posibilita una intervención planificada, lo cual disminuye drásticamente las horas de inactividad no programada y aumenta la disponibilidad operativa de los equipos críticos.
- **Optimización del mantenimiento y reducción de costos operativos:** al migrar de un mantenimiento reactivo o preventivo a un enfoque predictivo, se logrará minimizar la frecuencia de intervenciones innecesarias y se extenderá la vida útil de los componentes mediante intervenciones oportunas y específicas.
De esta forma se lograrán reducir los costos asociados a la mano de obra, repuestos de emergencia y logística de paradas imprevistas.
- **Mejora en la planificación y toma de decisiones:** el sistema proporciona datos objetivos y continuos del estado de salud de los activos, lo cual facilita la planificación a mediano y largo plazo de mantenimientos mayores y permite tomar decisiones basadas en evidencia, no en supuestos ayudando a priorizar inversiones en mantenimiento según criticidad real.
- **Retorno de inversión demostrable y rápido:** el retorno de inversión es demostrable en el caso específico de cada planta donde se plantee este proyecto y se calcula tomando en cuenta los tiempos de paros no programados que se tienen actualmente debido a este tipo de fallas y los costos asociados como:
 - Pérdidas por unidades que se dejan de producir.
 - Costos del personal que no opera debido al paro de producción.

6.3 Alcance de la propuesta

La solución propuesta busca poder diseñar e integrar un sistema que pueda cumplir con los siguientes objetivos:

- Diseñar un sistema de monitoreo continuo de vibración, con base en el sensor MPB10 de la marca Sick.
- Presentar una propuesta para un sistema de monitoreo continuo de vibración que genere alarmas al panel de control principal indicando la potencial falla entre las opciones “desbalanceo, fallas en rodamientos y sobre tensión/corriente”.
- Diseñar un plan de integración del sistema de monitoreo continuo de vibración.
- Capacitar al personal técnico de la planta para el mantenimiento del sistema de monitoreo continuo de vibración.
- Entregar la documentación del proyecto (programas, diagramas eléctricos, software de configuración).

ACTA DE CONSTITUCIÓN DEL PROYECTO

NOMBRE DEL PROYECTO

PERFIL DE PROYECTO PARA UN DESARROLLO DE SISTEMA DE MONITOREO CONTINUO DE VIBRACIÓN Y PREDICCIÓN DE FALLAS EN MOTORES ELÉCTRICOS CON EL RESPALDO DEL ENFOQUE DE PROYECTOS DEL PMBOK®.

FINALIDAD DEL PROYECTO

Los paros de producción recurrentes por desperfectos en motores eléctricos ocasionan pérdida de dinero y tiempo de producción a las plantas productivas. Este proyecto busca reducir los costos asociados a mantenimientos correctivos y paros inesperados, mejorando la planificación del mantenimiento y aumentando la vida útil de los motores. Un sistema de monitoreo continuo puede representar un retorno de inversión significativo al disminuir el impacto financiero de las fallas imprevistas. El uso de sensores de vibración de última generación, junto con algoritmos de análisis avanzados, permitirá detectar anomalías en tiempo real y generar alertas tempranas, facilitando la toma de decisiones basada en datos.

OBJETIVOS DEL PROYECTO

Objetivo General

Desarrollar un perfil de proyecto para un desarrollo de sistema de monitoreo continuo de vibración y predicción de fallas en motores eléctricos con el respaldo del enfoque de proyectos del PMBOK®

Objetivos específicos

- Establecer las causas de paros no programados más comunes en los motores eléctricos en la industria.
- Investigar las tecnologías disponibles para el monitoreo continuo de los parámetros de vibración en los motores eléctricos en el mercado industrial actual.
- Establecer la gestión de alcance de proyecto para desarrollar un sistema de monitoreo continuo de vibración que sea capaz de alertar automáticamente antes de que ocurra una falla mecánica en los motores eléctricos, con las herramientas del PMBOK®.

DEFINICIÓN DE REQUISITOS DEL PROYECTO

Requisitos funcionales	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoreo continuo de variables. • Generación de alertas antes de una falla. • Interfaz para el monitoreo remoto.
Requisitos no funcionales	<ul style="list-style-type: none"> • Escalabilidad • Facilidad de Mantenimiento y Soporte Técnico • Base de datos de alertas
Requisitos de hardware	<ul style="list-style-type: none"> • Sensores con protección IP elevada.
Requisitos de capacitación	<ul style="list-style-type: none"> • Capacitación del personal de mantenimiento y operadores. • Documentación (Manuales, diagramas eléctricos y programas).
Requisitos de tiempo y presupuesto.	<ul style="list-style-type: none"> • Planificación del proyecto. • Liberación del presupuesto para la integración.

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO, LÍMITES Y ENTREGABLES CLAVE

Descripción general:

Este proyecto consiste en desarrollar e implementar un sistema de monitoreo continuo de vibraciones, con el cual se puedan detectar potenciales fallas en los motores eléctricos de una línea de producción, para poder aplicar mantenimiento predictivo en estos equipos, maximizando su vida útil y reduciendo las horas de paros no programados por causa de estas fallas. La propuesta planteada se basa en la tecnología del sensor de vibración MPB10 de la marca Sick.

Límites del proyecto

- Recursos financieros.
- Resistencia al cambio de los operadores.
- Tecnología disponible en el mercado.

Entregables:

1. Propuesta inicial.

Identificación del problema, diseño del alcance del proyecto y selección de tecnología.

2. Plan de adquisición de equipos y materiales.

Cotizaciones de sensores de monitoreo de vibración, PLC, gabinete de control, accesorios de conexión.

3. Plan de monitoreo y control.

4. Plan de Integración del sistema.

5. Plan de capacitación.

6. Documentación de finalización.

Diagramas eléctricos, manuales de operación, programa del PLC, carta de entrega del proyecto.

RIESGOS GENERALES DEL PROYECTO

1. Dificultades técnicas en la integración del PLC con sensores:

Que no se encuentren sensores con un protocolo de comunicación compatible con el PLC.

2. Resistencia al cambio por parte del personal operativo.

3. Presupuesto limitado que puede afectar la calidad de los componentes.

4. Falta de disponibilidad de equipos o retrasos en los tiempos de entrega.

CRONOGRAMA DE HITOS DEL PROYECTO

<i>HITOS</i>	<i>FECHAS PROGRAMADAS</i>	
	Fases	Tiempo estimado
Visita de levantamiento de condiciones.	Fase 1	0 semana
Presentación de la propuesta inicial.	Fase 2	1 semana
Recepción de la orden de compra.	Fase 3	2 semana
Plan de integración del sistema.	Fase 4	7 semanas
Capacitación.	Fase 5	8 semanas
Firma de la carta de entrega del proyecto.	Fase 6	9 semanas

RECURSOS FINANCIEROS DEL PROYECTO

DESGLOSE DE COSTOS

<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>COSTO</i>
Costos por equipos	L 95,095.74
Costos por servicios	L 54,000.00
Costos de contingencia	L 10,000.00
Costo total del proyecto	L 161,095.74

LISTA DE INTERESADOS CLAVE

Puesto	Nombre	Nivel de participación
Supervisor de mantenimiento		Medio
Operador		Medio
Gerente de mantenimiento		Alto
Supervisor de producción		Alto
Project manager	Edgar Laínez	Alto
Supervisor de proyectos	Marvin Lorenzana	Alto
Proveedor de tecnología		Alto

REQUISITOS DE APROBACIÓN DEL PROYECTO

Para que este proyecto sea aprobado deberá cumplir con los siguientes requisitos:

- El sistema de monitoreo debe tener un código abierto donde se puedan agregar nuevos sensores al control principal.
- Se debe capacitar al equipo de mantenimiento para que sean capaces de modificar o resolver fallas del sistema.
- El sistema debe mostrar alertas al operador antes de que se vaya a producir una falla en los motores.

