



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**“ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO
EN LA CONDICIÓN PARA EQUIPOS CRÍTICOS DE LA PLANTA
DE PINTURA EN LA EMPRESA CIAUTO CIA.LTDA.”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTOR:

JONATHAN ALEXANDER ALDAZ CALERO

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**“ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO
EN LA CONDICIÓN PARA EQUIPOS CRÍTICOS DE LA PLANTA
DE PINTURA EN LA EMPRESA CIAUTO CIA.LTDA.”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTOR: JONATHAN ALEXANDER ALDAZ CALERO

DIRECTOR: ING. SERGIO RAÚL VILLACRÉS PARRA

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Jonathan Alexander Aldaz Calero

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Jonathan Alexander Aldaz Calero, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 11 de Mayo de 2023

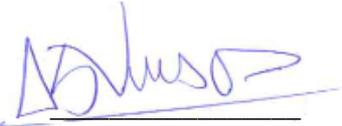


Jonathan Alexander Aldaz Calero

C.I. 180545734-6

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, “**ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONDICIÓN PARA EQUIPOS CRÍTICOS DE LA PLANTA DE PINTURA EN LA EMPRESA CIAUTO CIA.LTDA.**”, realizado por el señor: **JONATHAN ALEXANDER ALDAZ CALERO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Msc. Marco Antonio Ordoñez Viñan PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-11-05
Ing. Sergio Raúl Villacrés Parra DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-11-05
Ing. Cesar Marcelo Gallegos Londoño ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-11-05

DEDICATORIA

Dedico este presente Trabajo de Integración Curricular a Dios y a la Virgen por haberme bendecido y protegido en toda mi etapa académica; a mi padre Fidel Fabian Aldaz López y mi madre Pinina del Rocío Calero López quienes me apoyaron de forma continua e inculcaron los mejores valores para lograr mi sueño de ser ingeniero. De igual manera se la dedico a mi abuela Leonor Judith López Barrionuevo que desde el cielo me guía y a toda mi familia por parte de padre y madre que siempre estuvieron pendientes de mi proceso de formación académica y que alguna forma u otra me incentivaron a seguir adelante, por último, pero no menos importante mi novia Valeria Lizbeth Ramírez Valarezo que ha estado en mi etapa final de mis estudios apoyándome incondicionalmente en todo el proceso faltante y aconsejándome para tomar las mejores decisiones.

Jonathan.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios y a Virgen por darme salud y vida, por cuidarme en cada etapa y por las oportunidades de cumplir mis metas. A mis padres de manera especial por todo su esfuerzo por que nunca hacerme faltar nada tanto en lo físico como en lo espiritual y moral y que son mi ejemplo y motivación a seguir.

A mi querida ESPOCH y a sus ingenieros de mi carrera por haberme compartido su conocimiento en todas las áreas necesarias para mi profesión; al Ing. Sergio Villacrés e Ing. Cesar Gallegos los cuales me han guiado en este trabajo de integración curricular; a mis compañeros de aula algunos que quizá ya no estan pero que compartimos muchos buenos momentos. Finalmente, a mi novia por todo su consejo y apoyo infaltable para mi superación personal.

La mayor de las gratitudes a la empresa CIAUTO Cía. Ltda. de manera particular al Ing. Miguel Ángel Taípe por la oportunidad brindada para la realización de mis prácticas y Trabajo de Integración Curricular y al Ing. Jorge Ninacuri que me compartió su experiencia y conocimiento en el área de mantenimiento.

Jonathan.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
INDICE DE ECUACIONES	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN	xvi
SUMMARY	xvii
INTRODUCCION	1

CAPITULO I

1.	JUSTIFICACIÓN.....	3
1.1.	Delimitación del Problema.....	3
1.2.	Objetivos.....	4
1.2.1.	<i>Objetivo General</i>	4
1.2.2.	<i>Objetivos Específicos</i>	4

CAPITULO II

2.	Marco Teórico.....	5
2.1.	Definición de Mantenimiento	5
2.2.	Tipos de Mantenimiento.	5
2.2.1.	<i>Mantenimiento preventivo</i>	5
2.2.1.1.	<i>Mantenimiento Predeterminado</i>	5
2.2.1.2.	<i>Mantenimiento Basado en la Condición.</i>	5
2.2.1.3.	<i>Mantenimiento Predictivo</i>	6
2.3.	Evaluación de la Gestión del Mantenimiento.....	6
2.3.1.	<i>Cuestionario de preguntas</i>	9
2.4.	Inventario Técnico.....	23
2.5.	Análisis de Criticidad	24
2.5.1.	<i>Ecuaciones para determinar la criticidad</i>.....	25
2.6.	Análisis de Modos y Síntomas de Falla (FMSA).....	18
2.7.	Termografía Infrarroja.....	20
2.7.1.	<i>Fundamentos de física térmica</i>	21
2.7.1.1.	<i>Termodinámica</i>.....	21

2.7.1.2.	<i>Ley Cero de la Termodinámica</i>	21
2.7.1.3.	<i>Primera Ley de la Termodinámica</i>	21
2.7.1.4.	<i>Segunda Ley de la Termodinámica</i>	21
2.7.2.	<i>Transferencia de calor</i>	22
2.7.2.1.	<i>Conducción</i>	22
2.7.2.2.	<i>Convección</i>	22
2.7.2.3.	<i>Radiación</i>	23
2.7.3.	<i>Cámara termográfica</i>	23
2.7.4.	<i>La emisividad</i>	24
2.7.4.1.	<i>Material</i>	24
2.7.4.2.	<i>Estructura Superficial</i>	24
2.7.4.3.	<i>Angulo de visión</i>	24
2.7.5.	<i>Paleta de colores</i>	25
2.7.6.	<i>Temperatura aparente reflejada</i>	26
2.7.7.	<i>Distancia</i>	26
2.7.8.	<i>Humedad relativa</i>	26
2.7.9.	<i>Enfoque</i>	26
2.7.10.	<i>Escala de temperatura y sintonización térmica</i>	27
2.7.11.	<i>Otros parámetros de medición</i>	27
2.7.12.	<i>Calibración</i>	28
2.7.13.	<i>Criterio de medición</i>	28
2.8.	<i>Análisis Vibracional</i>	29
2.8.1.	<i>Vibraciones de máquinas</i>	29
2.8.1.1.	<i>Vibración Simple</i>	29
2.8.1.2.	<i>Vibración Compuesta</i>	30
2.8.1.3.	<i>La transformada rápida de Fourier (FFT)</i>	30
2.8.1.4.	<i>Sentidos de Medición</i>	31
2.8.2.	<i>Parámetros de medición de vibración</i>	32
2.8.2.1.	<i>Frecuencia (f)</i>	32
2.8.2.2.	<i>Periodo (T)</i>	32
2.8.2.3.	<i>Amplitud (A)</i>	32
2.8.2.4.	<i>Angulo de Fase (\emptyset)</i>	33
2.8.2.5.	<i>Desplazamiento</i>	33
2.8.2.6.	<i>Velocidad</i>	33
2.8.2.7.	<i>Aceleración</i>	34
2.8.3.	<i>Métodos de medición de vibraciones</i>	34

2.8.4.	<i>Tipos de vibraciones mecánicas</i>	35
2.8.4.1.	<i>Vibración por Desalineamiento</i>	35
2.8.4.2.	<i>Vibración por Desbalance</i>	36
2.8.4.3.	<i>Vibración por Fallas Eléctricas</i>	36
2.8.4.4.	<i>Vibración Por Problemas de Engranaje</i>	36
2.8.4.5.	<i>Vibración por Excentricidad</i>	36
2.8.4.6.	<i>Vibración por Lubricación Incorrecta</i>	36
2.8.4.7.	<i>Vibración por Falla de Rodamientos</i>	37
2.8.5.	<i>Criterio de medición</i>	37
2.9.	Medición de Resistencia de Aislamiento en Motores Eléctricos	38
2.9.1.	<i>Resistencia de aislamiento a tierra</i>	38
2.9.1.1.	<i>Corriente Capacitiva</i>	39
2.9.1.2.	<i>Corriente conductiva</i>	39
2.9.1.3.	<i>Corrientes de Perdidas Superficiales</i>	39
2.9.1.4.	<i>Corriente de Absorción</i>	39
2.9.2.	<i>Megado de motores</i>	40
2.9.3.	<i>Procedimiento de prueba de nivel de aislamiento</i>	41
2.9.4.	<i>Procedimiento de para obtener del factor de potencia</i>	42
2.9.4.1.	<i>Interpretación de Resultados</i>	42
2.9.5.	<i>Factores que debilitan devanados</i>	43
2.9.6.	<i>Fallas en motores eléctricos</i>	44
2.9.6.1.	<i>Falla de Rodamientos</i>	44
2.9.6.2.	<i>Falla en Estator</i>	44
2.9.7.	<i>Falla en rotor</i>	45
2.9.8.	<i>Criterio de medición</i>	45
2.10.	Métodos de Inspección Complementarios	46
2.10.1.	<i>Ultrasonido para la detección de fugas</i>	46
2.10.1.1.	<i>Técnica de detección de ultrasonido</i>	47
2.10.1.2.	<i>Aplicaciones de la Detección por Ultrasonido</i>	48
2.10.2.	<i>Medición de calidad de energía</i>	48
2.10.2.1.	<i>Sistema de Monitoreo de Calidad de Energía</i>	49
2.10.2.2.	<i>Aplicación del Medidor de Calidad de Energía</i>	49

CAPITULO III

3	Marco Metodologico	50
----------	---------------------------------	----

3.1.	Evaluación de la Gestión del Mantenimiento en la Planta de Pintura	50
3.1.1.	<i>Propósito de evaluar la gestión del mantenimiento</i>	50
3.1.2.	<i>Ponderación de criterios y subcriterios</i>	50
3.1.3.	<i>Encuestas realizadas</i>	51
3.1.4.	<i>Análisis de los resultados de la evaluación</i>	61
3.2.	Inventario técnico y codificación	64
3.3.	Fichas Técnicas	70
3.4.	Análisis de criticidad de los equipos de la planta de pintura	72
3.4.1.	<i>Categorización de los sistemas</i>	73
3.5.	Selección de Equipos Críticos	74
3.6.	Metodología del Mantenimiento centrado en la Confiabilidad	76
3.6.1.	<i>Contexto operacional de los equipos de la planta de pintura</i>	78
3.6.2.	<i>Funciones y estándares de funcionamiento del activo</i>	80
3.6.3.	<i>¿En qué aspecto no responde al cumplimiento de su función requerida (falla funcional)?</i>	83
3.6.4.	<i>¿Qué produce cada fallo funcional (modo de falla)?</i>	83
3.6.5.	<i>¿Qué sucede cuando se produce cada falla en particular (efectos)?</i>	84
3.6.6.	<i>¿De qué modo afecta cada falla (consecuencias)?</i>	85
3.6.7.	<i>¿Qué puede realizarse para predecir o prevenir cada falla?</i>	87
3.6.8.	<i>Hoja de información y decisión de los sistemas de la planta de pintura</i>	87
3.6.9.	<i>Análisis técnico y económico de tareas proactivas</i>	95
3.6.9.1.	<i>Análisis Técnico y Económico de Tareas Basadas en La Condición</i>	95
3.7.	Análisis de Modos y Síntomas de Falla (FMSA)	98
3.8.	Plan de Mantenimiento	101
3.9.	Cronograma de Mantenimiento	102
3.10.	Documentación de Mantenimiento	105
3.11.	Capacitación del Personal	107
3.11.1.	<i>Objetivo de la capacitación</i>	108
3.11.2.	<i>Estructura y desarrollo</i>	109

CAPITULO IV

4	Resultados del Proyecto Técnico	110
4.1.	Resultado de la Evaluación de la Gestión de Mantenimiento en la Planta de Pintura	110

4.2.	Resultado de la Comprobación del Inventario Técnico y Análisis de Criticidad.....	112
4.3.	Resultado del Análisis de Modo y Síntoma de Falla (FMSA).....	113
4.4.	Resultado del Plan de Mantenimiento Basado en la Condición.....	113
	CONCLUSIONES.....	115
	RECOMENDACIONES.....	117
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Calificación de Áreas Evaluadas	7
Tabla 2-2:	Criterios de Calificación.....	7
Tabla 3-2:	Áreas y Subáreas de Evaluación.....	7
Tabla 4-2:	Categoría de Mantenimiento	9
Tabla 5-2:	Modelos de Jerarquización basados en Riesgo (Críticidad de Activos).....	9
Tabla 6-2:	Proceso de Análisis de Problemas (Análisis de Causa Raíz)	11
Tabla 7-2:	Programación, planificación y optimización de planes de mantenimiento.	13
Tabla 8-2:	Procesos de asignación de recursos, soporte informático y logístico.	15
Tabla 9-2:	Procesos de control y análisis de indicadores técnicos del negocio (RAM)	17
Tabla 10-2:	Proceso de revisión y mejora continua.....	20
Tabla 11-2:	Resultados	22
Tabla 12-2:	Niveles de Jerarquía	23
Tabla 13-2:	Valores para análisis de criticidad.....	24
Tabla 14-2:	Criterios de Criticidad	18
Tabla 15-2:	Escala para la evaluación de la Gravedad SEV.....	19
Tabla 16-2:	Escala para la evaluación de la Detección DET.....	19
Tabla 17-2:	Escala para la evaluación de la Confianza en el Diagnostico DGN.....	20
Tabla 18-2:	Escala para la evaluación de la Confianza en el Pronóstico PGN.....	20
Tabla 19-2:	Clases de Aislamiento	41
Tabla 1-3:	Datos de los Encuestados.	50
Tabla 2-3:	Encuesta Realizada al Supervisor de Mantenimiento.....	51
Tabla 3-3:	Resultados	62
Tabla 4-3:	Resultados de Evaluación por Criterio.....	63
Tabla 5-3:	Codificación de los Dos Primeros Niveles	65
Tabla 6-3:	Codificación de los sistemas del área de CABINA DE PINTURA GÖTTERT	65
Tabla 7-3:	Codificación de los equipos del sistema CABINA OREODE SECADO	66
Tabla 8-3:	Inventario y Codificación de la planta de Pintura	68
Tabla 9-3:	Ficha Técnica QUEMADOR 01 SECADO RADIACION	70
Tabla 10-3:	Análisis de Criticidad de ELEVADOR DE UNIDADES INGRESO	72
Tabla 11-3:	Ejemplos de Análisis de Criticidad de la planta de pintura	72
Tabla 12-3:	Categorización de los equipos de la planta de pintura.....	74
Tabla 13-3:	Resultados del análisis de criticidad en la planta de pintura	74
Tabla 14-3:	Selección de Equipos Críticos para Mantenimiento por Condición.....	74

Tabla 15-3:	Sistemas a Realizar el RCM.....	77
Tabla 16-3:	Contexto Operacional: CORTINA AIRE INGRESO HORNO ESMALTE M2.	79
Tabla 17-3:	Definición de Funciones.....	80
Tabla 18-3:	Modos de Falla: CORTINA DE AIRE INGRESO HORNO ESMALTE M2. .	83
Tabla 19-3:	Efectos de Falla: CORTINA DE AIRE INGRESO HORNO ESMALTE M2.	84
Tabla 20-3:	Consecuencias de: CORTINA DE AIRE INGRESO HORNO ESMALTE M2.	85
Tabla 21-3:	Hoja de Información Cortina de ingreso horno esmalte M2	88
Tabla 22-3:	Hoja de Decisión Cortina de ingreso horno esmalte M2.....	94
Tabla 23-3:	Viabilidad Técnica de Medición de Resistencia de Aislamiento	95
Tabla 24-3:	Análisis Económico de Medición de Resistencia de Aislamiento.....	95
Tabla 25-3:	Viabilidad Técnica del Análisis Termográfico.....	96
Tabla 26-3:	Análisis Económico del Análisis Termográfico.....	96
Tabla 27-3:	Viabilidad Técnica del Análisis Vibracional.....	97
Tabla 28-3:	Análisis Económico del Análisis Vibracional	98
Tabla 29-3:	Equipos a Realizar el FMSA.....	99
Tabla 30-3:	Ejemplo de Análisis de Modo y Síntoma de Falla.	100
Tabla 31-3:	Plan de Mantenimiento: CORTINA AIRE INGRESO HORNO ESMALTE M2	101
Tabla 32-3:	Cronograma de Tareas hasta las 10 primeras semanas.....	103
Tabla 33-3:	Formato Para Reporte Termográfico.....	105
Tabla 34-3:	Formato para Reporte de Medición de Resistencia de Aislamiento.....	106
Tabla 1-4:	Resultados de la Evaluación de la Gestión de Mantenimiento.....	110

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2:	Transferencia de Calor.....	22
Ilustración 2-2:	Cámara Termográfica	23
Ilustración 3-2:	Paletas de Colores.....	25
Ilustración 4-2:	Criterios de Evaluación Mediante Termografía.....	29
Ilustración 5-2:	Vibración Simple	30
Ilustración 6-2:	Vibración Compuesta	30
Ilustración 7-2:	Señal en el dominio del tiempo y frecuencia	31
Ilustración 8-2:	Sentidos de Medición	32
Ilustración 9-2:	Vibración por desequilibrio de Masa.....	38
Ilustración 10-2:	Megóhmetro Industrial	40
Ilustración 11-2:	Valor Limite para la Resistencia de Aislamiento	46
Ilustración 12-2:	Componentes de un Detector Ultrasónico.	47
Ilustración 13-2:	Analizador de Energía y Calidad de Energía.....	49
Ilustración 1-3:	Diagrama radial de la Gestión del Mantenimiento	64
Ilustración 2-3:	Codificación Completa	67
Ilustración 1-4:	Resultado de la Evaluación de la Gestión del Mantenimiento.	111
Ilustración 2-4:	Resultados del inventario Técnico.....	112
Ilustración 3-4:	Resultado del Análisis de Criticidad en la Planta de Pintura.....	112
Ilustración 4-4:	Numero de Priorización de Monitoreo	113
Ilustración 5-4:	Resultado Plan de Mantenimiento	114

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-2:	Ecuación de Riesgo	25
Ecuación 2-2:	Ecuación de Gravedad.....	25
Ecuación 3-2:	Ecuación Efecto Ocupacional	25
Ecuación 4-2:	Ecuacion de Criticidad por Riesgo.....	25

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A:	ENCUESTAS REALIZADAS AL PERSONAL DE MANTENIMIENTO
ANEXO B:	CODIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE LA PLANTA DE PINTURA
ANEXO C:	CODIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS DE LA PLANTA DE PINTURA
ANEXO D:	INVENTARIO CODIFICACIÓN DE ACTIVOS DE LA PLANTA DE PINTURA
ANEXO E:	FICHAS TÉCNICAS
ANEXO F:	ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE LOS SISTEMAS
ANEXO G:	CATEGORIZACIÓN DE LOS SISTEMAS
ANEXO H:	CONTEXTO OPERACIONAL DE LOS SISTEMAS
ANEXO I:	HOJAS DE INFORMACION Y DECISION.
ANEXO J:	RESULTADOS DEL ANALISIS FMSA
ANEXO K:	PLANES DE MANTENIMIENTO
ANEXO L:	CRONOGRAMA DE TAREAS DE MANTENIMIENTO
ANEXO M:	CARTAS DE CHARLOTTE

RESUMEN

El presente Trabajo de Integración Curricular tuvo como objetivo elaborar un plan de mantenimiento basado en la condición de los equipos críticos de la planta de pintura en la empresa CIAUTO Cia.Ltda. Inició con la evaluación de la gestión del mantenimiento utilizando la técnica de evaluación de gestión de activos, fiabilidad operacional y mantenimiento (AMORMS). Posteriormente, se actualizó el inventario técnico de los activos a mantener y se aplicó el análisis de criticidad para determinar los sistemas críticos. A estos sistemas se les aplicó la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), con el fin de obtener información y documentación necesaria que ayuden a reducir o mitigar las consecuencias de falla. A partir de la información recopilada, se realizó un Análisis de Síntomas y Modos de Falla (FMSA), obteniendo el Número de Priorización de Monitoreo (MPN). Este análisis condujo a la elección del análisis de vibración como el método más importante de monitoreo. Además, mediante una encuesta realizada se determinaron los criterios de mejora dentro de la gestión del mantenimiento. Con el análisis de criticidad, se identificaron 58 equipos de alta criticidad. De estos, se seleccionaron 40 sistemas para ser sometidos a un monitoreo de condición. Como resultado, se generaron 231 tareas de mantenimiento basado en condición, con el objetivo de mejorar la planificación, programación y ejecución de tareas de mantenimiento preventivo, y consolidar una alta disponibilidad. Se recomienda la adquisición de un software de logística de mantenimiento para optimizar la gestión de la información. En conclusión, un plan de mantenimiento basado en la condición ayuda a lograr los objetivos de la organización y mejora la eficiencia de la gestión del mantenimiento.