CRITERIOS DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO

- **Plan de implementación:** Se debe entregar un plan de como y cuando se debería integrar, probar y poner en marcha el sistema de monitoreo continuo de vibración.

- **Capacitación del personal:** el personal de mantenimiento y operadores deben ser capacitados sobre el funcionamiento y mantenimiento del sistema.
- **Aceptación del usuario:** el nuevo sistema debe ser aprobado por los usuarios finales y no presentar problemas significativos que impidan su uso diario.
- **Documentación técnica:** Se deben entregar manuales operativos, diagramas, programas y toda la documentación correspondiente a este sistema.
- **Carta de entrega del proyecto:** la carta de entrega de proyecto debe ser firmada por el Project manager y por el responsable del cliente por parte de la empresa patrocinadora.

DESIGNACIÓN DEL DIRECTOR DE PROYECTO

<i>NOMBRE</i>	Edgar Laínez	<i>NIVEL DE AUTORIDAD</i>
<i>REPORTA A</i>	Marvin Lorenzana	Alto

PATROCINADOR QUE AUTORIZA EL PROYECTO

NOMBRE	EMPRESA	CARGO	FECHA
			15 de junio 2025


 Edgar Laínez
 Project manager

 Cliente

EDT

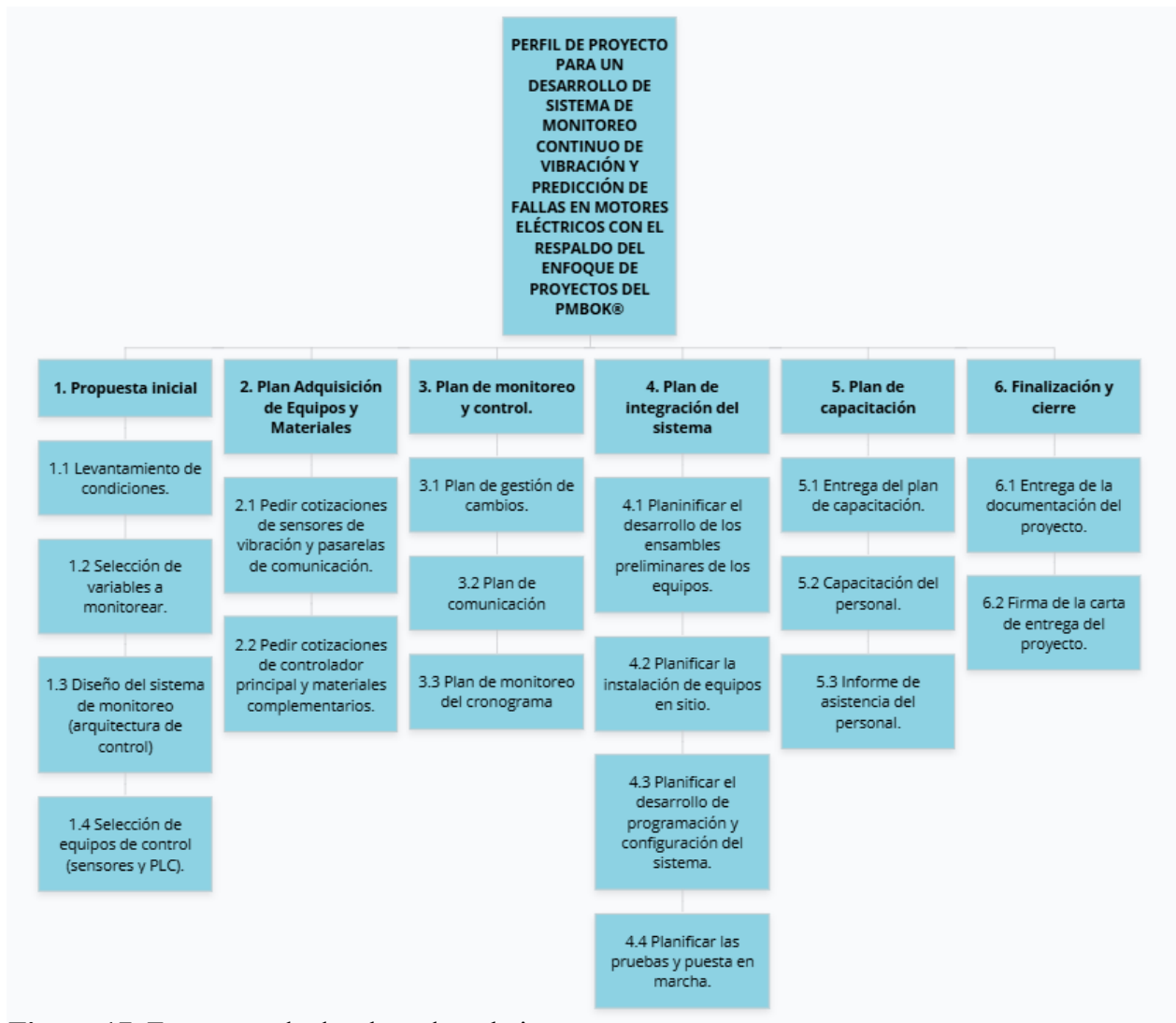


Figura 17. Estructura de desglose de trabajo.

Fuente: (Elaboración propia).

6.4 Descripción y desarrollo a detalle de la propuesta

La propuesta para el sistema de monitoreo continuo de vibraciones será desarrollada entorno al sensor MPB10 de a marca Sick. Este es un sensor de monitoreo de vibraciones que en su funcionamiento básico mide 3 variables de estado de los motores (Choque, temperatura y vibración). Este sensor se comunica por medio de Iolink, protocolo de comunicación punto a punto por medio del cual se extraen las variables de estado que nos ayudaran a identificar las potenciales fallas en los motores eléctricos.

¿Qué se hará y como se hará?

Este como otros proyectos de automatización se realizará sobre la base metodológica cascada, metodología predictiva que en conjunto con el enfoque de gestión de proyectos del PMBOK nos permite obtener la siguiente estructura:

Fase 1 - Análisis:

Todo inicia con una visita al proceso del cliente potencial, esta visita sirve como recorrido de revisión de la aplicación y para establecer el alcance que tendrá el proyecto. En este recorrido se busca establecer y dimensionar características técnicas y físicas que tendrá el sistema de monitoreo, se buscan responder las siguientes preguntas:

- ¿Cuántos motores se quiere monitorear?
- ¿Cuáles son las condiciones a las que estará expuesta el equipo (Temperatura ambiental, contaminación del sitio, humedad en el ambiente, etc.)?
- ¿Cuál es el voltaje disponible en sitio?
- ¿Dónde se instalará el gabinete principal?
- ¿Que alcance de comunicación deberá tener la interfaz remota?
- ¿Qué alarmas son las que requiere el cliente que tenga el sistema?
- ¿Cuál es la cantidad de tiempo de paro no programado que se tiene actualmente debido a las fallas en motores eléctricos?
- ¿Cuáles son los requerimientos de instalación?

Fase 2 – Diseño:

Una vez recolectando la información necesaria, se procede a dimensionar la solución y establecer la cantidad de equipos y los accesorios necesarios para su integración.

La propuesta que se plantea para este sistema incluye sensores de monitoreo de vibración MPB10 (Multi Physics Box), estos sensores se comunican por medio de un Gateway o master Io-Link, el cual recibe las variables de estado del sensor por medio de este protocolo de comunicación.

El sensor MPB10 es un sensor de monitoreo continuo de vibraciones el cual nos ofrece hasta 13 variables de estado en el espectro de vibración, a estas variables se le asignan parámetros o límites de operación estándar, estos parámetros tienen límites establecidos de operación nominal.