Palabras clave: <PLAN DE MANTENIMIENTO> <EQUIPOS CRÍTICOS> <GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO> <ANÁLISIS DE CRITICIDAD> <MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM)> <ANÁLISIS DE SINTOMAS Y MODOS DE FALLA (FMSA)> <MONITOREO DE CONDICIÓN>.

1306-DBRA-UPT-2023



SUMMARY

This Curricular Integration Project aims to develop a maintenance plan based on the condition of critical equipment in the painting plant of CIAUTO Cia.Ltda. It began with the evaluation of maintenance management using the Asset Management, Operational Reliability, and Maintenance Evaluation technique (AMORMS). Subsequently, the technical inventory of the assets to be maintained was updated, and a critical analysis was applied to determine the critical systems. The reliability-centered maintenance (RCM) methodology was applied to these systems to obtain the necessary information and documentation and help reduce or mitigate the consequences of failure. A Failure Modes and Symptoms Analysis (FMSA) was conducted based on the collected data, obtaining the Monitoring Priority Number (MPN). This analysis led to the selection of vibration analysis as the most critical monitoring method. Additionally, improvement criteria within the maintenance management were determined through a survey. By conducting the criticality analysis, 58 highly critical equipment were identified. Out of these, 40 systems were selected for condition monitoring. As a result, 231 condition-based maintenance tasks were generated to improve the planning, scheduling, and execution of preventive maintenance tasks and ensure high availability. It is recommended to acquire maintenance logistics software to optimize information management. In conclusion, a condition-based maintenance plan helps achieve organizational objectives and improves maintenance management efficiency.

Keywords: <MAINTENANCE PLAN> <CRITICAL EQUIPMENT> <MAINTENANCE MANAGEMENT EVALUATION> <CRITICALITY ANALYSIS> <RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE (RCM) > <FAILURE MODES AND SYMPTOMS ANALYSIS (FMSA)> <CONDITION MONITORING>



Lic. Sandra Leticia Guijarro Paguay

C.I.: 0603366113

INTRODUCCION

Según la empresa CIAUTO Cia. Ltda, a partir del 2010 es el distribuidor autorizado de la marca Great Wall Motors, por la iniciativa del empresario Hernán Vásconez gerente general de AMBACAR, la cual hasta la actualidad ha cumplido con éxito las exigencias de sus consumidores, al estar empeñados en efectuar la norma ISO 9001:2015, misma que permite conservar un relevante índice de calidad, integridad y efectividad del sistema de gestión, además, de la mejora continua. En el 2016 inauguro la planta de pintura más moderna del país. En el 2018 se construyó un área de logística y producción con líneas de soldadura de carrocerías para camionetas y baldes para las mismas. En ese momento Great Wall Motors se convertiría en la marca N.4 en el mercado ecuatoriano. Con el objetivo de seguir impulsando la industria en el 2019 hasta la actualidad se tiene una línea de producción para fabricar VAN de la marca Shineray («CIAUTO» 2021).

La empresa cuenta con un departamento de mantenimiento que se dedica al óptimo funcionamiento de los equipos La y máquinas, motivo por el cual se implementara un plan de mantenimiento basado en la condición, para evitar las consecuencias de falla en dichos equipos mediante un diagnóstico, análisis y así evitar tareas imprevistas de mantenimiento correctivo.

En la norma (UNE EN 13306 2018) el mantenimiento basado en la condición es un tipo de mantenimiento preventivo que incluye una combinación de la evaluación de las condiciones físicas, análisis y las posibles acciones de mantenimiento posteriores, donde la evaluación de la condición se puede realizar mediante la observación del operador y/o inspección, y/o pruebas, y/o monitorización de la condición de los parámetros del sistema, la cual es realizada de acuerdo a un cronograma , bajo petición o de forma continua.

Los equipos de detección de fallas permiten la localización y caracterización del mal funcionamiento de un elemento o componente, en la industria su principal aplicación se realiza en fallas eléctricas, electrónicas y mecánicas. Su objetivo es evitar tiempos de indisponibilidad y pérdidas financieras, por lo cual es vital tener con un método eficiente para garantizar la calidad de los productos. Se ha difundido la utilización de termografía infrarroja (TI) para el diagnóstico y monitoreo sin contacto, ya sea de materiales, componentes o maquinas; lo que posibilita la observación de la distribución de temperatura con el objetivo de identificar secciones donde existen potenciales problemas.(Espinoza y Femat 2021)

De acuerdo con (Zapana 2017) las consecuencias de los niveles de vibración exagerados pueden variar desde perturbaciones en los procesos realizados por los equipos, debido a que en el equipo es donde se origina la vibración, lo que lleva a operaciones de mantenimientos muy frecuentes y costosos. Donde la medición de vibración en los equipos que consiste en evaluar el nivel general de vibraciones. Que nos da información sobre el estado general del equipo, ya que consiste en la medición de la medida de la amplitud de la vibración originada por la combinación de todos los mecanismos de excitación cuya frecuencia característica se encuentra dentro de un rango de análisis del equipo de medición.

CAPITULO I

1. JUSTIFICACIÓN

El personal de mantenimiento en la actualidad pretende la utilización de equipos de detección de fallas para el monitoreo de la condición de los elementos de la planta de pintura puesto que se han venido utilizando para el diagnóstico en tareas imprevistas de mantenimiento correctivo.

Es necesario que las máquinas que están en producción en la planta de pintura de la empresa CIAUTO Cia.Ltda se encuentren realizando su función requerida en un tiempo requerido, para lo cual se ha pensado conveniente la realización de un monitoreo de la condición en base al análisis termográfico y/o vibracional en busca de fallas potenciales que indicaran de una manera precisa la tendencia al deterioro de la funcionalidad de los elementos y por ende efectuar las correcciones que sean necesarias hasta alcanzar una disponibilidad óptima de los sistemas. Por ende, se cree adecuado la elaboración del plan de mantenimiento basado en la condición que permita conocer las diferentes consecuencias de falla como paradas inesperadas, grandes costos de mantenimiento y daños de los elementos en los sistemas que se pueden reducir por la detección de fallas incipientes antes que se transformen en fallas graves que ocasionen la interrupción en la producción de la empresa.

La inspección termográfica industrial nos permitirá conocer los gradientes de temperaturas a lo largo de la superficie y elementos para poder saber si existen sobrecalentamiento en las máquinas o elementos, ejes sobrecalentados, conexiones eléctricas sueltas o deterioradas, que podrían desencadenar en el paro de producción.

La medición de vibración debe realizarse cuando la máquina ha alcanzado sus condiciones nominales o específicas de funcionamiento, donde para fines de análisis de severidad de vibración se consideran aquellos valores máximos medidos como representativos de entre todas las velocidades posibles de operación.

1.1 Delimitación del Problema

Según (Bucay Valdiviezo y Carrillo Albán 2018) dentro de la empresa se producen tiempos de indisponibilidad como parte de las consecuencias de falla en sus equipos, donde se ha podido apreciar que la falta de disponibilidad de las etapas de un proceso, desencadena en la indisponibilidad total de la planta puesto que es un proceso en serie. La disponibilidad total de

la planta es de 86,88%, un valor que es muy alto con respecto al valor en anteriores años, por lo que se resume en que el incremento de la disponibilidad de las etapas de un proceso genera un incremento en la disponibilidad total de la planta o proceso.

En concordancia a lo expuesto anteriormente, se ha decidido la creación de un plan de mantenimiento basado en la condición de sus equipos mediante la utilización de equipos de detección de fallas para los equipos de pintura, donde en su mayoría trabajan las 24 horas del día durante los 365 días del año, y donde la hora por paro de producción es estima un costo de 80.000 dólares.

A través de la inspección termográfica y/o vibracional se pretende el aumento de disponibilidad de los sistemas, reduciendo modos de fallo que puedan provocar paradas imprevistas. Como resultado se observará la reducción del indicador de indisponibilidad. En base a esto se considera significativo contar con un sistema optimo que permita mantener, y garantizar la función requerida dentro de los procesos productivos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Elaborar un plan de mantenimiento basado en la condición para equipos críticos de la planta de pintura de la empresa CIAUTO Cia.Ltda.

1.2.2 Objetivos Específicos

Diagnosticar la condición actual de la gestión de mantenimiento.

Establecer las tareas basadas en la condición susceptibles a realizar en las máquinas.

Realizar el plan de mantenimiento basado en la condición con los recursos de mantenimiento actual y con actividades nuevas propuestas.

Capacitación del personal de mantenimiento en la nueva metodología.

CAPITULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Definición de Mantenimiento

El mantenimiento es la combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión ejecutadas durante el ciclo de vida de un elemento, llevadas a cabo para conservarlo o devolverlo a un estado donde pueda desempeñar su función requerida (UNE EN 13306 2018).

2.2 Tipos de Mantenimiento

Existen diferentes tipos de mantenimiento que se pueden aplicar a equipos y sistemas con el objetivo de maximizar su vida útil y reducir los costos de reparación y reemplazo. Entre ellos se encuentran el mantenimiento correctivo, el cual se lleva a cabo después de que ocurre una falla o avería; y el mantenimiento preventivo, el cual se realiza de manera planificada para evitar fallas y aumentar la vida útil del equipo. Este último tipo de mantenimiento se enfoca en la prevención de fallas y puede ser basado en el tiempo, en la utilización o en la condición del equipo. En este documento nos enfocaremos específicamente en el mantenimiento preventivo basado en la condición, el cual se realiza en base a la medición y análisis de indicadores de desempeño del equipo, para determinar el momento óptimo de realizar el mantenimiento y evitar así costosas reparaciones o reemplazos.

2.2.1 *Mantenimiento Preventivo*

Mantenimiento efectuado para evaluar y/o mitigar la degradación y reducir la probabilidad de fallo de un elemento.

2.2.1.1 *Mantenimiento Predeterminado*

Mantenimiento que se ejecuta de acuerdo a intervalos de tiempo específicos o con un numero definido de unidades de funcionamiento, pero sin análisis previo de la condición del elemento.

2.2.1.2 *Mantenimiento Basado en la Condición*

Mantenimiento preventivo que incluye una combinación de la evaluación de las condiciones

físicas, el análisis y las posibles actividades de mantenimiento posteriores. Donde la evaluación de la condición se puede realizar mediante la observación del operador y/o inspección, y/o pruebas, y/o monitorización de la condición de los parámetros del sistema, ejecutada de acuerdo a un cronograma, bajo petición o de forma continua.

2.2.1.3 Mantenimiento Predictivo

Mantenimiento basado en la condición que se realiza basado en una predicción obtenida del análisis repetido o de características conocida y de la evaluación de los parámetros importantes de la degradación del elemento (UNE EN 13306 2018).

2.3 Evaluación de la Gestión del Mantenimiento

La efectividad de la gestión del mantenimiento solo puede ser evaluada y medida por un análisis exhaustivo de una amplia variedad de factores que, en su composición, determina el aporte del mantenimiento al sistema de producción. Este procedimiento de evaluación puede definirse como la revisión sistemática de una actividad o de una situación para evaluar el cumplimiento de reglas o criterios objetivos a los cuales deben someterse. Los resultados de las técnicas de evaluación aplicadas al diagnóstico de la efectividad del mantenimiento, deben ser de ayuda o mejora para la rentabilidad del sistema de producción y a disminuir la incertidumbre en la toma de decisiones respecto al proceso de gestión del mantenimiento (Parra y Crespo 2017).

Para evaluar la gestión del mantenimiento dentro de la planta de pintura se aplicará la técnica de evaluación AMORMS (Asset Management, Operational, Reliability & Maintenance Survey) o evaluación de gestión de Activos, Fiabilidad operacional y mantenimiento. Permite la evaluación de 8 áreas del modelo de gestión del mantenimiento. Este proceso debe ser ejecutado desde los niveles de supervisores, ingenieros, superintendentes entre otros.

El proceso de análisis de las 8 áreas a diagnosticar se realiza en base a una guía de cuestionario de preguntas (Marquez et al. 2020).

Según (Chacón Llanos, Peña Linares y Turcios Bermudez 2020) el proceso de análisis de las 8 áreas a diagnosticar se ejecuta a partir de un cuestionario de 150 preguntas. Donde cada participante evaluara las preguntas propuestas, asignando puntuaciones que irán desde 1 al 5, en función de la siguiente escala:

Tabla 1-2: Calificación de Áreas Evaluadas

Escala	Interpretación de Escala
1	Cuando la situación es no aplicable
2	Para situaciones no disponibles
3	Poca Implantación
4	Media Implantación
5	Buena implantación y avanzada

Fuente: Chacón Llanos, Peña Linares y Turcios Bermúdez, 2020

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

El valor promedio del conjunto de preguntas para cada aspecto global (8) considerado se presenta en un gráfico de radar acompañado de una calificación descriptiva. Así se enfocara la atención en aquellos aspectos de menor calificación y se tendrá una guía para comenzar a estudiar el detalle de la razón por la cual se da esta situación (Chacón Llanos, Peña Linares y Turcios Bermudez 2020).

Tabla 2-2: Criterios de Calificación

Rangos	Descripción
$1,0 \leq \text{puntaje} \leq 2,6$	Aspecto con Deficiencias
$2,6 \leq \text{puntaje} \leq 4,5$	Aspecto Regular
$4,5 \leq \text{puntaje} \leq 5,0$	Aspecto bien Implementado.

Fuente: Chacón Llanos, Peña Linares y Turcios Bermúdez, 2020

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

El modelo seleccionado se evaluó y se adecuo a las necesidades de la planta de pintura, donde algunas áreas no se consideran necesarios medir, puesto que incluir todas las áreas y subáreas en la evaluación podría generar imparcialidad dentro de las respuestas. A continuación, se muestran las áreas y subáreas de dicha evaluación elaborada y ajustada a la realidad de la empresa:

Tabla 3-2: Áreas y Subáreas de Evaluación

Áreas.	Subáreas.
Modelos de Jerarquización basados en Riesgo (Críticidad de	Gestión de Riesgos Priorización de equipos

Activos)	Gestión de los procesos de Seguridad, Salud y Ambiente
Proceso de Análisis de Problemas (Análisis de Causa Raíz)	Gestión de las fallas Equipos multidisciplinarios de optimización Métodos de Análisis de Fallas
Procesos de programación, planificación y optimización de planes de mantenimiento, inspección y operaciones	Programación y planificación Procedimientos e instructivos de trabajos Planes de Mantenimiento por Condición (técnicas predictivas) Técnicas de optimización en las áreas de Confiabilidad, Mantenimiento y Operaciones
Procesos de asignación de recursos, soporte informático y soporte logístico a los procesos de Mantenimiento y Confiabilidad	Sistema de soporte informático de mantenimiento (software de mantenimiento) Sistema de control de documentos Manejo de repuestos, materiales (logística) Procesos de administración de las bodegas e inventarios
Procesos de control y análisis de indicadores técnicos del negocio (RAM)	Indicadores de desempeño técnico Programas de revisión de los planes de mantenimiento Procesos de control de las operaciones Control de contratistas Gestión de talleres
Proceso de revisión y mejora continua	Control de Calidad Programas de mejora continua Programas de desarrollo de personal

Fuente: Núñez Mora, 2018

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

Al finalizar las entrevistas, las puntuaciones asignadas por cada participante se totalizan por áreas y se dividen entre la cantidad de preguntas por dicha área y la cantidad de participantes, de este modo se obtiene una puntuación promedio por pregunta para cada una de las áreas evaluadas. Los resultados se muestran en un diagrama tipo radar donde el valor mínimo que se puede obtener es 1 y el máximo 5. Finalmente, se estima la categoría en la que se encuentra el área de mantenimiento en función del puntaje total obtenido y de los rangos (Núñez Mora 2018).

Tabla 4-2: Categoría de Mantenimiento

Rango	Clasificación (%)	Categoría
555-500	100-90%	Excelencia del Mantenimiento
499-390	89-70%	Muy Buenas Prácticas de Mantenimiento
389-283	69-51%	Mantenimiento estándar Promedio
282-178	50-32%	Mantenimiento debajo del Promedio
<172	<31%	Mantenimiento muy deficiente

Fuente: Crespo y Parra, 2017

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

2.3.1 Cuestionario de Preguntas

La evaluación no es solamente completar el formulario de preguntas, sino que se debe aprovechar la oportunidad para realizar una serie de entrevistas con un número significativo del personal de mantenimiento y conjuntamente con personas que reciben atención o interactúan con el departamento de mantenimiento.

Tabla 5-2: Modelos de Jerarquización basados en Riesgo (Criticidad de Activos)

Gestión de Riesgos	1	2	3	4	5	Observaciones
¿Está definida de forma clara el procedimiento de gestión de Riesgos alineada con el modelo de Gestión de Activos?						
¿Existe un procedimiento de gestión para el control del riesgo en las áreas de mantenimiento y confiabilidad?						
¿Existe un procedimiento eficiente para comunicar los diferentes niveles de riesgos que están expuestos los integrantes de las áreas de mantenimiento y confiabilidad?						
Los riesgos en el proceso de mantenimiento y confiabilidad, ¿son analizados, revisados y actualizados en forma regular?						
¿La organización utiliza modelos de						

gestión de riesgo como base para la toma de decisiones en las áreas de mantenimiento y confiabilidad?						
Priorización de equipos	1	2	3	4	5	Observaciones
La organización ha desarrollado un modelo de criticidad de equipos basados en Riesgo						
El modelo de criticidad prioriza los equipos alineándolos con los objetivos del negocio						
La información utilizada para estimar la frecuencia y la consecuencia de las fallas es tomada de una fuente confiable y veraz						
El modelo de criticidad de equipos es un modelo estándar para toda la organización y es utilizado en todas las áreas productivas						
Los resultados de jerarquización de equipos se utilizan para tomar decisiones de mejora en la operación y mantenimiento de los activos						
Gestión de los procesos de Seguridad, Salud y Ambiente	1	2	3	4	5	Observaciones
¿Existe un plan de emergencia y contingencia en la organización?						
¿Se ha comunicado al personal sobre las potenciales consecuencias, sobre los eventos que pueden afectar seguridad, la salud y el ambiente?						
¿Se tiene desarrollada un procedimiento de emergencia y seguridad bien documentado y comunicado?						
¿El plan de emergencia y seguridad es revisado, mejorado y actualizado de forma continua?						
¿El plan de emergencia están certificados						

por organizaciones locales e internacionales reconocidas?						
Puntuación Total Criterio						

Fuente: Crespo y Parra, 2017

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

Tabla 6-2: Proceso de Análisis de Problemas (Análisis de Causa Raíz)

Gestión de las fallas	1	2	3	4	5	Observaciones
¿Existe un procedimiento estándar para el control de las fallas de los activos en toda la organización?						
¿El procedimiento de análisis de fallas es de fácil aplicación y es aceptado por toda la organización?						
¿Existe un proceso eficiente sobre la información recopilada en los análisis de fallas (proceso eficiente de documentación y registro)?						
¿El proceso de análisis de fallas es llevado a cabo por personal técnico, que permite validar con hechos reales las causas encontradas?						
¿El proceso de gestión de fallas tiene indicadores previamente definidos y analizados, que permitan medir la eficiencia y la efectividad de las recomendaciones emitidas (el proceso de análisis de fallas está incorporado a un proceso de mejoramiento continuo)?						
Equipos multidisciplinarios de optimización	1	2	3	4	5	Observaciones
¿Los trabajadores están bien organizados y motivados para el logro de los objetivos del negocio?						
¿El ambiente de trabajo es propicio para realizar análisis que promuevan cambios y						

procesos de mejora?						
¿Existe un proceso eficiente de comunicación entre la gerencia de la organización y el resto de los niveles administrativos?						
¿La estructura organizacional de los trabajadores está orientada a soportar el proceso de gestión de activos?						
¿Existe un proceso estándar que promueva a los trabajadores a participar en equipos multidisciplinarios?						
Métodos de Análisis de Fallas	1	2	3	4	5	Observaciones
¿La organización utiliza un método estándar de análisis de fallas para toda la organización?						
¿La metodología de Análisis de Fallas le permite identificar una oportunidad de mejora en función de nivel de Riesgo provocado por los modos de fallas?						
¿La metodología de Análisis de Fallas le ha permitido validar la experiencia de hechos reales?						
¿Las recomendaciones obtenidas de los análisis de fallas, son seleccionadas a partir de un procedimiento Costo Riesgo Beneficio?						
¿Se evalúan y auditan los resultados reales de las acciones recomendadas una vez finalizados los análisis de fallas?						
Puntuación Total Criterio						

Fuente: Crespo y Parra, 2017

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

Tabla 7-2: Programación, planificación y optimización de planes de mantenimiento.

Programación y planificación	1	2	3	4	5	Observaciones
Cuenta con una estrategia a nivel gerencial de optimización del mantenimiento						
¿Existe un proceso detallado y eficiente de programación y planificación del mantenimiento?						
¿Se cumplen de forma eficiente las Estrategias de Planificación y Programación para el mantenimiento de los activos?						
¿Las estrategias de planificación y programación del mantenimiento están alineadas con el plan de negocio?						
¿Las estrategias de planificación y programación del mantenimiento se analizan y se auditan los resultados?						
Procedimientos e instructivos de trabajos	1	2	3	4	5	Observaciones
¿Existe una estructura que permita documentar los procedimientos e instructivos de trabajo?						
¿Existe un proceso general de referencia y soporte para generar documentación sobre los procedimientos e instructivos de trabajo?						
¿Existe un sistema de control documental alineado con algún estándar local o internacional?						
¿Los procedimientos de trabajo son utilizados activamente por toda la fuerza de trabajo?						
¿Las mejoras a los procedimientos de trabajo son realizadas e incluidas en los planes de adiestramiento del personal?						

Planes de Mantenimiento por Condición (técnicas predictivas)	1	2	3	4	5	Observaciones
¿Existe un proceso eficiente de gestión del mantenimiento por condición?						
¿Se realizan actividades de mantenimiento por condición de forma organizada y continua?						
¿Existe un plan de monitoreo de condiciones basado en el nivel de criticidad por Riesgo de los activos de la organización?						
¿El monitoreo de condiciones es parte de una estrategia de optimización del mantenimiento?						
¿El proceso de monitoreo de condiciones es auditado y se le hace seguimiento a la efectividad de las recomendaciones emitidas?						
Técnicas de optimización en las áreas de Confiabilidad, Mantenimiento y Operaciones	1	2	3	4	5	Observaciones
¿La organización ha desarrollado un modelo guía de implantación de las metodologías de Confiabilidad y Mantenimiento, orientado a cumplir con los objetivos del negocio?						
¿La organización cuenta con un personal de soporte encargado de administrar y facilitar las herramientas de Confiabilidad y Mantenimiento?						
¿Se aplican de forma organizada y constante los diferentes métodos de Confiabilidad y Mantenimiento?						
¿Se miden, auditan y confirman los resultados de las aplicaciones de los métodos de Confiabilidad y						

Mantenimiento?						
¿Se revisan y actualizan los métodos de Confiabilidad y Mantenimiento (se toman en cuenta las novedades, actualizaciones y desarrollo de nuevos métodos de optimización)?						
Puntuación Total Criterio						

Fuente: Crespo y Parra, 2017

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

Tabla 8-2: Procesos de asignación de recursos, soporte informático y logístico.

Sistema de soporte informático de mantenimiento (software mantenimiento)	1	2	3	4	5	Observaciones.
¿Existe un sistema eficiente de soporte informático para el mantenimiento?						
¿El diseño de las órdenes de trabajo dentro del software es adecuado y se utiliza de forma eficiente?						
¿El sistema de órdenes de trabajo ayuda a mejorar los procesos de programación y planificación del mantenimiento?						
¿El software de mantenimiento es utilizado en forma extensa por toda la organización, y se registran todos los tipos de paros (correctivos, preventivos, por condición, detenciones mayores, seguimiento de componentes de fallas, etc.)?						
¿El sistema de soporte informático de mantenimiento genera de forma automática indicadores técnicos y económicos, los cuáles son ampliamente usados por toda la organización para mejorar la toma de decisiones?						
Sistema de control de documentos	1	2	3	4	5	Observaciones.
Existe un sistema general de						

administración de documentos técnicos de mantenimiento (planos, P&D, flujogramas de procesos, manual de operaciones, etc.)						
¿Existe un sistema de administración de documentos que integre la información del mantenimiento con las otras áreas de la organización?						
¿Existe un sistema de administración de documentos que cumpla con alguna norma o estándar de calidad?						
¿El sistema de administración de la documentación está totalmente implementado de forma informática?						
¿El sistema de administración de documentos, está en línea para toda la organización y se usa de forma amplia y eficiente?						
Manejo de repuestos, materiales (logística)	1	2	3	4	5	Observaciones.
¿El proceso general de abastecimiento y logística de repuestos es eficiente?						
¿El proceso de abastecimiento y planificación de materiales es organizado y tiene un flujo ordenado y bien controlado?						
¿El proceso de manejo y planificación de materiales está desarrollado para toda la planta?						
¿El proceso de abastecimiento y planificación de materiales está integrado de forma eficiente con el área de mantenimiento?						
¿EL proceso de Abastecimiento y planificación de materiales tiene indicadores de optimización integrados a nivel de los objetivos del negocio que son						

evaluados, analizados, utilizados y auditados de forma continua?						
Procesos de administración de las bodegas e inventarios	1	2	3	4	5	Observaciones.
¿La administración del inventario es llevada a cabo por personal indicado para esta función?						
¿La administración del inventario es llevada y controlada por una herramienta de soporte informática?						
¿El proceso de administración de la bodega y manejo de inventarios, incluye indicadores de optimización de repuestos utilizando técnicas de análisis de Riesgo?						
¿El software de administración de los repuestos y materiales genera de forma automática, indicadores de análisis de inventarios?						
¿Los procesos de administración de abastecimiento y manejo de inventarios están orientados a lograr los objetivos del proceso de Gestión de Activos?						
Puntuación Total Criterio						

Fuente: Crespo y Parra, 2017

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

Tabla 9-2: Procesos de control y análisis de indicadores técnicos del negocio (RAM)

Indicadores de desempeño técnico	1	2	3	4	5	Observaciones
¿Existe un proceso eficiente de registro de la información histórica de los equipos?						
¿Se realizan de forma eficiente análisis de mejora sobre la información histórica de fallas y operación de los equipos?						
¿Existe un programa estándar de análisis de indicadores implementado de forma eficiente?						

¿Se realizan análisis sistemáticos de fallas a partir de indicadores de riesgo previamente definidos?						
¿La organización evalúa y toma decisiones a partir de indicadores de mejora en confiabilidad y mantenibilidad de forma eficiente?						
Programas de revisión de los planes de mantenimiento	1	2	3	4	5	Observaciones
¿Se realizan análisis de mejora sobre los diferentes tipos de mantenimientos ejecutados?						
¿Se toman acciones sobre los análisis realizados a los diferentes tipos de mantenimientos ejecutados?						
¿El análisis de los mantenimientos ejecutados, es realizado de forma eficiente y sistemática?						
¿Las recomendaciones realizadas a partir del análisis de los mantenimientos ejecutados, son tomadas en cuenta y se auditan los resultados de las acciones emitidas?						
¿Se realiza algún proceso de benchmarking en relación con los indicadores de mantenimiento y confiabilidad?						
Procesos de control de las operaciones	1	2	3	4	5	Observaciones
¿Existe un procedimiento dónde se detallen los procesos productivos?						
¿Se relaciona las estrategias productivas con las estrategias del mantenimiento?						
¿Están vinculadas de forma eficiente las metas productivas con la planificación de las actividades de mantenimiento?						
¿Están integradas las estrategias de						

producción con los procesos de programación y planificación del mantenimiento?						
Control de contratistas	1	2	3	4	5	Observaciones
¿El uso de contratistas es eficiente y se tienen modelos de contratos establecidos por áreas y tipos de trabajo?						
¿Los contratos de corto y largo plazo están totalmente estandarizados?						
¿Existe un proceso de validación y evaluación de las credenciales de las contratistas que participen en los diferentes procesos de mantenimiento?						
¿Existen un proceso eficiente de evaluación del desempeño real de los contratistas, que sea constantemente monitoreado y que permita tomar acciones sobre las desviaciones encontradas?						
¿Los contratos de negocios establecidos con los contratistas están totalmente alineados en términos de estrategias con los objetivos y metas del negocio?						
Gestión de talleres (externos)	1	2	3	4	5	Observaciones
La organización cuenta con un servicio eficiente: ¿propio o contratado de talleres para actividades de mantenimiento?						
¿Existe un proceso interno que permita evaluar el desempeño de los servicios prestados por los talleres externos?						
¿Existe un modelo de contrato estándar desarrollado para todos los servicios solicitados a los talleres externos?						
¿Existe un procedimiento específico que permita evaluar los tiempos de entrega, los costos y la calidad de ejecución de los servicios ofrecidos por los talleres						

externos?						
¿Existe un modelo de evaluación y benchmarking certificado bajo una norma local o internacional, que permita evaluar los Servicios ofrecidos por los talleres externos?						
Puntuación Total Criterio						

Fuente: Crespo y Parra, 2017

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

Tabla 10-2: Proceso de revisión y mejora continua

Control de Calidad	1	2	3	4	5	Observaciones
¿Existe un modelo eficiente de gestión de la calidad dentro del área de mantenimiento?						
¿Existe el conocimiento de que la calidad contribuye a la mejora del desempeño de los procesos de mantenimiento y confiabilidad?						
¿La organización del mantenimiento está alineada con los programas de mejoramiento de la calidad?						
¿La organización de mantenimiento ha implementado según alguna norma relacionada con la calidad?						
¿La organización de mantenimiento ha sido acreditada en alguna norma relacionada con la calidad?						
¿La empresa está acreditada en alguna norma de la calidad y se ha incorporado el proceso de gestión de la calidad dentro del mantenimiento?						
Programas de mejora continua	1	2	3	4	5	Observaciones
¿Las mejoras en los procesos de mantenimiento y confiabilidad son llevadas de forma ordenada y actualizadas						

bajo un modelo específico?						
¿Existe un marco de referencia para incluir mejoras en los procesos de mantenimiento y confiabilidad?						
¿Existe un programa de seguimiento a las propuestas de mejoras en las áreas de mantenimiento y confiabilidad?						
¿El proceso de Mejora continua es una práctica común en las áreas de mantenimiento y confiabilidad?						
¿El proceso de mejora continua es una práctica en todos los procesos que conforman el proceso industrial analizado?						
Programas de desarrollo de personal	1	2	3	4	5	Observaciones
¿La organización cuenta con un departamento que se encargue del proceso de adiestramiento formal al personal de toda la organización?						
¿Se provee de adiestramiento eficiente al personal nuevo de la organización?						
¿Existe un plan de entrenamiento específico y ajustado a todo el ciclo de vida del trabajador?						
¿El programa de adiestramiento de todo el personal está adecuado al puesto de trabajo y está orientado a lograr los objetivos del negocio?						
¿El programa de entrenamiento incluye formación en las áreas técnicas modernas de mantenimiento, confiabilidad y gestión de activos?						
Puntuación Total Criterio						

Fuente: Crespo y Parra, 2017

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

Tabla 11-2: Resultados

Total, de Resultados de Evaluación		Puntaje Total por Áreas de cada Encuesta						Total, Puntuaciones por Área	Límite de Referencia	Puntaje Máximo
		1	2	3	4	5	6			
Áreas	Modelos de Jerarquización basados en Riesgo (Críticidad de Activos)									
	Proceso de Análisis de Problemas (Análisis de Causa Raíz)									
	Procesos de programación, planificación y optimización de planes de mantenimiento, inspección y operaciones									
	Procesos de asignación de recursos, soporte informático y soporte logístico a los procesos de Mantenimiento y Confiabilidad									
	Procesos de control y análisis de indicadores técnicos del negocio (RAM)									

2.5 Análisis de Criticidad

El análisis de criticidad se realizó mediante el método semicuantitativo donde la criticidad se dará por el riesgo (CTR). Según (Márquez, Ajuech y Santiago 2017) en aspectos para establecer la criticidad de los equipos se establecen criterios para determinar qué tan crítico es cada uno de los equipos, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

Impacto Operacional (IO)

Costo de Reparación (CR)

Equipo de Respaldo (ER)

Tiempo promedio para Reparar (TPPR)

Índice de seguridad (IS)

Índice ambiental (IA)

Frecuencia de Ocurrencia (FO)

Se establecen los valores fijados para establecer el criterio que se asigna a cada uno de los equipos.

Tabla 13-2: Valores para análisis de criticidad

Impacto Operacional (IO)		Costo Reparación (CR)		Equipo de Respaldo (ER)	
No afecta	0,75	Menos de \$ 500	0,25	Con Equipo de Respaldo	0,25
Afecta un 25%	1,5	Entre \$ 500 - \$ 3000	0,5	Equipo respaldo compartido	1,5
Afecta un 50%	2,5	Entre \$ 3000 - \$ 8000	0,75	Sin equipo de respaldo	2
Afecta un 75% o mas	3	Mayor a \$ 8000	1	-	
Tiempo promedio reparar (TPPR)		Índice de Seguridad (IS)		Índice Ambiental (IA)	
Menos de 1 hora	0,25	Sin daño personal/equipo	0,25	Sin impacto ambiental	0
Entre 1 – 5 horas	0,5	Heridas Leves	0,5	Poco daño ambiente/terceros	1
Entre 5 – 20 horas	0,75	Heridas Graves	0,75	Perceptible afecta ambiente	1,5
Mayor a 20 horas	1	Muerte	1	Daño ambiental	2
Frecuencia Ocurrencia (FO)					
No hay registro	1				
Una vez cada tres años	5				
Una vez cada año	6				
Dos veces cada año	7				

Tres veces cada año	8
Cuatro veces cada año	9
Cinco veces cada año	10

Fuente: Márquez, Ajeuch y Santiago, 2027

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

2.5.1 Ecuaciones para determinar la criticidad

Se muestra la evaluación de criticidad de equipos por el Sistema de Administración de Calidad ISO 9000 y Ambiental ISO 1400 donde se encuentran las relaciones para obtener los equipos más críticos a los cuales es recomendable incluir en un programa de mantenimiento predictivo.

$$\text{Riesgo} = \text{Gravedad} \times \text{Ocurrencia} \quad (1)$$

Donde se tiene que la Gravedad (G), es igual a:

$$G = EO + CR + IS + IA \quad (2)$$

Se encuentra que Efecto Operacional (EO) es igual a:

$$EO = IO \times ER \times TPRR \quad (3)$$

Reemplazando (2) y (3) en (1) se obtiene:

$$\text{Riesgo} = [(IO \times ER \times TPRR) + CR + IS + IA] \times O \quad (4)$$

Donde:

EO: Efecto Operacional

CR: Costo de Reparación

IS: Impacto Seguridad

IA: Impacto Ambiental

IO: Impacto Operacional

ER: Equipo de Respaldo

TPRR: Tiempo Promedio Para Reparar

FO: Frecuencia de Ocurrencia

Los criterios para determinar la criticidad de los equipos serán los siguientes:

Tabla 14-2: Criterios de Criticidad

Criterio	Criticidad
0 - 24	Baja Criticidad
24,1 - 40	Media Criticidad
40.1 - 100	Alta Criticidad

Fuente: Márquez, Ajeuch y Santiago, 2027

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

2.6 Análisis de Modos y Síntomas de Falla (FMSA)

El análisis de síntomas y modos de falla (FMSA) se introdujo en la ISO 13379-1 para identificar los síntomas críticos y los descriptores de los mecanismos de falla, el FMSA se utiliza para estimar la prioridad de monitoreo y esto ayuda a determinar las especificaciones de monitoreo crítico. La norma ISO 13379-1 e ISO 17359 estipulan la implementación del mantenimiento basado en la condición (CBM), mostrando como monitorear la propagación de falla a través del modo de falla y el análisis de síntomas (FMSA). El FMSA considera la detección de los modos de falla asociados con un sistema conectando la ocurrencia de modos de falla a los síntomas monitoreables específicos usando tecnología de sensores (Nordal y El-Thalji 2021).