El sensor monitorea estos valores y cuando una o un grupo de estas variables se salen de rango el sensor envía alarmas al master Io-Link. Este Gateway se comunicará a la vez con un controlador lógico programable (PLC) principal, el cual servirá como el cerebro del sistema. Dentro de este controlador estará la cadencia principal del sistema, en esta cadencia se hará el monitoreo continuo de las variables de estado identificando cuando estas se salgan de los parámetros preestablecidos y de acuerdo con la combinación de las variables que pasen los límites de falla el controlador enviará alarmas a la pantalla HMI del gabinete principal que alerten a los operadores el tipo de falla que esta por suceder.

Las fallas que este sistema será capaz de anticipar por medio de estos equipos serán:

- Falla por desbalanceo.
- Falla por rodamientos.

Además de monitorear continuamente las variables de temperatura y choque del motor y mostrarlas para visualización en el gabinete de control principal.

Para la falla de sobre tensión/corriente, se agregarán 2 monitores de corriente en las líneas de alimentación principal que se integraran al PLC principal por medio de dos entradas analógicas, con las señales que estos equipos enviarán al sistema el controlador podrá monitorear que la tensión y corriente del motor este dentro de rango y enviar una alarma en caso se salga de este.

La interfaz de monitoreo remoto, se hará por medio del servidor web que ofrece el controlador principal, este controlador se enlazará a la red de la planta por medio de un transmisor inalámbrico que nos permitirá crear una red local a la cual se podrá acceder dentro de la planta para hacer el monitoreo remoto ya sea desde una computadora o una PC, con esta interfaz los supervisores de mantenimiento podrán monitorear en tiempo el funcionamiento del motor sin necesidad de tener que trasladarse al panel de control principal.

Esta fase finaliza con la confección y presentación de la oferta inicial al cliente, donde se establecen todos los detalles técnicos aquí descritos y el alcance del sistema en base a la información recolectada en la fase 1.

Fase 3: Implementación:

La fase de implementación es desencadenada por la orden de compra por parte del cliente, la orden de compra representa la aceptación de la propuesta planteada, en cuanto a alcance de la solución y la tecnología ofertada. Este documento funciona como aceptación del proyecto y da

paso a comenzar con la gestión de compra de los equipos para su implementación.

Los sensores de vibración y las pasarelas de comunicación, que funcionan como equipos principales de esta propuesta, se compran con un proveedor local representante de la marca Sick en Honduras, proveedor el cual tarda en importar estos equipos desde Alemania alrededor de 3-4 semanas. Durante este tiempo se hacen las compras locales a proveedores industriales de los equipos adicionales que conformaran el sistema completo (PLC, gabinete, transmisor, cables, tornillos, accesorios eléctricos, fuente de alimentación, etc.)

A la vez durante la importación de estos equipos, el director de proyectos hará los planes de monitoreo y control que se utilizaran durante la implementación del proyecto en el proceso del cliente.

Cuando termina el proceso de importación, el equipo de proyectos entra en una etapa de preparación para la integración, en esta etapa los técnicos se encargarán del armado del gabinete de control, el diseño de la programación del controlador principal y realizar pruebas de comunicación entre los sensores y el controlador.

En la etapa de integración se realizará el montaje de los sensores en los motores que se hayan dimensionado, la instalación física del gabinete principal y la conexión de todo el sistema, esto, con este montaje mecánico y conexión eléctrica el sistema estará listo para realizar las pruebas de funcionamiento y la puesta en marcha.

Fase 4: Pruebas:

Habiendo integrado el sistema a los motores del proceso del cliente, se procederá a realizar pruebas de funcionamiento, en primera instancia se analizan los valores nominales de operación de los motores eléctricos para poder establecer rangos que limiten esta operación normal, basándonos en las recomendaciones de los fabricantes de los motores. Estos límites son configurados en el controlador principal y se deja un tiempo de operación para analizar el comportamiento de estas variables. Una vez establecidos los límites se realizan simulaciones de disparo, simulando fallas en los motores eléctricos, para confirmar que el sistema envía las alarmas correspondientes y que todo funciona de manera óptima.

Por último se configura la red inalámbrica y se brindan los accesos a los usuarios que estarán monitoreando el funcionamiento de los motores.

Finalizando las pruebas el sistema comienza a funcionar continuamente y se hace la entrega

formal del proyecto, entregando la documentación de este al responsable por parte del cliente, esta documentación está conformada por:

- Manual de operación del sistema.
- Diagramas eléctricos.
- Programa del controlador principal.
- Fichas técnicas de los equipos instalados.

Fase 5: Mantenimiento:

El mantenimiento de los equipos del sistema de monitoreo se da con el tiempo de funcionamiento, se hacen rutinas de inspección para determinar el funcionamiento de los sensores, se revisa instalación mecánica, deterioro físico del equipo, diagnóstico del tiempo de funcionamiento de los sensores, diagnóstico de las horas de funcionamiento del controlador y los elementos eléctricos.

Para estos mantenimientos con la entrega formal del proyecto se hará una capacitación a las personas que operaran el sistema y a las personas que se encargaran del mantenimiento de este. Este plan de capacitación ira orientado a como interactuar con la interfaz del sistema y como realizar los diagnósticos para evaluar cuando es oportuno un mantenimiento de este equipo.

Al ser equipo de funcionamiento continuo y de características electrónicas no es posible realizar un mantenimiento físico además de evaluar las situaciones antes expuestas, en caso del daño de uno de los elementos del sistema debe cambiarse por un equipo nuevo y ser nuevamente configurado.

Desarrollo de todos los elementos necesarios

Gestión de interesados.

Este perfil de proyectos es compuesto por diferentes actores como interesados para que este se realice exitosamente. Socios, inversionistas, gerente de mantenimiento y de producción, técnicos, operarios y otros externos como proveedores son clave para entender las exigencias y el éxito del perfil de proyecto. Para esto se procederá a realizar la identificación y su clasificación de poder e influencia por medio de una matriz.

Puesto	Rol en el proyecto	Expectativas principales	Influencia	Interés	Interno / Externo	Partidario / Neutral / Reticente	Plan de involucramiento
Inversionistas/Socios	Proveer la inversión económica del proyecto	Mejorar la eficiencia de la empresa y reducir costos	Alto	Alto	Interno	Partidario	Reportar semanalmente documentos de avances e involucrar activamente
Gerente de mantenimiento	Velar por que el proyecto cumpla con los requisitos del alcance para el equipo del mantenimiento	Facilitar el trabajo de mantenimiento de motores críticos de la empresa	Alto	Alto	Interno	Partidario	Reuniones de seguimiento y capacitar para el uso de plataforma
Gerente de producción	Velar por que el proyecto reduzca los tiempos de paro no programados dentro del alcance para la empresa	Reducir los paros no programados en tiempos de producción	Medio	Medio	Interno	Neutral	Planificar paros programados según los informes que el sistema nos vaya alertando y revisión de informes de reducción de horas por paro no programados
Gerente Financiero	Verificar que el proyecto genere un retorno de inversión para reducir gastos para la empresa	Reducir costos y generar mayor utilidad para la empresa.	Alto	Medio	Interno	Partidario	Generar reportes financieros como retornos de inversión y verificar reducción de costos gracias al sistema implementado
Operarios	Operar las máquinas y avisar cualquier anomalía que suceda con los sistemas a implementar	El sistema no les debe generar mayor carga laboral	Bajo	Bajo	Interno	Reticente	Involucrar gradualmente y capacitar el uso del funcionamiento del sistema de alarmas
Técnicos	Dar mantenimiento al equipo y velar que el sistema opere en óptimas condiciones	El sistema debe facilitar el diagnostico de mantenimiento de motores eléctricos para facilitar su trabajo	Bajo	Alto	Interno	Neutral	Capacitar al equipo técnico para que comprendan todos los componentes clave y entiendan el uso del mismo.