La idea es que después de realizar el FMSA, el proceso de diseño continúe con la asignación de un sistema de medición o monitoreo para cada síntoma. El FMSA maneja principalmente la parte de detección del mantenimiento predictivo y no la parte de la predicción (El-Thalji 2019).

El FMSA es esencialmente una modificación de un proceso FMECA con enfoque en los síntomas producidos por cada modo de falla identificado y la selección posterior de las técnicas y estrategias de detección y monitoreo más apropiadas. Según la norma (ISO 13379-1 2018), el criterio de clasificación para obtener las técnicas de monitorización más adecuadas es a través del grado de detección, severidad, diagnóstico y pronóstico, de cada modo de fallo de un determinado componente mecánico, dando como resultado un Numero de Prioridad de Monitorización (MPN). El MPN es la multiplicación de las cuatro clasificaciones, donde un valor alto indica que la técnica nominada es la más adecuada para el modo de falla asociado. (Nuñez y Borsato 2017).

Las siguientes tablas presentan una sugerencia de proceso para clasificar la gravedad (SEV) del efecto de un modo de falla en relación a su función requerida, se muestra el grado de control de un modo de fallo con su detectabilidad (DET), clasifica la precisión de los síntomas de un modo

de falla (DGN) y finalmente se muestra el rango de los criterios para clasificar la probabilidad de síntomas sensibles a cambios de parámetros con variables cuantitativas (PGN).

Tabla 15-2: Escala para la evaluación de la Gravedad SEV.

Gravedad	Criterio	Rango
Muy Alto	Cualquier evento que pudiera causar la pérdida de la función del sistema primario que cause un daño significativo al sistema o su entorno, o que cause la pérdida de vidas o miembros	4
Alto	Cualquier evento que pudiera potencialmente causar la pérdida de la función del sistema primario que dañe significativamente dicho sistema o su entorno y un peligro insignificante para la vida o sus miembros	3
Moderado	Cualquier evento que degrada la función de desempeño del sistema sin daño apreciable a ninguno de los sistemas o a la vida o miembros	2
Bajo	Cualquier evento que pudiera causar degradación de la función o funciones de funcionamiento del sistema, resultando en un daño insignificante para cualquiera de los sistemas o su entorno, y ningún daño a la vida o las extremidades	1

Fuente: ISO 13379-1,2018

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

Tabla 16-2: Escala para la evaluación de la Detección DET.

Detección	Criterio	Rango
Muy Alto	Es SEGURO que este modo de fallo será detectado	5
Alto	Hay una PROBABILIDAD ALTA que este modo de fallo será detectado	4
Moderado	Hay PROBABILIDAD MODERADA de que este modo de fallo será detectado	3
Bajo	Hay una PROBABILIDAD BAJA que este modo de fallo será detectado	2
Muy Bajo	Hay PROBABILIDAD REMOTA que este modo de fallo será detectado	1

Fuente: ISO 13379-1,2018

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

Tabla 17-2: Escala para la evaluación de la Confianza en el Diagnostico DGN

Nivel	Criterio	Rango
Muy Alto	Es SEGURO que este diagnóstico de fallos será preciso	5
Alto	Hay una PROBABILIDAD ALTA de que este diagnóstico de los modos de fallo sea exacto	4
Moderado	Hay una PROBABILIDAD MODERADA de que este diagnóstico de los modos de fallo sea exacto	3
Bajo	Hay una PROBABILIDAD BAJA de este diagnóstico de modos de fallo que sea preciso	2
Muy Bajo	Hay una PROBABILIDAD REMOTA de este diagnóstico de modos de fallo que sea preciso	1

Fuente: ISO 13379-1,2018

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

Tabla 18-2: Escala para la evaluación de la Confianza en el Pronóstico PGN

Nivel	Criterio	Rango
Muy Alto	Es SEGURO que, en este modo de falla, el pronóstico sea preciso	5
Alto	Hay una PROBABILIDAD ALTA que, en este modo de falla, el pronóstico sea preciso	4
Moderado	Hay una PROBABILIDAD MODERADA que en este modo de fallo el pronóstico sea exacto	3
Bajo	Hay una PROBABILIDAD BAJA que, en este modo de fallo, el pronóstico sea preciso	2
Muy Bajo	Hay una PROBABILIDAD REMOTA que, en este modo de fallo, el pronóstico sea preciso	1

Fuente: ISO 13379-1,2018

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

2.7 Termografía Infrarroja

Según (Silva et al. 2017) la termografía infrarroja es aquella técnica no destructiva y sin contacto, basada en la radiación infrarroja que los cuerpos emiten o reflejan, todo cuerpo que tenga una temperatura por encima del cero absoluto (0 °K), irradiará luz infrarroja, esta energía se emite en forma de ondas electromagnéticas que viajan a la velocidad de la luz de forma de radiación o por cualquier otro medio de conducción y está en relación directa con su temperatura, es decir cuanto más caliente está el objeto.

2.7.1 Fundamentos de Física Térmica

Casi todas las actividades hechas por el ser humano involucran transformaciones de energía. Donde para su estudio la termodinámica se basa en la ley cero, la primera y segunda ley de la termodinámica. Una descripción detallada de cada una de estas leyes se realizará más adelante.

2.7.1.1 Termodinámica

Se define como una ciencia encargada del estudio de las leyes que gobiernan la transformación de energía, la dirección en la cual fluye el calor y la disponibilidad (exergía) de la energía para realizar un trabajo. Permite el análisis de procesos naturales y artificiales fundamentada en la ley cero, la primera, la segunda y tercera ley de la termodinámica. La termodinámica es la parte de la física que estudia las relaciones entre las diferentes propiedades de la materia que dependen de la temperatura, en otras palabras, está relacionada con el flujo de calor desde un punto de vista macroscópico, donde sus leyes proveen una relación entre el flujo de calor, trabajo y la energía interna del sistema (Jimenez Bernal y Torres 2015).

2.7.1.2 Ley Cero de la Termodinámica

Establece que, si dos objetos en contacto y uno de ellos tiene una mayor temperatura que el otro, el calor será transmitido del cuerpo de mayor temperatura hacia el de menor temperatura, esta transferencia de calor se efectuara hasta que los dos objetos alcancen la misma temperatura, donde al tener ambos objetos la misma temperatura se dice que se encuentra en equilibrio térmico (Hidalgo Estrella 2019).

2.7.1.3 Primera Ley de la Termodinámica

El principio es una ley de conservación de energía. donde se afirma que, como la energía no puede crearse ni destruirse, entonces la cantidad de energía transferida a un sistema en forma de calor y trabajo debe ser igual al aumento de la energía interna del sistema. El trabajo y calor son mecanismo por donde los sistemas intercambian energía entre sí (Hidalgo Estrella 2019).

2.7.1.4 Segunda Ley de la Termodinámica

Según la formulación de Clausius del segundo principio puede expresarse como: Es imposible la existencia de un sistema que pueda funcionar de modo que su único efecto sea una

transferencia de energía mediante calor de un cuerpo frío a otro más caliente. Mientras que la formulación de Kelvin-Planck acercada más a la descripción real de los fenómenos enuncia: Es imposible construir un sistema que, operando según un ciclo termodinámico, ceda una cantidad neta de trabajo a su entorno mientras recibe energía por transferencia de calor procedente de un único reservorio térmico (Shapiro y Moran 2018).

2.7.2 *Transferencia de Calor*

En la ingeniería se necesita el valor o razón de rapidez de los procesos de intercambio térmicos, precisamente de esta problemática se encarga la ciencia de transmisión de calor. Es conocido que el calor se transfiere de 3 formas fundamentales las cuales son conducción, convección y radiación (Torres Leones 2021).



Ilustración 1-2: Transferencia de Calor

Fuente: Torres Leones,2021

2.7.2.1 *Conducción*

Es la transferencia de energía por contacto directo entre las partículas individuales del cuerpo que están a diferentes temperaturas y es producida por el movimiento de las macropartículas de la sustancia (Torres Leones 2021).

2.7.2.2 *Convección*

Este mecanismo de transferencia de calor solo es posible en un medio fluido. Se está en presencia de convección cuando el transporte de calor se estima a que volúmenes de líquido o gas se mueven, de regiones que están a una temperatura específica a otras regiones que poseen una temperatura diferente. El transporte de calor está inseparablemente relacionado al movimiento del propio medio fluido (Torres Leones 2021).

2.7.2.3 Radiación

Es el proceso por el que el calor se transmite en forma de ondas electromagnéticas (o fotones). Implica una doble transformación de la energía de forma que la energía térmica del sólido radiante o emisor se transforma en energía radiante, la cual es transformada de nuevo en calor al ser absorbida por el cuerpo irradiado. La causa que le origina es el resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas (Camaraza Medina 2020).

2.7.3 Cámara Termográfica

Una cámara termográfica, es aquel equipo complejo que tiene como función el medir la emisión natural de radiación infrarroja de un objeto, determinar su temperatura y generar una imagen térmica, ejecutando un procesamiento digital de las señales tomadas (Carballo R 2020).

Mientras que (Royo Pastor y Canada Soriano 2016) todas las cámaras térmicas detectan diferencias de intensidades de radiación infrarroja en un rango determinado del espectro electromagnético. Habitualmente, las cámaras termográficas están diseñadas y calibradas para rangos específicos del espectro IR. Esto significa que la óptica y materiales del detector se deben seleccionar de acuerdo para el rango deseado. Los principales componentes de una cámara termográfica son:

- La lente, que dirige, concentra y enfoca la energía infrarroja sobre el detector.
- El detector, que convierte la radiación en una señal eléctrica.
- La electrónica y software para el procesamiento que, finalmente, permiten visualizar la señal obtenida por la cámara en forma de imágenes.

Tal y como aparecen en la Ilustración 2-2, la energía infrarroja (A) procedente del objeto se concentra mediante la óptica (B) sobre el detector infrarrojo (C). El detector envía la información a los procesadores (D). Estos sistemas electrónicos traducen la información procedente del detector en una imagen (E) que puede ser visualizada en una pantalla o en el visor.

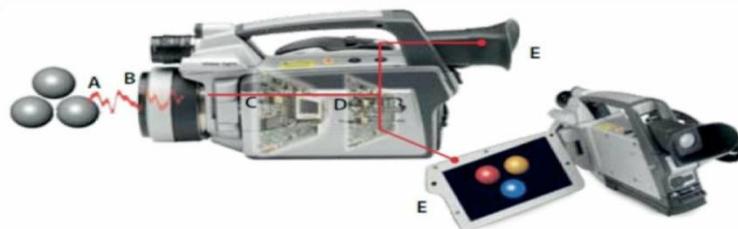


Ilustración 2-2: Cámara Termográfica

Fuente: Royo Pastor y Canada Soriano, 2016

2.7.4 La Emisividad

En “Termografía Infrarroja: Nivel 2” de (Royo Pastor y Canada Soriano 2016) la emisividad de un objeto es la capacidad de emitir energía de un cuerpo en comparación con la de un cuerpo negro a la misma temperatura. Como la emisividad de una superficie real toma valores entre 0 y 1, la radiación que emite un cuerpo real siempre será menor que la emitida por un cuerpo negro. La emisividad de un cuerpo varía con la temperatura de la superficie, así como con la longitud de onda y la dirección de la radiación emitida.

2.7.4.1 Material

La propiedad más importante es el tipo de material del objeto a inspeccionar. En una clasificación simplificada, se puede hablar de metales y no metales. Donde, por lo general los metales tienen emisividades inferiores que pueden llegar a valores por debajo de 0,2 y que pueden incrementarse al cambiar su estructura superficial. Debido a esto, los metales son materiales cuya inspección presenta mayor dificultad para un termógrafo (FLIR Systems AB. 2016).

Una posible solución para inspeccionar metales es el recubrir la superficie con materiales de emisividad considerablemente alta de un espesor suficientemente pequeño para no modificar el proceso de transmisión de calor. Se podría por tanto cubrir con pintura de elevada emisividad o cinta eléctrica. Los no metales por su parte se caracterizan por tener valores elevados de emisividad (Royo Pastor y Canada Soriano 2016).

2.7.4.2 Estructura Superficial

Para cualquier material, la emisividad puede variar considerablemente debido a la estructura de la superficie. Esto puede llevar a una condición desfavorable, en que, para el mismo material, se pueden encontrar valores muy distintos de emisividad. Este fenómeno es más pronunciado para los metales. Mientras que los metales pulidos pueden alcanzar valores de emisividad muy bajos tal como 0,02, la emisividad llega a ser mucho mayor e incluso llegar a valores altos de 0,8 en superficies rugosas. En objetos metálicos se pueden obtener valores más altos cuando sus superficies están alteradas por procesos de oxidación o corrosión por el transcurso de tiempo (Royo Pastor y Canada Soriano 2016).

2.7.4.3 Angulo de visión

Cualquier superficie real da un comportamiento diferente, es decir, la radiación muestra

variaciones dependiendo de la dirección de la emisión. Además, que toda superficie real emite radiación menor a la de un cuerpo negro a la misma temperatura, la radiación de un componente real comúnmente también depende del ángulo de emisión. Este comportamiento puede afectar a cualquier medida de temperatura sin contacto utilizando cámaras infrarrojas, ya que un objeto que se observe desde una dirección normal a su superficie emitirá mayor radiación que cuando se observe desde ángulos oblicuos. Esto nos da a entender que la emisividad depende del ángulo de observación con respecto a la normal de la superficie. (Royo Pastor y Canada Soriano 2016)

2.7.5 Paleta de Colores

Para mostrar el campo de temperatura de la superficie, se introdujo una pantalla en los llamados colores falsos. Al principio, la pantalla solo estaba en escala de grises y cada tono representaba una temperatura determinada del rango de temperatura. Con el desarrollo de la tecnología de imágenes, también fue posible mostrar el color. Entonces se crearon diversas paletas de colores con una firme organización de colores y sombras en una escala en la que se puede representar la imagen (Jakl 2017).

(Callizaya 2021) expresa que las mediciones de temperatura son las mismas independientemente de la paleta que se escoja.

Paleta Hierro: es la más popular por la buena relación entre la definición espacial (capacidad para reconocer los objetos en la escena) y la sensibilidad termal (capacidad para separar entre temperaturas).



Ilustración 3-2. Paletas de Colores

Fuente: Callizaya, 2017

Paleta Arcoíris: provee mejor definición y sensibilidad termal que las demás paletas a expensas de los detalles y definición espacial de los elementos, por lo tanto, se dificulta examinar lo que se

está viendo o localizar pequeños detalles, además de dificultar enfocar correctamente por las mismas razones.

Paleta Escala de Grises: gris es una gran paleta para estar a la mira de identificaciones espaciales en la imagen y se hace mucho más fácil reconocer objetos.

2.7.6 Temperatura aparente reflejada

Este parámetro se utiliza para compensar la radiación reflejada en el objeto. Si la emisividad es baja y la temperatura del objeto está relativamente alejada de la reflejada, es importante establecer la temperatura aparente reflejada y de forma correcta compensarla (FLIR Systems AB. 2016).

2.7.7 Distancia

Por distancia se entiende la que existe entre el objeto y la lente frontal de la cámara. Esta propiedad se utiliza para compensar los siguientes hechos:

La radiación del objeto es absorbida por la atmosfera entre el objeto y la cámara.

La radiación de la propia atmosfera es detectada por la cámara (FLIR Systems AB. 2016).

2.7.8 Humedad Relativa

La cámara también puede compensar el hecho de que el índice de transmisión depende en parte de la humedad relativa de la atmosfera. Para ello, establezca el valor correcto de humedad relativa. Generalmente, para distancia corta y de humedad normal, la humedad relativa puede permanecer con el valor predeterminado en 50 % (FLIR Systems AB. 2016).

2.7.9 Enfoque

El enfoque de una cámara termográfica es crítico. Una cámara desenfocada conduce a mediciones de temperatura equivocadas e informes de baja calidad.

Puede obtener los mejores resultados de presentación de imagen manteniendo la cámara apretada y cerca de su cuerpo, intente lograr las líneas más nítidas posibles al ajustar el enfoque. El enfoque correcto es el factor más importante para la adquisición de los datos térmicos. Una vez se recopila una imagen térmica en la memoria, todas las variables como emisividad y

temperatura de fondo, se puede variar en el software de análisis. El enfoque es el único parámetro que no se puede cambiar así que asegúrese de realizar un correcto enfoque (Sánchez Vargas 2021).

2.7.10 Escala de Temperatura y Sintonización Térmica

Cada pixel en un termograma corresponde con un color en la escala de temperatura. El rango de esta escala desde la temperatura más baja hasta la más alta se conoce como el rango dinámico. El uso equivocado de la tecla “Escala de Temperatura Automática” en una cámara infrarroja produce buenas imágenes, pero pueden ser erróneas. Al escanear al aire libre, el uso del botón de escala automática establecerá el nivel y el rango en valores extremos y “limpiará” la imagen. Esto reduce en gran medida el contraste térmico que los puntos calientes no se pueden detectar. En estos casos, el rango dinámico (escala de temperatura) debe establecerse al mínimo ajustando manualmente las temperaturas superior e inferior. Cada pixel de un termograma se corresponde con un color en la escala de temperatura. La temperatura más baja a la más alta se conoce como rango dinámico. El ajuste del rango dinámico mejorará drásticamente el resultado de la imagen (Sánchez Vargas 2021).

2.7.11 Otros Parámetros de Medición

Sensibilidad Térmica (NETD, del inglés: noise equivalent temperatura difference): ruido equivalente a la menor temperatura detectable. Donde entre más bajo el NETD mejor se podrá detectar el contraste térmico significativo observable- sobreponiéndose al ruido del sistema.

Precisión: medida de la confiabilidad en la aproximación de temperatura aparente en relación a la temperatura verdadera. Comúnmente depende de la tecnología del dispositivo de captura: en cámaras bolométricas de tipo Arreglo de Plano Focal (FPA, del inglés: focal plane array) se encuentra entre los 50-100 mK y en detectores cuánticos refrigerados se estima entre 20 mK. En su mayoría las cámaras tienen una precisión de $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ o $\pm 2\%$ para rangos más amplios.

Resolución Espacial: campo de visión instantáneo que representa la sección cubierta por un sensor remoto en un momento específico. Se da en términos del Campo de Visión Instantáneo (IFOV, del inglés: instantaneous field of view) con unidades de miliradianes y que depende del tamaño del detector y de la óptica del dispositivo de captura.

Frecuencia de la Imagen: es la velocidad a la que el instrumento de captura puede tomar imágenes. Puede ser de cientos de Hz, para tecnologías basados en detectores refrigerados y

generalmente con la posibilidad de aumentarse si la cámara ofrece la posibilidad de reducir el tamaño de las imágenes (Espinoza y Femat 2021).

2.7.12 Calibración

Las condiciones de calibración cumplen los siguientes criterios:

- La superficie medida es lo suficientemente grande y se comporta aproximadamente como un cuerpo negro.
- La distancia entre la cámara térmica y la superficie medida es pequeña (menos de 5 m), por lo que se puede despreciar influencia de la transmisividad atmosférica.
- La temperatura ambiente se encuentra dentro del rango típico de los laboratorios: entre 20°C y 30° C.
- El área de medición se coloca en el centro del campo de visión de la cámara térmica.
- Las mediciones se realizan escalando la cámara térmica seleccionada a la escala más corta que comprende la temperatura superficial medida.
- Si hay un ajuste correspondiente al tiempo de integración, debe utilizarse para la reducción de ruido (normalmente ajustado al tiempo máximo de integración) (Freitas, Savio T. Moretez Sohn y Pereira Neto 2017).

2.7.13 Criterio de Medición

Según la NETA MTS:2019 el propósito de estas especificaciones es garantizar que los equipos y sistemas eléctricos probados funcionen, estén dentro de los estándares aplicables y las tolerancias del fabricante, y sean adecuados para un servicio continuo (Electrical y Association 2019). Los parámetros de prueba son los siguientes:

- Inspeccionar los sistemas de distribución con equipos capaces de detectar una diferencia de temperatura mínima de 1°C a 30°C.
- El equipo deberá detectar la radiación emitida y convertir la radiación detectada en una señal visual.
- Los estudios termográficos deben realizarse durante los periodos de máxima carga posible.
- Las acciones sugeridas basadas en el aumento de temperatura se pueden encontrar en la Ilustración 4-2.

Diferencia de Temperatura entre elementos similares bajo cargas similares.	Diferencia de temperatura entre la temperatura del elemento y la temperatura ambiente	Acción Recomendada
1° C – 3° C	1° C – 10° C	Posible deficiencia; amerita investigación
4° C – 15° C	11° C – 20° C	Indica probable deficiencia; reparar cuando el tiempo lo permita
---	21° C – 40° C	Supervisar hasta que se puedan llevar a cabo las medidas correctivas
>15° C	>40° C	Gran discrepancia; reparar inmediatamente

Ilustración 4-2: Criterios de Evaluación Mediante Termografía.

Fuente: Fernández Romero y Toapanta Granizo,2019

Realizado Por: Aldaz, Jonathan,2022

2.8 Análisis Vibracional

El análisis de vibraciones es un instrumento muy potente: detecta y mide las pequeñas vibraciones, y ayuda a diagnosticar que las origina, lo cual permite a los profesionales del mantenimiento detectar fallos en equipos rotativos. Entonces, el análisis de vibraciones nos proporciona un diagnóstico muy detallado y nos permite identificar la raíz del problema, para así corregirlo e intentar que el fallo no se reitere. Existe una gran variedad de sensores y recolectores de vibraciones entre los que se puede elegir, por lo que departamentos de mantenimiento pueden encontrar la solución que mejor se adapte a sus necesidades (UE Systems 2022).

2.8.1 Vibraciones de Máquinas

Las vibraciones han sido asociadas comúnmente a fallas mecánica (desgaste, mal funcionamiento, ruido y daños estructurales), el monitoreo del nivel de vibraciones en los equipos rotativos ha podido estructurar mantenimientos más efectivos y menos costosos. Las vibraciones en las maquinas se provocan por fuerzas excitadoras, la magnitud de la vibración en la maquina no solo depende de la fuerza sino también de las propiedades del sistema y ambas de velocidad; la vibración puede ser utilizada para identificar los defectos de diseño, fabricación, instalación o por desgaste mecánico (Rodríguez Ballesteros 2017).

2.8.1.1 Vibración Simple

La característica primordial de las señales de vibración en el dominio del tiempo son las ondas sinusoidales. Son las oscilaciones más sencillas y puras. Una oscilación se puede mostrar con un sistema de resorte-masa, si se desplaza la masa hacia una distancia lejana del punto neutro, y se procede a soltar, el resorte lo regresará al equilibrio, este efecto fenómeno producirá cambios de

energías cinética que adquiere la masa y energía potencial que adquiere el resorte. Como se observa en la Ilustración 4-2 a continuación (Fernandez Romero y Toapanta Granizo 2019).

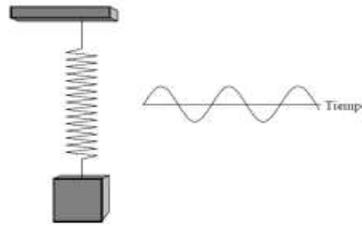


Ilustración 5-2: Vibración Simple

Fuente: Fernández Romero y Toapanta Granizo,2019

2.8.1.2 Vibración Compuesta.

Está formada por la suma de diferentes vibraciones simples. Todas las maquinas estan formadas por vibraciones compuestas, producto de vibraciones simples provenientes de sus componentes internos rotatorios. Sabiendo esto, se describe que la forma de onda de vibración de un equipo no es una señal sinusoidal pura, sino suele ser más compleja. Como se ilustra en la siguiente Ilustración 5-2 dos señales de vibración diferente se suman para dar origen a una compuesta. Para ondas de este ámbito , tiene un grado dificultad alto para obtener sus respectivos valores en amplitud y tiempo, por lo cual el análisis se lo tiene a realizar en el dominio de la frecuencia aplicando la transformada de Fourier (Fernandez Romero y Toapanta Granizo 2019).

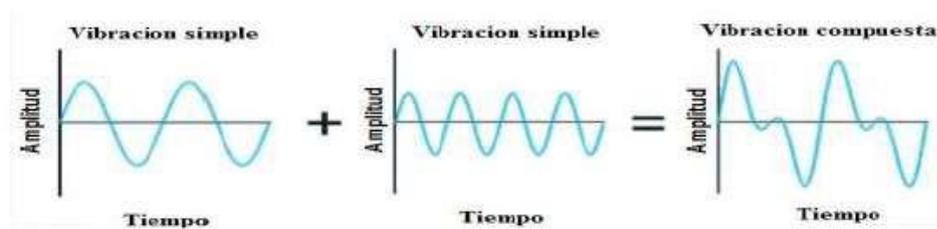


Ilustración 6-2: Vibración Compuesta

Fuente: Fernández Romero y Toapanta Granizo,2019

2.8.1.3 La transformada rápida de Fourier (FFT)

Las señales pueden ser estudiadas y comprendidas de mejor manera en el dominio de la frecuencia. En el dominio del tiempo son señales que provienen de la máquina. En estas señales se encuentra toda la información acerca del comportamiento de cada componente del equipo. Sin embargo, cuando se va a realizar el diagnostico de estas señales estan saturadas de información compleja, de cada elemento que conforma el equipo. Por esta razón pueden ser

comprendidas y estudiadas de mejor manera en el dominio de la frecuencia aplicando la transformada rápida de Fourier. Esta es la gráfica amplitud-frecuencia y es conocida como espectro. Entonces un analizador de espectros adquiere una señal desde una máquina, luego calcula todas las series sinusoidales de la señal compleja y las muestra en forma individual en el eje de las abscisas, la cual representa la frecuencia. En la Ilustración 6-2 a continuación se puede mirar una figura de tres dimensiones con una señal de onda compuesta y sus respectivas representaciones en el dominio de la frecuencia, donde se calculan todas las series de señales sinusoidales en el dominio del tiempo (vistas en azul) y muestra cada una en el dominio de la frecuencia (vistas en rojo) (Fernandez Romero y Toapanta Granizo 2019).



Ilustración 7-2. Señal en el dominio del tiempo y frecuencia

Fuente: Fernández Romero y Toapanta Granizo, 2019

2.8.1.4 Sentidos de Medición

Para realizar una medición correcta es necesario al menos un punto de la máquina (descansos) para saber si existe vibración considerable. Existen tres tipos de direcciones en las que se puede medir como se observa en la Ilustración 7-2.

Axial: es la dirección paralela al punto de referencia, se coloca en la misma dirección que el eje, en condiciones normales presenta valores menores a los radiales, puesto que las fuerzas son perpendiculares al eje, entonces en este sentido se puede observar problemas de vibración producidos por desalineación.

Radial: dirección que se coloca al transductor de forma normal, es decir hasta el centro del punto de referencia, los valores de medición son diferentes debido a la diferencia de rigidez y acción de la gravedad.

Tangencial: conforma un Angulo de 90 grados con la dirección radial, tangente al punto de referencia, en este sentido de medición se puede apreciar el balanceo de la máquina (Fernandez Romero y Toapanta Granizo 2019).

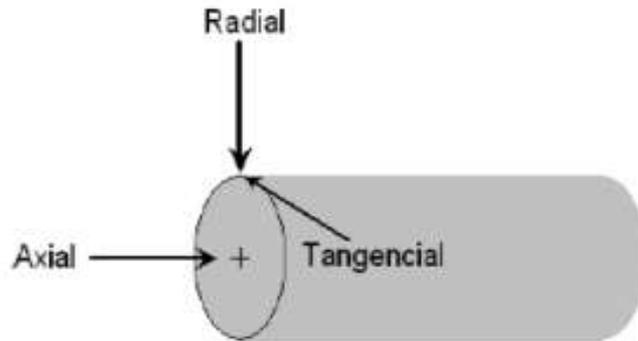


Ilustración 8-2. Sentidos de Medición

Fuente: Fernández Romero y Toapanta Granizo,2019

2.8.2 *Parámetros de Medición de Vibración*

Lo que apreciaremos a continuación serán parámetros importantes a la hora de realizar análisis de vibraciones como su posterior diagnóstico y evaluación de vibraciones.

2.8.2.1 *Frecuencia (f)*

Es el número de ciclos en un determinado periodo de tiempo, se expresa en ciclos por segundo (Hz), ciclos por minuto (CPM) o múltiplos de la velocidad de operación del equipo (ordenes) si la vibración es inducida por una fuerza a la velocidad de giro del equipo (Valencia y Edison 2019)

2.8.2.2 *Periodo (T)*

Tiempo requerido para completar un ciclo de vibración y se expresa como el inverso de la frecuencia, el periodo en un ciclo es el movimiento tomado del objeto desde su posición neutral hacia su punto limite más alto, luego realiza su carrera opuesta hasta su punto limite más bajo y terminar en su posición neutral (Valencia y Edison 2019).

2.8.2.3 *Amplitud (A)*

Es el máximo desplazamiento de la vibración, se puede expresar de diferentes formas, donde esta medida tomada puede ser la Amplitud Pico, tomada desde su punto 0 hasta la punta (A p);

la Amplitud Pico-Pico, se mide desde la punta inferior hasta la punta superior (A p-p); y la Amplitud RMS (Raíz Cuadrática Media) (Valencia y Edison 2019).

2.8.2.4 *Angulo de Fase (\emptyset)*

Es la relación en el tiempo, medio en grados entre dos vibraciones a la misma frecuencia. El ángulo de fase puede ser utilizado para determinar la interacción en tiempo entre fuerza excitadora y la vibración causada, por ejemplo, si la fuerza generada por una masa desbalanceada causa una señal de vibración, utiliza una señal de referencia, que genere otra señal vibracional, la relación entre estas dos señales es el ángulo de fase, el cual se utiliza para ejecutar el proceso de balanceo dinámico y es expresado en grados de 0-360° (Valencia y Edison 2019).

2.8.2.5 *Desplazamiento*

Es el cambio en la distancia o posición de un objeto con respecto a un punto de referencia (en nuestro caso, la posición neutra de la masa).

La magnitud del desplazamiento es la Amplitud. Cuanto mayor sea la amplitud de las señales de vibración, más grande será la vibración. La amplitud puede ser medida en mm (longitud), aunque en la práctica las vibraciones de maquinaria son comúnmente expresadas en micrómetros o milésimas) (Serruto 2020).

2.8.2.6 *Velocidad*

Es la tasa de variación del desplazamiento. La velocidad es un notable indicador de problemas de vibración en cuanto a equipos de velocidad media (desbalanceo, desalineación, soltura mecánica, y las frecuencias de fallas en rodamientos). Es expresada en unidades de velocidad, tal como mm/seg o in/seg. Cuando el desplazamiento alcanza su valor máximo, la velocidad es cero, porque es la posición en la que la dirección del movimiento se invierte. Cuando el desplazamiento es cero (punto de equilibrio), la velocidad se estima en un valor máximo. Esto quiere decir que la fase de la onda de la velocidad se encontrara desplazada hacia la izquierda en 90 grados, comparada a la forma de onda de desplazamiento. En otra perspectiva la velocidad se adelanta 90 grados con respecto al desplazamiento (Serruto 2020).

2.8.2.7 *Aceleración*

Es la tasa de variación de la velocidad. La aceleración es una utilidad valiosa en el análisis de maquinaria rotativa y es especialmente útil en la detección temprana y avanzada del consumo en rodamiento y problemas en cajas reductoras o multiplicadoras de velocidad. La aceleración se estima en unidades de “g”, donde 1g es la aceleración de un objeto que cae libremente bajo la gravedad de la tierra. Cuando la velocidad alcanza su valor máximo, la aceleración tiende a cero ya que la velocidad no varía en ese instante. Cuando la velocidad es cero, la aceleración está en su máximo valor puesto que es cuando más rápido cambia la velocidad. La curva sinusoidal de la aceleración se puede apreciar desplazada en fase hacia la izquierda respecto a la curva de velocidad y por eso la aceleración tiene un avance de 90 grados respecto de la velocidad y 180 grados respecto al desplazamiento (Serruto 2020).

2.8.3 *Métodos de Medición de Vibraciones*

Cualquier cadena de medición de vibraciones tiene su base en el transductor, cualquiera que fuese. Este también es el eslabón más débil de la cadena de medición, porque sin una señal estricta, las medidas pueden variar significativamente y en consecuencia no serán fiables. Existen esencialmente dos aspectos fundamentales a tener en cuenta para la obtención de una señal que representa de forma efectiva el comportamiento de vibración en el sistema.

- La selección adecuada del tipo de transductor
- Localización e instalación correcta.

Estimando que el comportamiento de vibración de un sistema, es un desplazamiento, podemos asegurar que existen tres tipos de transductores utilizados en el análisis de vibraciones:

- Transductor de Desplazamiento.
- Transductor de Velocidad
- Transductor de Aceleración.

La distinción de estos se realiza mediante el parámetro a medir, el elemento de la máquina analizada, y los intervalos de frecuencia de trabajo de los transductores. El intervalo de frecuencia de interés en la medición es uno de los factores más importantes en la selección del transductor a utilizar, y del parámetro de medida. El intervalo de frecuencia de un transductor deberá establecerse de acuerdo con las características requeridas para esa aplicación es

especifico, siendo que el uso de un determinado transductor deberá estar siempre condicionado por su función de respuesta de frecuencia para el intervalo deseado. El intervalo de interés deberá estar siempre contenido en la zona lineal de la respuesta del transductor, debido a que es en aquella zona donde tenemos la garantía de que la variación de medida será efectivamente proporcional a la variación efectiva (Zapana 2017).

Otro factor para determinar la elección de un transductor es su sensibilidad. La sensibilidad de un transductor se da siempre por el coeficiente entre la unidad de señal emitida y la unidad de señal recibida. Ese es el caso de un acelerómetro de sensibilidad y está dado por mV/ms^2 . La sensibilidad del transductor será elegida teniendo en cuenta las variaciones a medir. Existe además otro parámetro llamado sensibilidad transversal, que define la sensibilidad del transductor a vibraciones en el plano perpendicular al eje principal. Esta cantidad debe ser lo más mínima posible, y nunca sobre el 3% o 4% de la sensibilidad del eje principal de sensibilidad. Esta característica aumenta con la proximidad a la resonancia mecánica del transductor. El montaje debe garantizar que la dirección donde se esperan mayores vibraciones transversales este siempre alineada con la dirección de una menor sensibilidad transversal, marcada en el transductor (Zapana 2017).

2.8.4 Tipos de Vibraciones Mecánicas

Su principio es relativamente sencillo: por muy excelentes que sean las condiciones de tuberías, maquinas, intercambiadores de calor, válvulas, etc. Vibran en funcionamiento, y dentro de dicha vibración se guarda una gran cantidad de información que puede ser útil para saber el estado de las maquinas o elementos (Miranda Salinas 2020)

2.8.4.1 Vibración por Desalineamiento

La desalineación pasa debido a una mala alineación entre las partes correspondientes, como mitades de acoplamiento, ejes, poleas, etc. De una manera más técnica la desalineación de ejes y acoplamientos se puede definir como la condición donde la línea central geométrica de dos ejes acoplados no coincide a lo largo del eje de rotación. Estas desviaciones pueden ser de tres maneras:

- Desalineación Paralela o Radial.
- Desalineación Angular o Axial.
- Desalineación Combinada (Miranda Salinas 2020).