Director de proyectos	Velar que la planificación y ejecución del proyecto se cumplan dentro del alcance, presupuesto y tiempo establecido	Cumplir con las expectativas de los interesados y gestionar correctamente el proyecto	Alto	Alto	Interno	Partidario	Trabajar la comunicación con todos los interesados, generar informes necesarios y dar seguimiento al cronograma establecido
Proveedores	Proveer los equipos necesarios para realizar el sistema de monitoreo continuo para motores eléctricos	Hacer la integración con los sensores y otros equipos que ellos distribuyen esperando un porcentaje de ganancia considerable	Medio	Alto	Externo	Neutral	Planificar reuniones para establecer fechas, selección de equipos y fortalecer la comunicación proveedor-cliente

Tabla 3. Gestión e involucramiento de interesados.

Fuente: (Elaboración propia).

Gestión de riesgos

Se procede a realizar una matriz de identificación y clasificación de riesgos que pueden incurrir en el proyecto por lo que primero se realiza una tabla de ponderación donde visiblemente se puede catalogar cada riesgo por su probabilidad e impacto.

La tabla se divide en 5 clasificaciones según su prioridad del más bajo al más alto. A continuación, procedemos a enlistar y clasificar cada uno de los riesgos:

ID	Riesgo	Tipo	Probabilidad	Impacto	Calificación	Estrategia
PR1	Dificultad técnica en la integración del PLC con sensores	Técnico	Bajo	Alto	Medio	Gestión de comunicación con el proveedor
PR2	Resistencia al cambio por parte del personal operativo	Cooperación del recurso humano	Medio	Bajo	Baja	Monitorear y capacitar
PR3	Presupuesto limitado que pueda afectar la calidad de los componentes	Financiero	Bajo	Alto	Media	Reunión para hablar del tema de alcance vs calidad y reflejar el valor que genera el proyecto
PR4	Falta de disponibilidad de equipos o retrasos en los tiempos de entrega	Logístico/Proveedor	Medio	Alto	Alta	Contrato de precio fijo con penalización por incumplimiento
PR5	Falta de alineación de objetivos vs las expectativas de los interesados	Comunicación	Bajo	Alto	Medio	Gestión de comunicación y de interesados

Tabla 4. Matriz de identificación de riesgos.

Fuente: (Elaboración propia)

En base a los riesgos identificados se hace el siguiente plan de mitigación dependiendo su prioridad.

La resistencia al cambio de los operarios es un evento probabilidad e impacto bajo, sin embargo, es importante monitorear su actitud y desempeño cuando el sistema se implemente. Se procederá hacer capacitaciones para el personal encargado que el proceso de adaptación sea

sencillo y amigable.

La dificultad técnica en la integración del PLC con sensores siempre está presente en proyectos relacionados con la automatización porque la información y la tecnología van renovándose día a día. Para este evento es importante que una gestión de comunicación con el proveedor fluida y constante. Se deberá facilitar documentación técnica como diagramas u hojas de datos de los equipos adquiridos para que la integración se simplifique y podamos mitigar este riesgo y evitar retrasos en el cronograma.

La parte económica siempre es una índole sensible en cualquier proyecto y en este caso no es la excepción. Con una prioridad media es fundamental que los socios y otros interesados comprendan que una mala calidad de componentes es vital para el alcance del proyecto. Una reunión para presentar el valor de lo que se está implementando y también del mismo equipo dará una comprensión del impacto que el sistema de monitoreo de motores genera para la empresa y este autorice un mejor margen para que las adquisiciones presupuestadas en la gestión de costos sean mayores o acordes para el éxito en términos monetarios.

Al ser un perfil de proyecto complejo con varios interesados involucrados la alineación de objetivos con las expectativas puede suceder por lo que el plan de mitigación es el siguiente. En una reunión se deberá mencionar las metas en común y de prioridad. A partir de aquí se hará la debida documentación de la gestión de alcance firmada por los involucrados. En dado caso exista un cambio deberá pasar por el proceso de gestión de cambios y nuevamente llamar al comité para aprobar o rechazar la solicitud propuesta. Esto ayudara a que las expectativas cumplan con los objetivos documentados.

Este tipo de sistemas de monitoreo de motores es un tipo de proyecto no común en Honduras, por lo que, encontrar con disponibilidad inmediata los sensores es imposible actualmente a la fecha. Al depender a un tiempo de entrega de fabricación, de logística y otros temas sensibles hoy en día como el tema de importaciones será clave generar un contrato de precio fijo con el proveedor designado para que este cumpla con el tiempo estipulado y exista penalización por retraso o tenga responsabilidad de gestionar cualquier sobre costo para que las adquisiciones lleguen en tiempo y forma.

Gestión de Costos

El proceso para la gestión de costos del perfil de proyecto para un sistema de monitoreo de motores es asegurar que el presupuesto establecido cumpla con todo lo necesario para finalizar el proyecto exitosamente.

Con el objetivo de asegurar una ejecución financiera eficiente del proyecto, se implementarán mecanismos rigurosos para controlar los costos a lo largo de su ciclo de vida. Estas acciones permitirán mantener el proyecto dentro del presupuesto aprobado, detectar desviaciones tempranamente y tomar decisiones informadas para su corrección oportuna.

Monitoreo regular del presupuesto: Se llevarán a cabo revisiones semanales en las que se compararán los costos reales incurridos con los costos planificados. Esto permitirá evaluar el desempeño financiero del proyecto y garantizar el uso responsable de los recursos asignados.

Informes de progreso financiero: Se elaborarán informes periódicos que incluirán el estado actualizado de los costos, tendencias de gasto, variaciones significativas frente al presupuesto y proyecciones futuras. Estos informes serán compartidos con los interesados clave para fomentar la transparencia y facilitar la toma de decisiones estratégicas.

Gestión formal de cambios: Todo cambio que implique una modificación en el alcance del proyecto y que impacte en el presupuesto deberá ser gestionado a través de un proceso formal de control de cambios. Esto incluirá la documentación detallada del cambio, su justificación, análisis del impacto en costos y cronograma, y la correspondiente aprobación por parte del comité de control del proyecto.

Fondo de contingencia: Para cubrir posibles eventos imprevistos que puedan surgir durante la ejecución del proyecto, se ha asignado un fondo de contingencia de Lps. 10,000. Este monto será utilizado exclusivamente para absorber sobrecostos no planificados derivados de riesgos identificados o incidentes menores, siempre y cuando estén debidamente justificados y documentados.

Aprobación del presupuesto: El presupuesto total estimado para el desarrollo e implementación del sistema de monitoreo continuo de condiciones en motores eléctricos es de Lps. 117,095.74. Este presupuesto deberá ser aprobado formalmente por los interesados principales antes del inicio de la fase de ejecución. Cualquier modificación posterior requerirá una revisión formal bajo el proceso de gestión de cambios.

6.5 Medidas de Control

Con el fin de evaluar la eficacia y eficiencia del sistema de monitoreo continuo de vibración y predicción de fallas en motores eléctricos, se implementarán medidas de control basadas en cuatro ejes fundamentales: reducción de tiempo por paros no programados, comparación de costos antes y después de la implementación, análisis de alarmas reportadas y revisión de historiales de fallas. Estos elementos permitirán medir objetivamente el impacto del sistema en la operación industrial.

6.5.1 Reducción de tiempo por horas no programadas

- Método: Comparación mensual de reportes de mantenimiento antes y proyección de mejoras después de la instalación del sistema.
- Meta estimada: Reducción $\geq 15\%$ en tiempo total de inactividad por fallas en motores.

6.5.2 Comparación de costos de mantenimiento

- Método: Análisis contable trimestral de egresos por reparaciones y reemplazos.
- Meta estimada: Disminución de al menos un 15% en costos de mantenimiento anual.

6.5.3 Revisión de historiales de fallas

Método: Registro documental del historial técnico de cada motor, antes del proyecto y simulación de proyecciones futuras con el sistema en funcionamiento.