2.8.4.2 Vibración por Desbalance

Las causas más comunes de vibración en los equipos es el desbalance donde presenta los siguientes patrones, 1X en la frecuencia Rpm de pieza desbalanceada, amplitud en una cantidad proporcional al desbalance, amplitud es mayor a datos de medición horizontal, vertical, radial en elementos con ejes horizontales (Miranda Salinas 2020).

2.8.4.3 Vibración por Fallas Eléctricas

Las consecuencias de las vibraciones pueden causar en motores problemas de ámbito eléctrico donde pueden estar: problemas de barra de rotor, fallas de exceso de carga, desbalance de voltaje, armónicos altos, exceso de arranque y paradas dañaran la vida útil de los componentes (Miranda Salinas 2020).

2.8.4.4 Vibración Por Problemas de Engranaje

Las vibraciones inherentes al funcionamiento de cualquier transmisión por engranajes son ocasionadas por el error de transmisión (ET), que se refiere a la diferencia de posición angular del eje de salida entre una transmisión perfecta y una real. Las vibraciones producidas tiene un tiempo determinado por la frecuencia con que los dientes ingresan sucesivamente en contacto, llamada frecuencia de engrane (Miranda Salinas 2020).

2.8.4.5 Vibración por Excentricidad

Excentricidad no es ovalización se dice que cuando su centro de masa no se encuentra paralela a su eje geométrico, el centro de rotación verdadero difiere de la línea central geométrica. La excentricidad en rodets o rotores de sopladores, compresores, ventiladores crean fuerzas vibratorias. Las fuerzas tienen a ser aerodinámicas e hidráulicas desiguales que actúan en contra del rotor (Jara Saldaña y Morales Asencio 2019).

2.8.4.6 Vibración por Lubricación Incorrecta

Una lubricación incorrecta o su ausencia, o el tipo de lubricación en aceites y grasas incorrectos pueden ocasionar altas vibraciones debido al látigo seco, entre rodamiento y chumacera (Jara Saldaña y Morales Asencio 2019).

2.8.4.7 Vibración por Falla de Rodamientos

Los altos índices de vibración por rodamiento en la mayoría de los casos son producto de una holgura excesiva, provocado por una acción química o un agente de desgaste. Y por desajuste de los manguitos del ajuste mecánico, ocasionado que se produzca una limadura en su alojamiento y también ausencia de lubricación (Jara Saldaña y Morales Asencio 2019).

Las frecuencias que generan rodamiento cuando los elementos rodantes pasan sobre una anomalía de superficie en el mismo rodamiento o en la pista de rodadura se denominan frecuencias de falla fundamentales y pueden ser:

BPFO o la frecuencia de deterioro de la pista exterior de un rodamiento, es físicamente el número de bolas o rodillos que pasan por un punto de la pista exterior cada vez que el eje realiza un giro completo.

BPFI o la frecuencia de deterioro de la pista interior de un rodamiento, es físicamente el número de bolas o rodillos que pasan por un lugar de la pista interior cada vez que el eje realiza un giro completo.

BSF o la frecuencia de deterioro de los elementos rodantes, es desde el punto de vista físico el número de giros que realiza un elemento rodante cada vez que el eje realiza un giro completo.

FTF o la frecuencia fundamental de tren o de deterioro de jaula de un rodamiento, se define desde la perspectiva física como el número de giros que realiza la jaula del rodamiento cada vez que el eje realiza un giro completo (Revista Ingeniería UC 2020)

2.8.5 Criterio de Medición

Se analizará la Carta de Técnicos Asociados de Charlotte, trabajo de mayor relevancia respecto al análisis vibracional que puedan aportar al diagnóstico de fallas prematuras que puedan desencadenar en consecuencias de falla más graves tanto para el elemento como para el personal. Se presenta a continuación un ejemplo de la primera causa de vibración en la Ilustración 9-2.

LISTA ILUSTRADA DE DIAGNÓSTICO DE VIBRACIONES

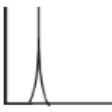
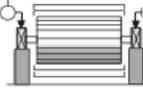
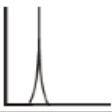
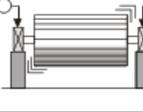
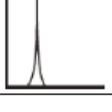
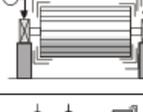
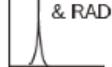
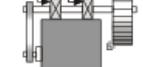
FUENTE DEL PROBLEMA	ESPECTRO TÍPICO	RELACIÓN DE FASE	OBSERVACIONES
DESEQUILIBRIO DE MASA A. DESEQUILIBRIO ESTÁTICO	1X RADIAL 		El Desequilibrio Estático estará en fase y fijo. La amplitud debida al desequilibrio se elevará al cuadrado de la velocidad de giro debajo de la primer frecuencia critica del rotor (un incremento de velocidad de 3X = vibración más alta en 9X). 1X RPM siempre está presente y por lo general domina al espectro. Se puede corregir al colocar unicamente un peso de corrección de equilibrio en un plano en el centro de gravedad (CG) del Rotor. Debe existir una diferencia de fase de 0° aprox. entre los horizontales OB e IB, así como entre los verticales OB e IB. Además, por lo general existe una diferencia de fase de 90° aprox. entre las lecturas horizontales y verticales en cada apoyo de rotor desequilibrado ($\pm 30^\circ$).
B. DESEQUILIBRIO TIPO PAR	1X RADIAL 		El Desequilibrio Tipo Par origina un movimiento fuera de fase de 180° en el mismo eje. 1X RPM siempre se presenta y por lo general domina al espectro. La amplitud varía con el cuadrado de la velocidad en incremento debajo de la primera velocidad critica del rotor. Puede causar una alta vibración axial así como radial. Para su corrección se requiere colocar pesos de equilibrio en por lo menos 2 planos. Observe que debe existir una diferencia de fase de 180° aprox. entre los horizontales OB e IB, así como entre los verticales OB e IB. Además, por lo general existe una diferencia de fase de 90° aprox. entre las lecturas horizontales y verticales en cada apoyo ($\pm 30^\circ$).
C. DESEQUILIBRIO DINÁMICO	1X RADIAL 		El Desequilibrio Dinámico es el más común y es una combinación de desequilibrio de estático y de par. 1X RPM domina el espectro, y realmente requiere una corrección de 2 planos. Aquí, la diferencia de fase radial entre los apoyos internos y externos puede abarcar un rango de 0° a 180°. Sin embargo, la diferencia en fase de los apoyos horizontales será similar a la diferencia entre las fases verticales ($\pm 30^\circ$). Así mismo, en caso de que predomine el desequilibrio, una diferencia de fase de 90° aprox. resultará entre las lecturas horizontal y vertical de cada apoyo ($\pm 40^\circ$).
D. DESEQUILIBRIO DE ROTORES EN CANTILIBRE	1X AXIAL & RADIAL 		El Desequilibrio del Rotor En Cantilibre causa 1X RPM alto en ambas direcciones axial y radial. Las lecturas axiales tienden a estar en fase mientras que las lecturas radiales pueden ser inestables. Sin embargo, las diferencias de la fase horizontal coincidirán por lo general con las diferencias de fase vertical en el rotor desequilibrado ($\pm 30^\circ$). Estos rotores presentan desequilibrios estático y par. Por lo tanto, los pesos de corrección siempre tendrán que colocarse en 2 planos para contrarrestarlos.

Ilustración 9-2: Vibración por desequilibrio de Masa.

Fuente: Asociación de Técnicos de Charlotte, 1996

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

El Resto de la Carta de Charlotte se encuentra en el Anexo M.

2.9 Medición de Resistencia de Aislamiento en Motores Eléctricos

Este método permite obtener hasta cinco parámetros (corriente de absorción y conducción, índice de absorción y de polarización y resistencia del aislamiento) en una sola prueba, que al ser aplicada en forma periódica facilitan el monitoreo y evaluación del estado del aislamiento en máquinas rotativas de gran potencia (TECSUP 2017).

2.9.1 Resistencia de aislamiento a tierra

Esta prueba es cuantitativa, que de por si no indica la calidad en el que está el aislante sino más bien el grado de contaminación del aislamiento a partir del cual se obtiene una idea del estado del aislamiento en una maquina eléctrica. De la prueba obtenemos un valor denominado Resistencia de Aislamiento, que resulta de la combinación de paralelo de todos los aislantes que se pueden encontrar entre los conductores y tierra. Al llevarse un registro de este valor en caso de existir una tendencia decaer o descendente, puede ser indicativo del inicio de degradación del dieléctrico. El valor de la resistencia de aislamiento se puede obtener a través del uso de un voltímetro que determine la tensión aplicada y el uso de un amperímetro de una gran sensibilidad pues la intensidad que circulara por el aislante es mínima ya que la resistencia del aislante se encuentra en el orden de los Megohmios, o también se puede utilizar un megóhmetro o megger (Jaura 2017).

La prueba de resistencia de aislamiento se realiza para detectar la presencia de humedad y agentes contaminantes en el devanado del motor o el rotor por medio de esta prueba se pueden determinar el índice de polarización (IR) el índice de absorción dieléctrica (IA) el cual nos muestra la variación de la resistencia a tierra del aislamiento respecto del tiempo (Mollisaca Centellas 2021).

La medición de resistencia de aislamiento consiste en aplicar una tensión continua, y medir la corriente resultante, donde a partir de la ley de Ohm se determina el valor de resistencia de aislamiento. La corriente total medida estará formada principalmente por la suma de cuatro componentes: capacitiva, conductiva, superficial y de absorción (Calo et al. 2019).

2.9.1.1 Corriente Capacitiva

Es una corriente que aparece debido a la propia capacitancia del aislamiento, pero que posee una constante de tiempo muy corta y por lo tanto decae exponencialmente de manera rápida. Depende principalmente de las características geométricas del devanado (Calo et al. 2019).

2.9.1.2 Corriente conductiva

Se debe a la conducción electrónica e iónica a través del volumen del aislamiento propiamente dicho, y por lo tanto dependerá del tipo del sistema de aislante, los materiales utilizados y de su condición (envejecimiento, presencia de humedad, contaminantes, etc.) (Calo et al. 2019).

2.9.1.3 Corrientes de Perdidas Superficiales

Corriente constante que se debe a la resistividad superficial del material, y por lo tanto su magnitud dependerá fuertemente de la humedad y contaminación superficial, suele ser menor que la corriente de absorción, aunque en alta contaminación puede ser del mismo orden, o incluso superarla (Calo et al. 2019).

2.9.1.4 Corriente de Absorción

Es el resultado de la polarización de las cadenas moleculares. Dicho fenómeno puede ser de tipo electrónico (el átomo se distorsiona produciendo una concentración de electrones a un lado del núcleo), iónico (los enlaces atómicos se deforman elásticamente formando dipolos), dipolar (implica la orientación de los dipolos naturales respecto del campo) e interfacial (por presencia de impurezas se produce una carga eléctrica en las interfaces de dos materiales). En el caso de

los sistemas aislantes de máquinas rotativas el mecanismo de polarización interfacial es el que predomina, ya que el mismo está formado por numerosas interfaces de distintos materiales tales como mica, vidrio y matrices poliméricas.

2.9.2 Megado de Motores

Es una prueba que consiste en medir la resistencia que hay entre fases. Si es de significativa diferencia entre las 3 fases, podemos deducir si hay un cortocircuito entre las espiras, que el motor este quemado o que pueda existir una derivación a tierra (Portal 2021).

Para realizar esta prueba es necesario el uso de un equipo llamado Megóhmetro, que se encarga de inyectar un voltaje continuo y a continuación medir la corriente en circulación con ambos valores es fácil calcular el valor de la resistencia para lo cual los resultados que se pueden obtener van en $k\Omega$, $M\Omega$, $G\Omega$ y $T\Omega$ donde este valor viene a representar la calidad de aislamiento entre dos elementos conductores y nos puede indicar los riesgos por presencia de corrientes de fuga. Esta prueba se realiza de manera puntual durante un corto plazo de tiempo ya sea durante 30 segundos o 1 minuto (Mollisaca Centellas 2021).



Ilustración 10-2: Megóhmetro Industrial

Fuente: Mollisaca Centellas,2021

Normalmente se realiza la prueba sobre el devanado en conjunto para obtener un valor de resistencia global del aislamiento, en este caso, se conecta el Megger entre la carcasa de la maquina y cualquiera de los terminales los cuales pueden estar conectados entre sí en estrella o triangulo. En caso que la resistencia global del aislamiento sea baja se puede recurrir a medir la resistencia del aislamiento de cada fase en donde las dos fases restantes que no estan sometidas a análisis se les conectara directamente a tierra, de esta manera se intentara detectar la fase problemática. El ensayo se lo realiza dando una tensión continua entre 500 a 5000 V, la tensión

que se aplica se lo realiza en función de la tensión de funcionamiento en condiciones normales. De aplicar una tensión elevada la resistencia del aislamiento puede reducirse además de generar esfuerzos dieléctricos elevados (Jaura 2017).

2.9.3 Procedimiento de Prueba de Nivel de Aislamiento

La prueba consiste en aplicar al devanado una corriente continua, a través de la carcasa. En la ilustración se muestra un diagrama de conexión, indicando que el terminal negativo del megóhmetro se conecta al bobinado y el terminal positivo a masa o tierra. La corriente (I) fluye por medio de las capas aislantes, así como también por las partículas contaminante o humedad si en caso existiera.

Esta prueba tiene un tiempo de duración de un minuto y el valor de tensión aplicado depende de la tensión de placa de características del motor. Al momento de realizar la prueba la resistencia de aislamiento esta se aumenta rápidamente cuando es aplicado el primer voltaje y luego se estabiliza hasta adquirir un valor constante, esto en bobinados secos. En cambio, en aislamientos antiguos se necesita de una prueba de medición entre unos 10 a 15 minutos como mínimo, porque los materiales aislantes empleados suelen ser de baja calidad. Se puede visualizar la clase de aislamiento eléctrico en la tabla dada por las normas UNE-EN 62114,60085 Y 60034-1.

Tabla 19-2: Clases de Aislamiento

CLASE	TEMP. DE. AISL	MATERIALES USADOS
Clase Y	90 °C	Papel, seda, algodón, goma natural, clorido de polivinilo sin impregnación.
Clase A	205 °C	Tiene las mismas características de la clase Y, pero impregnado más Nylon.
Clase E	220 °C	Polietileno de teraflato (fibra de terileno, film melinex) triaceto de celulosa: Enamel
Clase B	130 °C	Mica, fibra de vidrio (Borosilicato de aluminio libre de alcalinos), asbestos: bituminizados
Clase F	155 °C	Como los de clase B, pero con alkyd y resinas basadas en epoxi, poliuretano.
Clase H	180 °C	Tienen los componentes de la clase B con aglutinante resinoso de siliconas, goma siliconada poliamida aromática (papel Nomex y fibra), film de poliamida

		Enamel
Clase N	200 °C	Como la clase B, pero con aglutinantes inorgánicos apropiados (teflón mica, mecanita, vidrio, cerámicos)
Clase R	220 °C	Materiales a base de mica, vidrio, cerámica, poliamidas tipo
Clase C	250 °C	Materiales a base de combinaciones de poliamidas con NKN

Fuente: Rojas, 2020

Realizado por: Aldaz, Jonathan, 2022.

En la antigüedad los materiales utilizados eran de clase Y, y se requiere prestar mucha atención a esta clase de aislamiento. El tipo de material más utilizado en la actualidad son de clase F, H Y C debido a que estos materiales tienen la característica de tener una resistencia de aislamiento constante en un tiempo de 3 minutos. En el momento que el bobinado se encuentra contaminado podemos apreciar con facilidad ya que sus mediciones nos registran valores bajos en $k\Omega$ (Rojas 2020).

2.9.4 Procedimiento de Para Obtener del Factor de Potencia

El Tip'Up del factor de potencia se define como la diferencia en el factor de potencia medido en dos voltajes. Al medir una bobina o barra individual, esta variación en el factor de potencia con el voltaje de prueba puede ser causado por una variación en los valores del factor de potencia asociados con las pérdidas por descargas parciales o dieléctricas. El valor que surge de las pérdidas dieléctricas generalmente cambia muy poco con el voltaje; sin embargo, con algunas imperfecciones en el aislamiento sólido, como áreas de resina sin curar o contaminación por impurezas iónicas, pueden producir pérdidas relevantes de carga espacial que provocan o aumentan el valor de factor de potencia (IEEE Std 286 2001)

2.9.4.1 Interpretación de Resultados

El proceso normal es medir el factor de potencia de la bobina o bobinas en rango de voltaje específico y se toman a temperatura ambiente. El rango de voltaje por lo general se determina por la especificación o el responsable de la prueba, y se traza el factor de potencia con respecto a los niveles de tensión de prueba. Trazados los datos se realiza la interpretación del gráfico típico de factor de potencias versus voltaje, se muestra un ejemplo a continuación en la Ilustración 11-2.

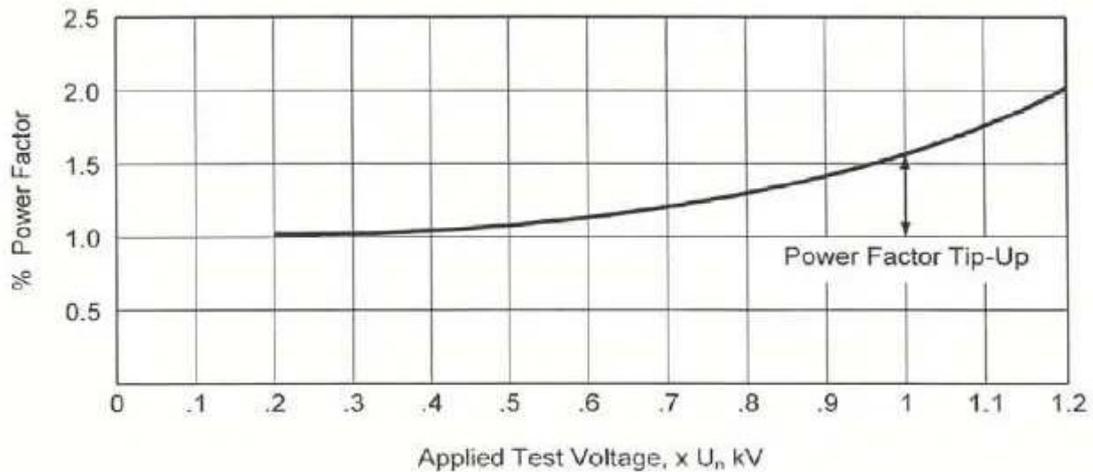


Ilustración 11-2: Grafico Factor de Potencia vs Voltaje

Fuente: IEEE Std 286,2000

- El valor inicial se usa para determinar el estado de curado del sistema de aislamiento, donde si el curado es el adecuado, el valor inicial es el consistente con el sistema de aislamiento particular que se está midiendo.
- Las diferencias en el aumento de factor entre bobinas individuales generalmente se deben a variaciones en la extensión de la formación de vacíos incidentales en la estructura de aislamiento.
- Un cambio en el factor de potencia tip-up del aislamiento de la bobina puede ser el resultado de procesos de deterioro por factores eléctricos, térmicos, mecánicos y ambientales que afectan al aislamiento.
- El factor de potencia no puede considerarse como una indicación absoluta del estado del aislamiento de la bobina. Los datos del factor de potencia deben usarse junto con los resultados de otros métodos de evaluación (IEEE Std 286 2001).