Objetivo: Detectar tendencias previas para validar que las nuevas alertas corresponden con patrones históricos.

6.5.4 Número de alarmas reportadas

Método: Registro automatizado del software del sistema de monitoreo.

Análisis: Identificar qué porcentaje de alarmas fue atendido y cuántas correspondían a fallas reales.

Meta estimada: Al menos un 80% de alarmas deben corresponder a condiciones reales o prevenibles.

Frecuencia de medición:

Mensual para indicadores de tiempo y alarmas y trimestral para costos y análisis histórico.

Herramientas de recolección de datos:

Reportes de mantenimiento históricos y actuales, software del sistema de monitoreo (dashboard de alarmas), formatos estandarizados de mantenimiento y la base contable de costos de operación y mantenimiento.

Límites aceptables:

Paros no programados: máximo tolerable = 75% de valor histórico.

Costos: no más del 90% del gasto previo.

Alarmas falsas: no más del 20% del total emitido.

Estas medidas permitirán establecer una línea base antes de la implementación, simular escenarios con el sistema funcionando y proyectar beneficios claros. Con ello, se sustenta la viabilidad del sistema desde una perspectiva técnica y económica, y se da soporte a la toma de decisiones en la planificación del proyecto.

6.6 Cronograma de implementación

Cronograma de actividades					
Fase	Nombre de tarea / Título	Fecha de inicio planificada	Fecha de finalización planificada	Responsable	Duración
Fase 1 - Propuesta inicial.	Levantamiento de condiciones	2/6/2025	2/6/2024	Proyectista	1d
	Selección de variables a monitorear	3/6/2025	3/6/2025	Proyectista	1d
	Diseño del sistema (arquitectura de comunicación)	4/6/2025	5/6/2025	Proyectista	2d
	Selección de equipos de control	6/6/2025	6/6/2025	Proyectista	1d
	Presentación de la propuesta final	9/6/2025		Director de proyectos	0d
	Análisis de la propuesta final	9/6/2025	13/6/2025	Cliente	5d

Fase 2 – Plan de adquisición de materiales y equipos	Recepción de la orden de compra	13/6/2025		Director de proyectos	0d
	Procesamiento de la orden de compra	16/6/2025	16/6/2025	Director de proyectos	1d
	Cotización de los sensores y pasarelas	17/6/2025	4/7/2025	Encargado de compras	14d
	Cotización del controlador principal y materiales complementarios.	17/6/2025	19/6/2025	Encargado de compras	3d
Fase 3 - Plan de monitoreo y control	Plan de gestión de cambios	23/6/2025	24/6/2025	Director de proyectos	2d
	Plan de comunicación	25/6/2025	27/6/2025	Director de proyectos	2d
	Plan de monitoreo de cronograma	30/6/2025	4/7/2025	Director de proyectos	5d
Fase 4 – Plan de integración del sistema	Planificar el desarrollo de los ensambles preliminares	7/7/2025	11/7/2025	Técnico instalador	5d
	Planificar la instalación de equipos	14/7/2025	15/7/2025	Técnico instalador	2d
	Planificar el desarrollo de la programación y configuración	16/7/2025	17/7/2025	Proyectista	2d
	Planificar las pruebas y puesta en marcha	18/7/2025	18/7/2025	Proyectista	1d
	Planificar la finalización de integración	18/7/2025		Director de proyectos	0d
Fase 5 - Capacitación	Entrega del plan de capacitación	21/7/2025	21/7/2025	Director de proyectos	1d
	Capacitación del personal	22/7/2025	24/7/2025	Proyectista	2d
	Informe de asistencia	25/7/2025	25/7/2025	Director de proyectos	1d
Fase 6 - Finalización y cierre	Finalizar documentación del proyecto	28/7/2025	31/7/2025	Proyectista	4d
	Entrega de documentación del proyecto	1/8/2025	1/8/2025	Proyectista	1d
	Firma de carta de entrega del proyecto	1/8/2025		Director de proyectos	0d

Tabla 5. Listado de tareas de implementación.

Fuente: (Elaboración propia).

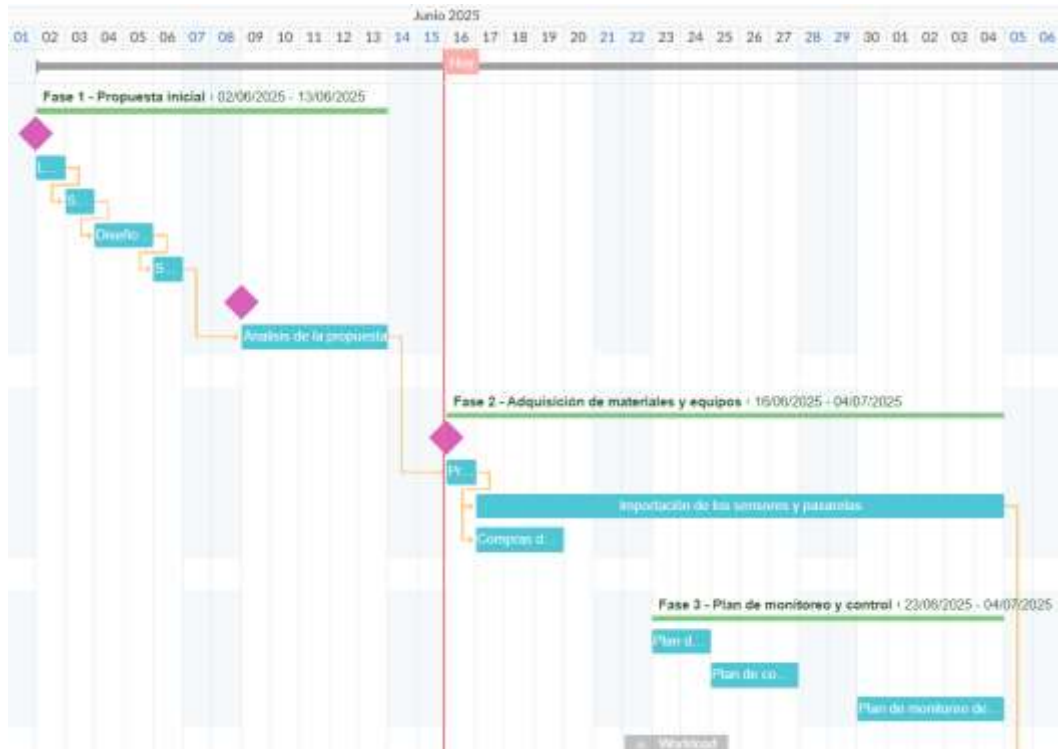


Figura 18. Diagrama de Gantt del proyecto - 1ra parte.

Fuente: (Elaboración propia).