2.9.5 Factores que Debilitan Devanados

- Fatiga Eléctrica, la que se puede originar por sobretensiones o caídas de tensión en el funcionamiento del motor.
- Fatiga Mecánica, la que se puede originar en la puesta marcha y paro del motor y especialmente cuando ambas se realizan con frecuencia, el desequilibrio de máquinas rotativas, golpes contra los cables y las instalaciones.
- Fatiga Química, esta puede darse por el uso de aceites, grasa en la lubricación de rodamientos que de alguna manera ingresa al estator por un sellado incorrecto o por lubricación excesiva de los rodamientos, también los vapores corrosivos y el ambiente

ácido donde se desenvuelve el motor es un factor que afecta al aislamiento de igual forma que el polvo.

- Fatiga por Cambios de Temperatura, la que tiene relación con el arranque y parada del motor, la dilatación y contracción de los componentes mecánicos afectan a los materiales aislantes del devanado y si el aumento de temperatura es excesivo es un factor significativo en la degradación de los materiales aislantes (Mollisaca Centellas 2021).

2.9.6 Fallas en Motores Eléctricos

El motor eléctrico suele ser la máquina más frecuente de hallar en cualquier industria en la actualidad y es conocida por su sencilla construcción y robustez, expuestas y que trabajan bajo condiciones hostiles como en minería, petróleo, gas, agricultura, etc. En aquellos entornos de las máquinas están expuestas a una cantidad importante de contaminación y operados rigurosamente que debe dar lugar a diversos defectos (Castillo 2018).

2.9.6.1 Falla de Rodamientos

Existen muchas causas imputables a este tipo de falla; mal funcionamiento del rotor y fallas dinámicas producen una gran cantidad de energía que se disipa desde el sistema del mismo y través de los rodamientos y su apoyo. Algunas de las principales causas de falla son una inadecuada o lubricación insuficiente, pesados esfuerzos radiales y axiales por desviación del eje, desgastado de dientes en cajas reductoras, desalineación de acoplamiento y montaje. No son ejemplos exhaustivos pero suelen ser de grandes tensiones que pueden conducir a un aumento de las vibraciones y por lo tanto un mayor desgaste de cojinetes y/o rodamientos del motor (Castillo 2018).

2.9.6.2 Falla en Estator

La ruptura del aislamiento suele ser resultado de muchos factores como acumulación de contaminación en el aislamiento, vibración del conductor, ciclos térmicos, sobretensiones y transitorios repetitivos, ataque químico o degradación del aislamiento por descargas internas. El aislamiento puede contaminarse con aceite, polvo de carbón, polvo de cemento, polvo mineral, insectos, etc.; esta contaminación se mezcla con humedad o aceite para formar un revestimiento parcial del conductor en la superficie del estator, dando lugar a la conductividad eléctrica en todo el aislamiento y el estator, afectando la integridad del aislamiento.

La vibración probablemente es una de las causas principales de degradación prematura en los devanados del estator de alta tensión. Las fuerzas electromagnéticas altas entre rotor y estator actúan directamente en las bobinas y ranuras propiamente. Si existe algún aflojamiento de la bobina en la ranura, las vibraciones causaran la abrasión mecánica de la bobina y los lados de las ranuras erosionando el aislamiento. Si el aislamiento se rompe por completo, un cortocircuito puede ocurrir entre las bobinas, causando graves daños en los devanados del estator. Si no se detecta a tiempo puede prolongarse a través del estator en un tiempo corto.

Cada vez que aparece la degradación de un sistema de aislamiento del estator, por condiciones eléctricas, mecánicas o ambientales, generalmente es acompañada por la generación de descargas parciales que aumentarían rápidamente el proceso de desgaste del aislamiento (Castillo 2018).

2.9.7 *Falla en Rotor*

Causados principalmente por roturas en las uniones entre barras y anillos extremos. Pueden ocurrir por una variedad de razones, fallas ocultas durante el proceso de fabricación, vibraciones excesivas por sobrecarga en el arranque inicial del motor. Cuando existe una barra con grietas produce una alta resistencia entre las terminales o juntas del anillo provocando sobrecalentamiento que puede desembocar en la ruptura completa de la barra. Una barra quebrada aumenta la corriente a través de las barras restantes, que resulta en fluctuaciones de par que pueden causar más daño mecánico.

La excentricidad del entrehierro es otra falla relacionada al rotor que puede llevar a grandes fallas mecánicas. Se dice que existen problemas de excentricidad del hierro cuando el espacio entre el rotor y estator no es uniforme, ya sea por tipo dinámico o estático. Donde la excentricidad estática del aire mínimo puede ser causado por la ovalidad del núcleo del estator o por el montaje incorrecto del estator o rotor, mientras que en la excentricidad dinámica puede ser causada por un eje doblado de rotor, desgaste que lleva o desalineación, etc. (Castillo 2018)

2.9.8 *Criterio de Medición*

Según la IEEE-43-2013 se propone técnicas predictivas a través de la aplicación de tensión continua sobre el aislamiento de las máquinas rotativas, para de monitorear y anticipar potenciales fallas o deterioro de dicho aislamiento mediante el uso de equipos comerciales de bajo costo (TECSUP 2017)

TIPO DE MOTOR	RESISTENCIA DE AISLAMIENTO
Bobinado antes de 1970	$> 1 \text{ M}\Omega + 1\text{M}\Omega/\text{kV}$
Bobinado después de 1970	$> 100 \text{ M}\Omega$
Bobinado preformado y armaduras CC	$> 5 \text{ M}\Omega$
TENSION NOMINAL DEL MOTOR	TENSION DE PRUEBA
Menos de 1000 V	500 V
1000 V a 2500 V	500 V a 1000 V
2501 V a 5000 V	1000 V a 2500 V
5001 V a 12000 V	2500 V a 5000 V
1000 V a mas	5000 V a 10000 V

Ilustración 12-2: Valor Limite para la Resistencia de Aislamiento

Fuente: TECSUP,2017

Realizado Por: Aldaz, Jonathan,2022

2.10 Métodos de Inspección Complementarios

La detección ultrasónica de fugas es un método de prueba no destructivo que se utiliza para localizar fugas en varios tipos de sistemas, incluidos contenedores presurizados, tuberías y sistemas de aire acondicionado. Funciona mediante el uso de ondas ultrasónicas para detectar cambios en la presión causados por escapes de aire o gas. El análisis de los resultados de la inspección proporciona información importante sobre el estado del sistema que se está probando, lo que ayuda a identificar problemas potenciales antes de que causen daños significativos.

La medición de la calidad de la energía, por otro lado, es el proceso de evaluación del suministro de energía eléctrica para garantizar que cumpla con ciertos estándares y especificaciones. Esto incluye la medición de factores como el voltaje, la frecuencia y el factor de potencia, así como la detección y corrección de cualquier problema que pueda afectar la calidad y la confiabilidad de la fuente de alimentación. Juntas, estas dos técnicas juegan un papel fundamental en el mantenimiento de la seguridad y la eficiencia de varios tipos de equipos y sistemas.

2.10.1 Ultrasonido para la Detección de Fugas

Las fugas de aire le cuestan a la industria miles de dólares cada año en aire comprimido innecesario por la producción con fugas que a veces desperdician entre el 20 – 30% de la producción de un compresor. Detectar fugas de aire y decidir si repararlas o no dependen de una serie de variables como el costo de reparación versus el costo de parada de producción, la seguridad y la calidad del producto (Wolstencroft 2008).

Hay varios factores que hacen que una fuga pueda ser detectable mediante el uso de ultrasonido pasivo. De estos, el único factor que debe estar presente es la turbulencia ya que es la que genera el ultrasonido. La forma de orificio, el diferencial de presión y las condiciones atmosféricas afectaran al nivel de turbulencia, mientras que los ultrasonidos dependen de la distancia desde la fuga y la accesibilidad a la fuga ambos son factores externos que pueden afectar el nivel del ultrasonido medido por el detector de fugas por ultrasonido aerotransportado (Wolstencroft 2008).

2.10.1.1 Técnica de detección de ultrasonido

El ultrasonido pasivo es muy frecuente usarlo en el mantenimiento, el cual se basa en el estudio de las ondas sonoras de alta frecuencia que tiene origen en los equipos cuando algo inesperado está pasando. Se fundamenta en que pérdidas de presión o vacío, las descargas eléctrica y fuerzas de rozamiento, llegan a generar ondas de sonido de alta frecuencia, longitud corta y que pierden energía rápidamente, esto nos facilita que los problemas en los equipos sean ubicados fácil y rápidamente antes de que se produzcan consecuencias de falla que causen el paro de la planta de producción (Madrid y Valle 2017).

Los instrumentos con los que es posible transformar las ondas de ultrasonido en ondas de audibles se les llama detectores ultrasónicos o medidores de ultrasonido, con la utilización de estos instrumentos las señales de ultrasonido que han sido transformadas pueden ser escuchadas mediante audífonos y otros casos hasta ser observadas en una pantalla (Madrid y Valle 2017).

Los detectores son fáciles de manejar gracias a que el comportamiento del sonido es direccional, donde la fuente del problema es detectada por el sonido que se produce en el problema es mayor que en el resto del equipo inspeccionado. Estos detectores cuentan con un selector de frecuencias que le permite al usuario filtrar el ruido del ambiente y escuchar la onda ultrasónica con total claridad. A continuación se muestran las partes de un detector ultrasónico (Madrid y Valle 2017).

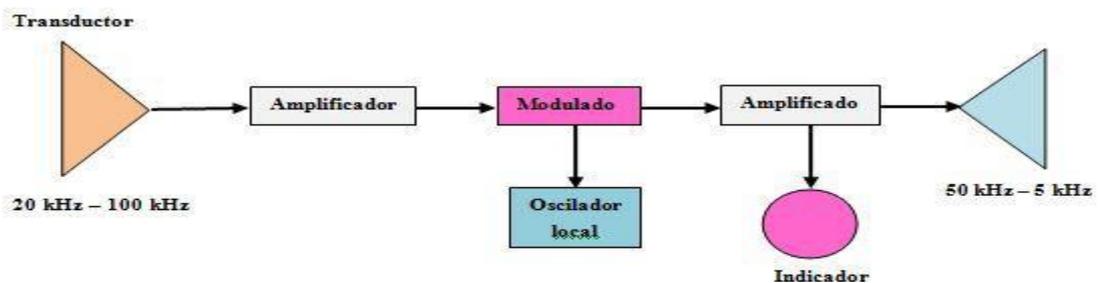


Ilustración 13-2: Componentes de un Detector Ultrasónico.

Fuente: Madrid y Valle, 2017.

2.10.1.2 Aplicaciones de la Detección por Ultrasonido

- *Monitoreo de Rodamientos:* Todo rodamiento nuevo o usado, bueno o malo, produce ondas de ultrasonido generadas por la fricción entre sus partes, mediante el ultrasonido se puede determinar su estado y diagnosticar si existe algún problema (Olarte y Botero 2011).
- *Detección de fugas de Presión o Vacío:* Los instrumentos de ultrasonido detectan con facilidad el sonido proveniente de la turbulencia generada por un escape de presión o vacío en los sistemas (Olarte y Botero 2011).
- *Inspección de Instalaciones Eléctricas:* Las descargas eléctrica y efectos corona producen ondas ultrasónicas que pueden percibirse a través del análisis por ultrasonido (Olarte y Botero 2011).

2.10.2 Medición de Calidad de Energía

Caracterizar la electricidad en un punto dado de una red eléctrica, se hace a partir de la continuidad del suministro, relativa al número y duración de interrupciones y además de las características de la onda de tensión y de corriente. Una mala calidad de energía eléctrica trae como resultado el incremento en las pérdidas de energía, daños a la producción, a la economía y competitividad empresarial (Berenguer Ungaro et al. 2018).

La PQ comprende un amplio rango de fenómenos electromagnéticos cuyas principales causas se relacionan a la presencia cada vez mayor dentro del sistema eléctrico elementos no lineales, lo que ha afectado el mantenimiento de la forma de onda sinusoidal de voltaje, alterando su amplitud y frecuencia. Por lo tanto resulta necesario el conocer la deformación de la forma de onda de voltaje para verificar si sobrepasa límites permisibles establecidos por normas internacionales IEC, si esto pasa, identificar y analizar la fuente del disturbio, para adoptar finalmente la acción de mitigación necesaria (Marrero Rodríguez 2017).

Desde el punto de vista en el dominio del tiempo, los disturbios de PQ pueden ser continuos o discretos. Los disturbios continuos: distorsión en la forma de onda (armónicos e Inter armónicos), desbalance, fluctuación y desviación del voltaje están presentes en cada ciclo de la onda, mientras que los discretos aparecen como eventos independientes y aislados. Los armónicos son componentes de frecuencia múltiplos enteros de la fundamental, y afectan principalmente a las comunicaciones y sistemas de control y protección, además de incrementar las pérdidas de red, dañar equipos sensibles y causar calentamientos relevantes en máquinas eléctricas (Marrero Rodríguez 2017).

2.10.2.1 Sistema de Monitoreo de Calidad de Energía

El método de gestión de la energía eléctrica se basa principalmente en un sistema de medición de la calidad de la energía que monitorea y registra las cantidades eléctricas fundamentales. El dispositivo de monitoreo de calidad de energía se comprende de cinco terminales de cables (Tres, uno para cada fase, uno de tierra, uno neutro) (Dallas 2022).

El monitoreo y evaluación de las cualidades eléctricas es importante para monitorear la calidad de energía (PQ). Los analizadores de calidad de energía son herramientas que se utilizan para supervisar y analizar líneas eléctricas. La medición de calidad se enfoca en el voltaje de línea, las fluctuaciones de voltaje, las desviaciones de frecuencia, los armónicos individuales y el factor de desequilibrio de voltaje (Momoh 2022)

Para seleccionar un analizador PQ se pueden considerar los siguientes parámetros como: requisitos de energía, facilidad de uso, capacidad de comunicación, alojamiento del instrumento, capacidad para medir tensiones trifásicas y el costo del medidor de calidad de energía (Momoh 2022).

2.10.2.2 Aplicación del Medidor de Calidad de Energía

Su principal aplicación nos permite a los técnicos e ingenieros descubrir oportunidades para ahorrar energía. Ayuda a mantener la rentabilidad con un procedimiento optimizado y accesible para resolver problemas de calidad eléctrica y medir el rendimiento mecánico de motores. Este instrumento elimina la necesidad de sensores mecánicos externos y reduce los costosos tiempos de inactividad ya que analiza los equipos mientras están en marcha. Proporciona información indispensable para tomar decisiones clave de mantenimiento (Fluke 2022)



Ilustración 14-2: Analizador de Energía y Calidad de Energía

Fuente: FLUKE,2022.

CAPITULO III

3 MARCO METODOLOGICO

3.1 Evaluación de la Gestión del Mantenimiento en la Planta de Pintura

Para evaluar la gestión del mantenimiento dentro de la planta de pintura se aplicará la técnica de evaluación AMORMS (Asset Management, Operational, Reliability & Maintenance Survey) o evaluación de Gestión de Activos, Fiabilidad operacional y mantenimiento. Permite la evaluación de 6 áreas del modelo de gestión del mantenimiento. Puesto que, esta evaluación se acopla a los requerimientos de la empresa, tomando en cuenta los recursos actuales dentro de la planta de pintura.

3.1.1 Propósito de Evaluar la Gestión del Mantenimiento

El propósito principal para ejecutar la evaluación de la gestión del mantenimiento es, saber la condición actual en la que se encuentra la gestión de mantenimiento dentro de la planta de pintura y reconocer los puntos de mejora. Además, también sirve para fijar un límite de referencia con base en los resultados de la evaluación para la toma de decisiones dentro de la planta de pintura.

3.1.2 Ponderación de Criterios y Subcriterios

La encuesta se realizó a 7 personas de la planta de pintura que se encuentran relacionados a la planta de pintura de una u otra manera, mismas que fueron asignadas de acuerdo al cargo que ejercen y tiempo de trabajo dentro de la organización.

El tiempo para la respuesta es de 45 minutos, donde se dio a conocer el propósito de la evaluación además de los temas a tratarse dentro de la encuesta y como ayuda adicional se respondieron inquietudes a lo largo de la realización de la misma.

Tabla 1-3: Datos de los Encuestados.

N°	CARGO EN LA EMPRESA	TIEMPO DENTRO DE LA EMPRESA
1	Supervisor de Mantenimiento	10 años
2	Supervisor de Mantenimiento	6 años
3	Asistente de Mantenimiento	7 años

4	Asistente de Mantenimiento	5 años
5	Asistente de Mantenimiento	6 meses
6	Asistente de Mantenimiento	4 meses
7	Asistente de Mantenimiento	3 meses

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

3.1.3 Encuestas Realizadas

Se muestran las respuestas a las preguntas realizadas, así también, se encuentran los criterios de cada persona encuestada referente a la gestión del mantenimiento. En la siguiente Tabla 2-3 se muestra la encuesta realizada por el supervisor de mantenimiento, con la valoración que tiene frente a cada una de las preguntas realizadas.