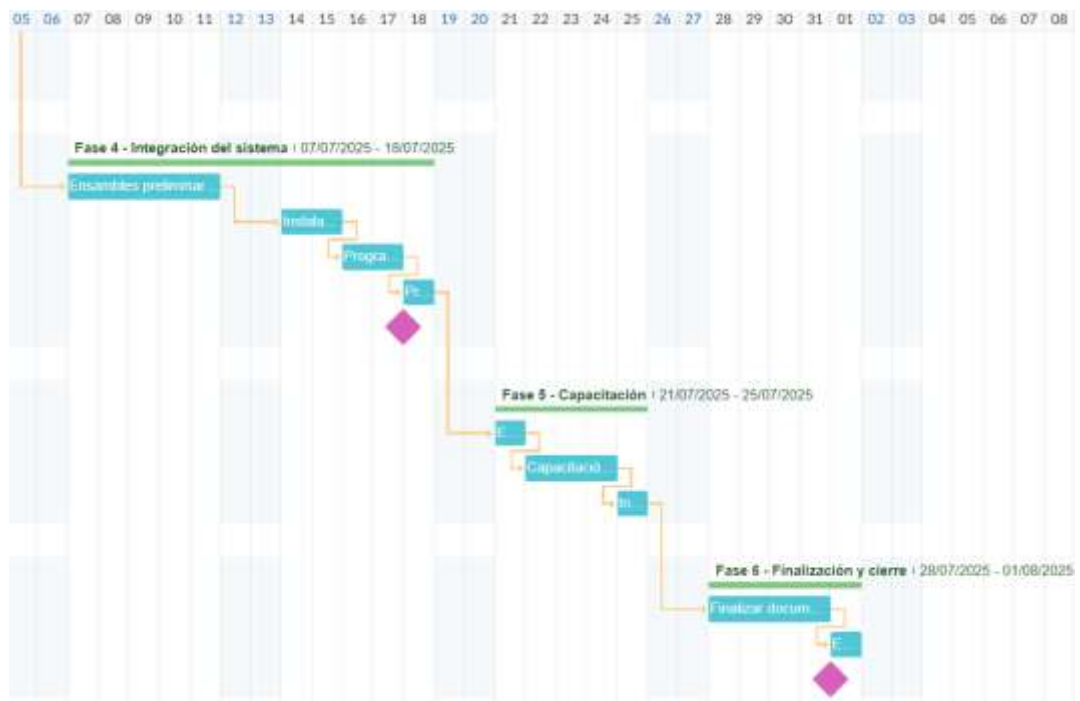


Figura 19. Diagrama de Gantt del proyecto - 2da parte.

Fuente: (Elaboración propia).

6.7 Presupuesto e impacto del presupuesto

Cantidad	Equipo	Costo	Total
1	Módulo de integración SIG200	L 18,875.00	L 18,875.00
1	Sensor de medición de vibración MPB10	L 17,370.00	L 17,370.00
2	Conector recto hembra M12-5 polos c/cable 5Mts.	L 793.00	L 1,586.00
1	Conector recto macho M12-5 polos s/cable	L 1,992.00	L 1,992.00
1	Simatic s7-1200, cpu compacta, dc/dc/dc, e/s integradas: 14 di 24vdc; 10 do 24 vdc 2ai	L 13,617.51	L 13,617.51
1	simatic hmi, ktp700 basic profinet	L 26,410.00	L 26,410.00
1	Hex poe lite with power supply and case	L 1,513.74	L 1,513.74
1	Poe-out Ethernet smart swicth, sfp, SwOS 4 puertos	L 1,412.74	L 1,412.74
3	Nexxt patch cord cat5e 7ft bl	L 78.78	L 236.34
1	Armario metálico 400x400x200	L 2,500.00	L 2,500.00
20	Tornillo p/metal p/br 8X1/2"	L 0.33	L 6.60
1	Riel din 50cm	L 35.00	L 35.00
1	Conector cable plástico Ce. # PG-1/2"	L 11.25	L 11.25
12	Borne 2.5mm	L 23.66	L 283.92
1	Ducto Ranurado 60x40mm	L 100.00	L 100.00
30	Cable THHN #14AWG Negro	L 10.00	L 300.00
30	Cable THHN #14AWG Blanco	L 10.00	L 300.00
30	Cable TFF #16 negro	L 12.00	L 360.00
30	Cable TFF #16 azul	L 12.00	L 360.00
30	Cable TFF #16 negro café	L 12.00	L 360.00
1	Fuente de poder 2.5 A	L 1,526.40	L 1,526.40
1	Breaker ls riel bk63h 2x3 480v	L 325.00	L 325.00
1	Etiqueta de vinil auto laminable	L 1,121.24	L 1,121.24
1	Conector recto macho M12-4 polos/RJ45 c/cable 2Mts.	L 2,548.00	L 2,548.00
1	Conector recto macho M8-4 polos c/cable 1.5Mts.	L 1,945.00	L 1,945.00
Costo total			L 95,095.74

Tabla 6. Desglose de costos de equipos.

Fuente: (Elaboración propia).

Cantidad	Descripción de servicios	Costo	Costo total
24	Hora de técnico electrico	500	L12,000.00
40	Horas de servicio por capacitación	250	L10,000.00
40	Horas de servicio por ingeniería (Diseño y programación)	800	L32,000.00
Costo total			L54,000.00

Tabla 7. Desglose de costos por servicios.

Fuente: (Elaboración propia).

Descripción	Costos
Costos por equipos	L95,095.74
Costos por servicios	L54,000.00
Fondo de contingencia	L10,000.00
Costo total del proyecto	L161,095.74

Tabla 8. Desglose de costos totales.

Fuente: (Elaboración propia).

6.8 CONCORDANCIA DE LOS SEGMENTOS DE LA TESIS

Capítulo I			Capítulo II	Capítulo III		
Título de la investigación	Objetivo General	Objetivos Específicos	Teorías de Sustento	Variables	Población	Técnicas
Perfil de proyecto para un desarrollo de sistema de monitoreo continuo de vibración y predicción de fallas en motores eléctricos con el respaldo del enfoque de proyectos del PMBOK®.	Desarrollar un perfil de proyecto para un monitoreo continuo de vibración y predicción de fallas en motores eléctricos con el apoyo de sensores de vibraciones para la adquisición y análisis de datos.	Establecer las causas de paros no programados más comunes en los motores eléctricos en la industria.	1)Fundamentos del PMBOK® 7ma Edición 2)Metodología Cascada (Waterfall)	Condición de funcionamiento del equipo	La población para esta investigación la definiremos como todos los usuarios de motores eléctricos que pertenezcan a un equipo de mantenimiento dentro de las plantas de producción dentro del casco urbano de San Pedro Sula.	La técnica principal que se utilizo es la encuesta como fuente de investigación .
		Investigar las tecnologías disponibles para el monitoreo continuo de los parámetros de vibración en los motores eléctricos en el mercado industrial actual.		Gestión de recursos		
		Establecer la gestión de alcance de proyecto para desarrollar un sistema de monitoreo continuo de vibración que sea capaz de alertar automáticamente e antes con anticipación una falla mecánica en los motores eléctricos, con las herramientas del PMBOK®.		Gestión de alcance		

Tabla 9. Concordancia de los segmentos – 1era parte.

Fuente: (Elaboración propia).

Capítulo V	Capítulo VI	
Conclusiones	Nombre de la propuesta	Objetivos de propuesta
Los paros no programados en motores eléctricos dentro de las fábricas en San Pedro Sula son frecuentes y las fallas más comunes se relacionan con rodamientos, sobretensiones/sobrecorrientes y problemas de instalación.	Perfil de proyecto para un desarrollo de sistema de monitoreo continuo de vibración y predicción de fallas en motores eléctricos	Diseñar un sistema de monitoreo continuo de vibración, con base en el sensor MPB10 de la marca Sick.
Las tecnologías conocidas y disponibles en el mercado actual son los sensores IoT y acelerómetros con salida analógica son las opciones más viables por costo y disponibilidad para el monitoreo continuo de vibraciones.		Integrar un sistema de monitoreo continuo de vibración que genere alarmas al panel de control principal indicando la potencial falla entre las opciones “desbalanceo, fallas en rodamientos y sobre tensión/corriente”.
El alcance debe gestionarse integrando actores clave desde la formulación, definiendo entregables alineados a beneficios esperados como la reducción de paros no programados y mayor vida útil de los motores, y sustentando el proyecto con una justificación económica sólida que demuestre su viabilidad.		Entregar la documentación del proyecto (programas, diagramas eléctricos, software de configuración).

Tabla 10. Concordancia de los segmentos – 2da parte.

Fuente: (Elaboración propia).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aroeira, C. (11 de diciembre de 2023). DMC. Obtenido de <https://www.dmc.pt/es/historia-da-medicao-de-vibracoes-em-manutencao-preditiva/>

Torres Rodriguez, R. M., & Batista Rodriguez, C. R. (2010). Análisis vibro dinámico de motores eléctricos, Ingeniería Mecánica. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/im/v13n1/im02110.pdf>

Project Management Institute. (2017). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® guide) (6th ed.)*. Project Management Institute.

Acelerómetro para vibración en desplazamiento METRA KSI84D. (2021, junio 11). *Sensing, Sensores de Medida*. <https://sensores-de-medida.es/catalogo/acelerometro-para-vibracion-en-desplazamiento-metra-ksi84d/>

Agudelo, N., Tano, G., & Vargas, C. A. (s. f.). *HISTORIA DE LA AUTOMATIZACIÓN*.

Aguilera, P. (2002). *Programación de PLC'S* [Universidad Autónoma de Nuevo]. <http://eprints.uanl.mx/919/1/1020148252.PDF>

Electrotec | Partes de un Motor Electrico. (s. f.). Recuperado 2 de marzo de 2025, de <https://electrotec.pe/blog/PartesdeunMotorElectricoNEW>

Ethernet PLC - Sensorstecnics, Honeywell. (s. f.). Recuperado 2 de marzo de 2025, de https://www.sensorstecnics.net/pages/es/productos.php?categoria_id=16&subcategoria_id=173

Kulichvsky, R., Sacchi, M., & Martín Ghiselli, A. (s. f.). *MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE VIBRACIONES: UNA HERRAMIENTA PARA LA PREDICCIÓN Y EVALUACIÓN DE FALLAS EN MAQUINARIAS*. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38543186/Analisis_de_vibraciones-libre.pdf?1440272703=&response-content-

disposition=inline%3B+filename%3DMEDICION_Y_ANALISIS_DE_VIBRACIONES_UNA_H.pdf&Expires=1740966432&Signature=AJthPByz7NyjZ94FIye0OvzmaB3jKcJrLUwS-86nbADsZHOCrnNxrJUzzAIvIRPwNU4xQxkGLacnnc4H2eY3H4pGikotpKNvM1jsLf2RP~KC1eAXI5oB3RGjb3hB1JmTijQPkXmcGs3WWhi3aTGeoQTCG71DGVdNIITJebDZIkPcZoO2jH2L7EeFgDEc9H21bywh6Z6s6IqOIdl75ilnFF5wiCK~SaSrusti7kSkLaZinugYcAxBYd2ZmRqDc h8EyOqjFeP9jwJNiqSnWebvWrCLNFTUusrFzpuU179fbMhjHNvutX75bK2jQRjqXz0GRGx8vR~4Wqi0qmdmZTGcRKA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Pernia, M. (2011, septiembre). *Conceptos de corriente continua*.
https://www.researchgate.net/profile/Marino-Pernia/publication/235752021_Conceptos_Basicos_de_Maquinas_de_corriente_continua/links/0912f5131e8e23bfa1000000/Conceptos-Basicos-de-Maquinas-de-corriente-continua.pdf

Pinzón, C. (s. f.). *TIPOS DE MANTENIMIENTO*.

Rao, S. S., & Fah, Y. F. (2011). *Mechanical vibrations* (5. ed. in SI units). Prentice Hall/Pearson.

Serna, A., Ros, F., & Rico, J. (2010). *Guía Práctica de Sensores*. Creaciones Copyright SL.

Torres-Rodríguez, R. M., & Batista-Rodríguez, C. R. (2010). Análisis vibrodinámico de motores eléctricos. *Ingeniería Mecánica*, 13(1), 9-18.

Unidad de Vibración. (s. f.). Recuperado 2 de marzo de 2025, de <https://adash.com/es/articulos/unidad-de-vibraci%C3%B3n/>

White, G. (2010). *al de vibración*. Aima DLI. <https://termogram.com/images/pdf/analisis-vibraciones/introduccion-al-analisis-de-vibraciones-azima-dli.pdf>

Pressman, R. S., & Maxim, B. R. (2020). *Software Engineering: A Practitioner's Approach*. McGraw-Hill Education.

Sommerville, I. (2015). *Software Engineering*. Pearson.

Mendoza Colin, C. D. (2021). *Evaluación de sensores de variable física para su aplicación en IOT para la industria*. Universidad Autónoma del Estado de México

Royce, W. W. (1970). *Managing the development of large software systems*. Proceedings of IEEE WESCON.

Quiroga Moreno, J. C. (2021). *Metodología gerencial para el control y seguimiento de las variables de calidad en lodos secundarios generados en plantas de tratamiento de aguas residuales en la Sabana Norte de Bogotá*. Universidad Militar Nueva Granada

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (s.f). *El perfil del proyecto*. FAO. Recuperado el 16 de marzo de 2025, de <https://www.fao.org/4/a0322s/a0322s03.htm>

ANEXOS



Figura 20. Carta de aprobación de documento.

Fuente: (Asesor metodológico: Mina García)

acisa
 AUTOMATIZACION Y CONTROL INDUSTRIAL DE HONDURAS, S.A. de C.V.
 RTN: 05029995001572
 www.grupoacisa.com
 hon.ventas@grupoacisa.com

Boulevard Cervecería Hondureña 18 y 19 Calle,
 3 Avenida, Plaza Guadalupe, Locales 1 y 2
 San Pedro Sula, Cortés, Honduras, C.A.
 Tel.: (+504) 2558-8430 / 2558-8431 / 2558-8432
 (+504) 2558-8542
 Pagos transferencias: L. 730-154291 BAC / L.
 11-210-010063-5 Occidente

BUSCANOS EN REDES SOCIALES
 /GrupoACISA
 /grupo-acisa
 (+504) 8999-1586



San Pedro Sula, 17 - 07 - 2025 Nombre: Genérico Atención: Dirección: RTN: Genérico				Cotización N° 30237		
Vendedor: 23		Pago: Contado				
Cantidad	U.	Código	Descripción	Precio unitario L.	Descuentos y Rebajas Otorgados	Importe L.
1	PZ	1089796 *	Módulo de integración SIG200-0A0512200	18,875.0000	0.0000	18,875.00
1	PZ	1123926 *	Sensor de medición de vibración MPB10-VS00/SIQ00	17,370.0000	0.0000	17,370.00
2	PZ	2096240 *	Conector recto hembra M12-5 polos c/cable 5Mts. YF2A15-050VB5XLEAX Ver 6009868	793.0000	0.0000	1,586.00
1	PZ	6021353 *	Conector recto macho M12-5 polos s/cable DOS-1205-GQ	1,992.0000	0.0000	1,992.00
1	PZ	2106182 *	Conector recto macho M12-4 polos/RJ45 c/cable 2Mts. YM2D24-020PN1MRJA4	2,548.0000	0.0000	2,548.00
1	PZ	6021195 *	Conector recto macho M8-4 polos/hembra D-Sub-9 polos c/cable 2Mts. DSL-8D04G02M025KM1	1,957.0000	0.0000	1,957.00
Nota: Tiempo de entrega 5-6 semanas.						
Todo valor menor o igual a Lps. 500.00, se cancela de contado					0.0000	44,328.00
Hecho por: Oneyda Erazo		Validez de la oferta hasta: 21/07/2025		Importe Exonerado:	L.	0.00
Autorizado por:		Tipo de Cambio: € 1.00 = L. 29.26		Importe Exento:	L.	0.00
				Importe Gravado 15%:	L.	44,328.00
				Importe Gravado 18%:	L.	0.00
				I.S.V. 15%:	L.	6,649.20
				I.S.V. 18%:	L.	0.00
				Total a pagar:	L.	50,977.20

Figura 21. Cotización de equipos para monitoreo de vibración.

Fuente: (Automatización y Control Industrial S.A.)



Cotización

Fecha:16/07/2025

Hora:8:01AM

Cotización #: 10355

Original

Cliente: SPS100001 - ACISA

Vendedor: Gabriel Urbina

Correo electrónico: ventassps_01@ainsahn.com

#	Código	Descripción	Cantidad	Precio	Total
1	105SI187	SIMATIC S7-1200, CPU 1214C, CPU COMPACTA, DC/DC/DC, E/S INTEGRADAS: 14 DI 24V DC; 10 DO 24 V DC	1	13,617.51	13,617.51
2	104SI029	SIMATIC HMI, KTP700 BASIC, BASIC PANEL, MANDO POR TECLAS/TACTIL, PANTALLA TFT 7" , PROFINET	1	26,410.74	26,410.74

	LPS	40,028.25
I.S.V. 15%	LPS	6,004.24
Total	LPS	46,032.49

**OFERTA VÁLIDA POR 5 DÍAS
PRECIOS SUJETOS A CAMBIOS SIN PREVIO AVISO**

Figura 22. Cotización de controlador PLC y HMI.

Fuente: (Automatización Industrial S.A.)



Desde 1991 a su servicio

Email: intekhn@intek-ca.com
www.intek-ca.com

Of-Bodegas Premier Warehouse Complex, 100 mts antes del Peaje a La Lima. Edificio PWC4-B40, San Pedro, Sula, Honduras, C. A.
 San Pedro Sula:+504 2502-4890 | Comayagua: +504 2708-9320

04-jun.-2025
16:37:41

Cotización No. 0047029 - V. 1

Fecha de Cotización: 04/jun./2025

OFERTA BRADY



No Cotización:	47029	Fecha Entrega :	04/jun./2025
Cliente:	ACISA DE HONDURAS SA DE CV	Lugar Entrega:	SAN PEDRO SULA
Atención A:	SERGIO .	Persona Recibe :	ALMACEN
Forma de Pago:	Contado		
Tiempo de Entrega:	INMEDIATO SALVO PREVIA VENTA		

Cantidad	Código	Descripción	Peso	Lps.	Precio U. sin IVA	Lps.	Total sin IVA
1.00	M21750499	ROLLO ETIQUETA NYLON 3/4"x1/8" NEGRO S/BLANCO PARA IMPRESORA BMP21, M210, M211	0.00		1,290.00000		1,290.90
1.00	M21750427	ETIQUETA DE VINIL AUTOLAMINABLE 0.375" x 0.75", PICABLE 20-12AWG, 14-PIES.	0.00		1,290.00000		1,290.90
1.00	M21500499	NYLON 1/2"x1/8" NEGRO S/BLANCO	0.00		1,148.94000		1,148.94

Unidades Totales	Lineas en Cotizacion	Peso Total en KG.			SubTotal:	3,730.74
3.00	3	0.00			I.V.A.:	559.61
					Total Cotización:	Lps. 4,290.36

CUATRO MIL DOSCIENTOS NOVENTA LEMPIRAS CON 36/100

Los precios, se entienden netos del equipo puesto en bodega INTEK, 15.00% de I.S.V. NO incluido, pagaderos en su equivalente en Lempiras según el tipo de cambio Bancario de referencia para la venta, del día en que sean realizados los pagos. "NO ESTAMOS SUJETOS A RETENCION ISR"

VALIDEZ DE OFERTA: 5 DIAS.

NO SE ACEPTAN DEVOLUCIONES DE EQUIPO O MATERIAL NI DE ANTICIPOS PAGADOS DEBIDAMENTE Y RECIBIDOS POR INTEK, SEGÚN APLIQUE TODA CANCELACION DE ORDEN DE COMPRA GENERARA UN CARGO INAPELABLE POR DEFINIRSE EN CADA CASO, SEGÚN APLIQUE DE PARTE DE FABRICA.

Los precios no incluyen la instalación ni la puesta en marcha de los equipos objeto de la presente cotización. De requerir estos servicios, los mismos deberán ser objeto de una nueva cotización y contratados por separado. Se incluye sin embargo, asistencia requerida para que estos trabajos puedan ser desarrollados por el cliente.

Los precios de la presente oferta están sujetos a variación por cambios en tasa L. / US\$, derechos de importación, impuestos, etc.

Sin otro particular por el momento, quedamos a la espera de su amable pedido. Atentamente

Mostrador Honduras

Vendedor Interno
Elaborado por: Abner Gamaliel Portillo Alemán

f.)
Revisado

f.)
Autorizado

Page 1 of 1

www.intek-ca.com

Guatemala
Tel: (502) 2507-0500
intekgt@intek-ca.com

El Salvador
Tel: (503) 2260-8888
inteksv@intek-ca.com

Honduras
Tel: (504) 2559-4748 al 50
intekhn@intek-ca.com

Nicaragua
Tel: (505) 2222-2451
intekni@intek-ca.com

Figura 23. Cotización etiquetas.

Fuente: (INTEK Honduras.)

PERFIL DE PROYECTO PARA EL DESARROLLO DE SISTEMA DE MONITOREO CONTINUO DE VIBRACIÓN Y PREDICCIÓN DE FALLAS EN MOTORES ELÉCTRICOS CON EL RESPALDO DEL ENFOQUE DE PROYECTOS DEL PMBOK

B *I* U ↻ ✕

Los motores eléctricos son uno de los elementos con mayor presencia en el sector industrial. El siguiente formulario tiene como objetivo poder establecer que tanto impacto tienen las fallas en motores eléctricos en las horas de paro no programado, dentro de una planta productiva. Se busca también conocer las fallas más recurrentes en motores eléctricos que se dan en la industria y que se está haciendo para poder detectarlas a tiempo. Además, conocer qué tipo de tecnologías para el monitoreo continuo de vibración se utilizan actualmente en la industria y cuáles son los retos más grandes que estos sistemas tienen para ser implementados.

¿Con qué frecuencia ocurren paros no programados por causa de los motores eléctricos en su planta?

- Nunca
- Rara vez
- Ocasionalmente
- Frecuentemente
- Muy frecuente

...

Seleccione las principales causas que han provocado paros no programados en motores eléctricos (puede seleccionar más de una):

- Sobrecarga tensión/corriente
 - Fallas en rodamientos
 - Desbalanceo
 - Malas condiciones de instalación
 - Deficiente mantenimiento preventivo
 - Otra...
-

¿Con qué nivel de efectividad considera que se detectan a tiempo las fallas en los motores eléctricos en su planta?

- Totalmente inefectivo
- Poco efectivo
- Neutral
- Efectivo
- Muy efectivo

...

¿Qué tecnologías de monitoreo continuo de vibración conoce?

- Acelerómetros con salida analógica
 - Sensores inalámbricos (IoT)
 - Sistemas SCADA con módulos de vibración
 - Ninguna
 - Otra...
-

¿Cuál sería un rango de presupuesto considerable para asignar a un proyecto de monitoreo de condiciones para motores eléctricos?

- 900-1000 Dolares
- 1000-2000 Dolares
- 2000-3000 Dolares
- Otra...

...

¿Cuál considera el principal obstáculo para implementar un sistema de monitoreo continuo de vibración?

- Costo de inversión
 - Falta de personal capacitado
 - Resistencia al cambio
 - Falta de información técnica
 - No se considera prioritario
-

**¿Qué actores considera indispensables en la formulación del alcance de un proyecto como este?
(puede seleccionar más de una)**

- Gerencia de mantenimiento
- Personal técnico
- Proveedores de tecnología
- Finanzas
- Producción
- Operadores

...

¿Qué beneficios espera lograr si se implementa correctamente un sistema de este tipo? (puede seleccionar más de una)

- Menores paros no programados
- Reducción de costos de mantenimiento
- Mejor planificación del mantenimiento
- Mayor vida útil de los motores
- Cumplimiento de indicadores de producción

Figura 24. Formulario de encuesta para recopilación de información.

Fuente: (Elaboración Propia)