Tabla 2-3: Encuesta Realizada al Supervisor de Mantenimiento

Modelos de Jerarquización basados en Riesgo (Críticidad de Activos)						
Gestión de Riesgos	1	2	3	4	5	Observaciones
¿Está definida de forma clara el procedimiento de gestión de Riesgos alineada con el modelo de Gestión de Activos?					X	
¿Existe un proceso integral de gestión para el control del riesgo en las áreas de mantenimiento y confiabilidad?				X		
¿Existe un proceso eficiente para comunicar los diferentes niveles de riesgos que están expuestos los integrantes de las áreas de mantenimiento y confiabilidad?					X	
Los riesgos en los procesos de mantenimiento y confiabilidad, ¿son analizados, revisados y actualizados en forma regular?				X		
¿La organización utiliza modelos de gestión de riesgo como base para la toma de decisiones en las áreas de mantenimiento y confiabilidad?				X		
Priorización de equipos	1	2	3	4	5	Observaciones
La organización ha desarrollado un modelo de criticidad de equipos basados en Riesgo					X	
El modelo de Riesgo priorización de equipos está					X	

alineado con los objetivos del negocio						
La información utilizada para estimar la frecuencia y la consecuencia de las fallas es tomada de una fuente confiable y veraz					X	
El modelo de priorización de equipos es un modelo estándar para toda la organización y es utilizado en todas las áreas operacionales de la organización				X		
Los resultados de jerarquización de equipos se utilizan para tomar decisiones de mejora en la operación y mantenimiento de los activos				X		
Gestión de los procesos de Seguridad, Salud y Ambiente	1	2	3	4	5	Observaciones
¿Existe un plan eficiente de emergencias y contingencias en la organización?					X	
¿Se ha comunicado al personal sobre las potenciales consecuencias, sobre los eventos que pueden afectar seguridad, la salud y el ambiente?					X	
¿Se tiene desarrollada una política de emergencias y seguridad bien documentada y comunicada?				X		
¿Los planes de emergencias y seguridad son revisados, mejorados y actualizados de forma continua?				X		
¿Los planes de emergencias están certificados por organizaciones locales e internacionales reconocidas?					X	
Puntuación Total Criterio				28	40	
Proceso de Análisis de Problemas (Análisis de Causa Raíz)						
Gestión de las fallas	1	2	3	4	5	Observaciones
¿Existe un procedimiento estándar para el control de las fallas de los activos en toda la organización?				X		
¿El procedimiento de análisis de fallas es de fácil aplicación y es aceptado por toda la organización?				X		
¿Existe un proceso eficiente sobre la información recopilada en los análisis de fallas (proceso eficiente de documentación y registro)?				X		
¿El proceso de análisis de fallas es llevado a cabo				X		

por personal técnico, que permite validar con hechos reales las causas encontradas?						
¿El proceso de gestión de fallas tiene indicadores previamente definidos y analizados, que permitan medir la eficiencia y la efectividad de las recomendaciones emitidas (el proceso de análisis de fallas está incorporado a un proceso de mejoramiento continuo)?				X		
Equipos multidisciplinarios de optimización	1	2	3	4	5	Observaciones
¿Los trabajadores están bien organizados y motivados para el logro de los objetivos del negocio?				X		
¿El ambiente de trabajo es propicio para realizar análisis que promuevan cambios y procesos de mejora?				X		
¿Existe un proceso eficiente de comunicación entre la gerencia de la organización y el resto de los niveles administrativos?				X		
¿La estructura organizacional de los trabajadores está orientada a soportar el proceso de gestión de activos?				X		
¿Existe un proceso estándar que promueva a los trabajadores a participar en equipos multidisciplinarios?					X	
Métodos de Análisis de Fallas	1	2	3	4	5	Observaciones
¿La organización utiliza un método estándar de análisis de fallas para toda la organización?				X		
¿La metodología de Análisis de Fallas permite identificar el área de oportunidad en función de nivel de Riesgo provocado por los modos de fallas?				X		
¿La metodología de Análisis de Fallas propone un procedimiento que permita validar de forma eficiente las hipótesis planteadas (validación con hechos reales)?				X		
¿Las recomendaciones generadas de los análisis de fallas son seleccionadas a partir de un				X		

procedimiento de Análisis Costo Riesgo Beneficio?						
¿Se evalúan y auditan los resultados reales de las acciones recomendadas una vez finalizados los análisis de fallas?				X		
Puntuación Total Criterio				56	5	
Programación, planificación y optimización de planes de mantenimiento.						
Programación y planificación	1	2	3	4	5	Observaciones
Existe definida una estrategia a nivel gerencial de optimización del mantenimiento					X	
¿Existe un proceso detallado y eficiente de programación y planificación del mantenimiento?					X	
¿Se cumplen de forma eficiente las Estrategias de Planificación y Programación para el mantenimiento de los equipos?				X		
¿Las estrategias de planificación y programación del mantenimiento están alineadas con el plan de negocio de la organización?					X	
¿Las estrategias de planificación y programación del mantenimiento se analizan y se auditan los resultados de aplicación de estas estrategias?				X		
Procedimientos e instructivos de trabajos	1	2	3	4	5	Observaciones
¿Existe una estructura que permita documentar los procedimientos e instructivos de trabajo?					X	
¿Existe un proceso general de referencia y soporte para generar documentación sobre los procedimientos e instructivos de trabajo?					X	
¿Existe un sistema de control documental alineado con algún estándar local o internacional?					X	
¿Los procedimientos de trabajo son utilizados activamente por toda la fuerza de trabajo?				X		
¿Las mejoras a los procedimientos de trabajo son realizadas e incluidas en los planes de adiestramiento del personal?				X		
Planes de Mantenimiento por Condición (técnicas predictivas)	1	2	3	4	5	Observaciones
¿Existe un proceso eficiente de gestión del				X		

mantenimiento por condición?						
¿Se realizan actividades de mantenimiento por condición de forma organizada y continua?				X		
¿Existe un plan de monitoreo de condiciones basado en el nivel de criticidad por Riesgo de los activos de la organización?				X		
¿El monitoreo de condiciones es parte integral de una estrategia de optimización del mantenimiento?				X		
¿El proceso de monitoreo de condiciones de la compañía es auditado y se le hace seguimiento la efectividad de las recomendaciones emitidas?			X			
Técnicas de optimización en las áreas de Confiabilidad, Mantenimiento y Operaciones	1	2	3	4	5	Observaciones
¿La organización ha desarrollado un modelo guía de implantación de las metodologías de Confiabilidad y Mantenimiento, orientado a cumplir con los objetivos del negocio?					X	
¿La organización cuenta con un grupo de soporte encargado de administrar y facilitar las herramientas de Confiabilidad y Mantenimiento?				X		
Se aplican de forma organizada y constante los diferentes métodos de Confiabilidad y Mantenimiento (¿RCM, RCA, TPM, RBI, Lean.....?)				X		
¿Se miden, auditan y confirman los resultados de las aplicaciones de los métodos de Confiabilidad y Mantenimiento?				X		
¿Se revisan y actualizan los métodos de Confiabilidad y Mantenimiento (se toman en cuenta las novedades, actualizaciones y desarrollo de nuevos métodos de optimización)?				X		
Puntuación Total Criterio			3	48	35	
Procesos de asignación de recursos, soporte informático y logístico.						
Sistema de soporte informático de mantenimiento (software mantenimiento)	1	2	3	4	5	Observaciones.
¿Existe un sistema eficiente de soporte informático		X				

para el mantenimiento?						
¿El diseño de las órdenes de trabajo dentro del software es adecuado y se utiliza de forma eficiente?		X				
¿El sistema de órdenes de trabajo ayuda a mejorar los procesos de programación y planificación del mantenimiento?		X				
¿El software de mantenimiento es utilizado en forma extensa por toda la organización, incluyendo todos los tipos de paros (correctivos, preventivos, por condición, detenciones mayores, seguimiento de componentes de fallas, etc.)?		X				
¿El sistema de soporte informático de mantenimiento genera de forma automática indicadores técnicos y económicos, los cuáles son ampliamente usados por toda la organización para mejorar la toma de decisiones?		X				
Sistema de control de documentos	1	2	3	4	5	Observaciones.
Existe un sistema general de administración de documentos técnicos de mantenimiento (planos, P&D, flujogramas de procesos, manual de operaciones, etc.)			X			
¿Existe un sistema de administración de documentos que integre la información del mantenimiento con las otras áreas de la organización?			X			
¿Existe un sistema de administración de documentos que cumpla con alguna norma o estándar de calidad?					X	
¿El sistema de administración de la documentación está totalmente implementado de forma informática?		X				
¿El sistema de administración de documentos, está en línea para toda la organización y se usa de forma amplia y eficiente?			X			
Manejo de repuestos, materiales (logística)	1	2	3	4	5	Observaciones.

¿El proceso general de abastecimiento y logística de repuestos es eficiente?				X		
¿El proceso de abastecimiento y planificación de materiales es organizado y tiene un flujo ordenado y bien controlado?					X	
¿El proceso de manejo y planificación de materiales está desarrollado para toda la planta?					X	
¿El proceso de abastecimiento y planificación de materiales está integrado de forma eficiente con el área de mantenimiento?				X		
¿El sistema de soporte informático de mantenimiento genera de forma automática indicadores técnicos y económicos, los cuáles son ampliamente usados por toda la organización para mejorar la toma de decisiones?			X			
¿EL proceso de Abastecimiento y planificación de materiales tiene indicadores de optimización integrados a nivel de los objetivos del negocio que son evaluados, analizados, utilizados y auditados de forma continua?				X		
Procesos de administración de las bodegas e inventarios	1	2	3	4	5	Observaciones.
¿La administración del inventario es llevada a cabo por una organización bien estructurada para esta función?					X	
¿La administración del inventario es llevada y controlada por una herramienta de soporte informática?					X	
¿El proceso de administración de la bodega y manejo de inventarios, incluye indicadores de optimización de repuestos utilizando técnicas de análisis de Riesgo?			X			
El software de administración de los repuestos genera de forma automática, ¿indicadores de análisis de inventarios que son utilizados para optimizar los diversos procesos de la gestión de			X			

materiales?						
¿Los procesos de administración de abastecimiento y manejo de inventarios están orientados a lograr los objetivos del proceso de Gestión de Activos?			X			
Puntuación Total Criterio		12	21	12	25	
Procesos de control y análisis de indicadores técnicos del negocio (RAM)						
Indicadores de desempeño técnico	1	2	3	4	5	Observaciones
¿Existe un proceso eficiente de registro de la información histórica de los equipos?				X		
¿Se realizan de forma eficiente análisis de mejora sobre la información histórica de fallas y operación de los equipos?				X		
¿Existe un programa estándar de análisis de indicadores implementado de forma eficiente?			X			
¿Se realizan análisis sistemáticos de fallas a partir de indicadores de riesgo previamente definidos?				X		
La organización evalúa y toma decisiones a partir de indicadores de mejora en confiabilidad y mantenibilidad de forma eficiente (¿MTTF, MTTR, Disponibilidad..., ¿etc.?)				X		
Programas de revisión de los planes de mantenimiento	1	2	3	4	5	Observaciones
¿Se realizan análisis de mejora sobre los diferentes tipos de mantenimientos ejecutados?				X		
¿Se toman acciones sobre los análisis realizados a los diferentes tipos de mantenimientos ejecutados?				X		
¿El análisis de los mantenimientos ejecutados, es realizado de forma eficiente y sistemática?				X		
¿Las recomendaciones realizadas a partir del análisis de los mantenimientos ejecutados, son tomadas en cuenta y se auditan los resultados de las acciones emitidas?				X		
¿Se realiza algún proceso de benchmarking en relación con los indicadores de mantenimiento y confiabilidad?				X		
Procesos de control de las operaciones	1	2	3	4	5	Observaciones

¿Existe un procedimiento dónde se detallan los procesos productivos?				X		
¿Se relacionan los procesos operacionales con todas actividades de producción?				X		
¿Se relaciona las estrategias operacionales con las estrategias del mantenimiento?				X		
¿Están vinculadas de forma eficiente las metas productivas con la planificación de las actividades de mantenimiento?				X		
¿Están integradas las estrategias de producción con los procesos de programación y planificación del mantenimiento?				X		
Control de contratistas	1	2	3	4	5	Observaciones
¿El uso de contratistas es eficiente y se tienen modelos de contratos establecidos por áreas y tipos de trabajo?				X		
¿Los contratos de corto y largo plazo están totalmente estandarizados?				X		
¿Existe un proceso de validación y evaluación de las credenciales de las contratistas que participan en los diferentes procesos de mantenimiento y operación?				X		
¿Existen un proceso eficiente de evaluación del desempeño real de los contratistas, que sea constantemente monitoreado y que permita tomar acciones sobre las desviaciones encontradas?				X		
¿Los contratos de negocios establecidos con los contratistas están totalmente alineados en términos de estrategias con los objetivos y metas del negocio?				X		
Gestión de talleres (externos)	1	2	3	4	5	Observaciones
La organización cuenta con un servicio eficiente: ¿propio o contratado de talleres para actividades de mantenimiento?					X	
¿Existe un proceso interno que permita evaluar el desempeño de los servicios prestados por los				X		

talleres?						
¿Existe un modelo de contrato estándar desarrollado para todos los servicios solicitados a los talleres?				X		
¿Existe un procedimiento específico que permita evaluar los tiempos de entrega, los costos y la calidad de ejecución de los servicios ofrecidos por los talleres?				X		
¿Existe un modelo de evaluación y benchmarking certificado bajo una norma local o internacional, que permita evaluar los Servicios ofrecidos por los talleres?				X		
Puntuación Total Criterio			3	92	5	
Proceso de revisión y mejora continua						
Control de Calidad	1	2	3	4	5	Observaciones
¿Existe un modelo eficiente de gestión de la calidad dentro del área de mantenimiento?				X		
¿Existe el conocimiento de que la calidad contribuye a la mejora del desempeño de los procesos de mantenimiento y confiabilidad?				X		
¿La organización del mantenimiento está alineada con los programas de mejoramiento de la calidad?				X		
¿La organización de mantenimiento ha sido acreditada en alguna norma relacionada con la calidad?				X		
¿La compañía está acreditada en alguna norma de la calidad y se ha incorporado el proceso de gestión de la calidad dentro del mantenimiento?				X		
Programas de mejora continua	1	2	3	4	5	Observaciones
¿Las mejoras en los procesos de mantenimiento y confiabilidad son llevadas de forma ordenada y actualizadas bajo un modelo específico?				X		
¿Existe un marco de referencia para incluir mejoras en los procesos de mantenimiento y confiabilidad?				X		
¿Existe un programa de seguimiento a las propuestas de mejoras en las áreas de				X		

mantenimiento y confiabilidad?						
¿El proceso de Mejora continua es una práctica común en las áreas mantenimiento y confiabilidad?				X		
¿El proceso de mejora continua es una práctica en todos los procesos que conforman el proceso industrial analizado?				X		
Programas de desarrollo de personal	1	2	3	4	5	Observaciones
¿La organización cuenta con un departamento que se encargue del proceso de adiestramiento formal al personal de toda la organización?			X			
¿Se provee de adiestramiento eficiente al personal nuevo de la organización?				X		
¿Existe un plan de entrenamiento específico y ajustado a todo el ciclo de vida del trabajador?				X		
¿El programa de adiestramiento de todo el personal está adecuado al puesto de trabajo y está orientado a lograr los objetivos del negocio?				X		
¿El programa de entrenamiento incluye formación en las áreas técnicas modernas de mantenimiento, confiabilidad y gestión de activos?				X		
Puntuación Total Criterio			3	56		

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

3.1.4 Análisis de los resultados de la evaluación

En esta parte se estudian los resultados de la evaluación realizada al personal de la planta. Para un mejor manejo de los datos se realizó la tabulación de los resultados a través de una hoja de cálculo en Excel para desarrollar las operaciones pertinentes. A continuación, se muestra en la Tabla 3-3 los resultados obtenidos en las encuestas ejecutadas a las 12 de la planta de pintura, las puntuaciones totales de cada encuestados, los promedios de cada área base al número de encuestados, y la sumatoria total de los promedios. El resultado total alcanzado, basado en el intervalo de estimación se refiere a la categorización de la gestión de mantenimiento actual dentro de la planta de pintura.

Tabla 3-3: Resultados

Total, de Resultados de Evaluación		Puntaje Total por Áreas de cada Encuesta						Total, Puntuaciones por Área	Puntaje Mínimo	Puntaje Máximo	
		1	2	3	4	5	6				7
Áreas	Modelos de Jerarquización basados en Riesgo (Críticidad de Activos)	47	57	75	68	67	57	48	419	15	75
	Proceso de Análisis de Problemas (Análisis de Causa Raíz)	60	60	65	61	70	44	45	405	15	75
	Procesos de programación, planificación y optimización de planes de mantenimiento, inspección y operaciones	71	73	98	86	95	56	62	541	20	100
	Procesos de asignación de recursos, soporte informático y soporte logístico a los procesos de Mantenimiento y Confiabilidad	74	67	84	70	89	50	50	484	21	105
	Procesos de control y análisis de indicadores	101	91	97	100	111	63	67	630	25	125

técnicos del negocio (RAM)											
Proceso de revisión y mejora continua	54	61	65	59	67	46	51	403	15	75	
Suma Total								2882	-		
Resultado								411,71	-		
Categoría actual de la gestión de mantenimiento según el rango de estimación	"Muy Buenas Prácticas de Mantenimiento"										

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

Tabla 4-3: Resultados de Evaluación por Criterio

Total, de Resultados de Evaluación		Puntaje Máximo	Puntaje Resultado	Clasificación
Áreas	Modelos de Jerarquización basados en Riesgo (Críticidad de Activos)	5	3,99	Aspecto Regular
	Proceso de Análisis de Problemas (Análisis de Causa Raíz)	5	3,93	Aspecto Regular
	Procesos de programación, planificación y optimización de planes de mantenimiento, inspección y operaciones	5	3,90	Aspecto Regular
	Procesos de asignación de recursos, soporte informático y soporte logístico a los procesos de Mantenimiento y Confiabilidad	5	3,73	Aspecto Regular
	Procesos de control y análisis de indicadores técnicos del negocio (RAM)	5	3,70	Aspecto Regular
	Proceso de revisión y mejora continua	5	3,72	Aspecto Regular

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

El desenlace fue el siguiente, el departamento de mantenimiento consiguió un resultado de 360,25 puntos lo que mediante la Tabla 4-2: Categoría del Mantenimiento nos muestra que, la gestión del mantenimiento en la planta de pintura en la empresa CIAUTO CIA.LTDA., se encuentra en la categoría de “Muy Buenas Prácticas de Mantenimiento”, esto según la metodología AMORMS ;además en la Ilustración 1-3 se representan un diagrama de radar con los resultados obtenidos por cada área analizada, donde se tiene un máximo de 5 puntos y el promedio obtenido entre los encuestados, donde nos establece que todos los criterios se encuentran dentro de la categoría “Aspecto Regular” sirviéndonos como punto de partida para una oportunidad de mejora dentro del departamento de mantenimiento.

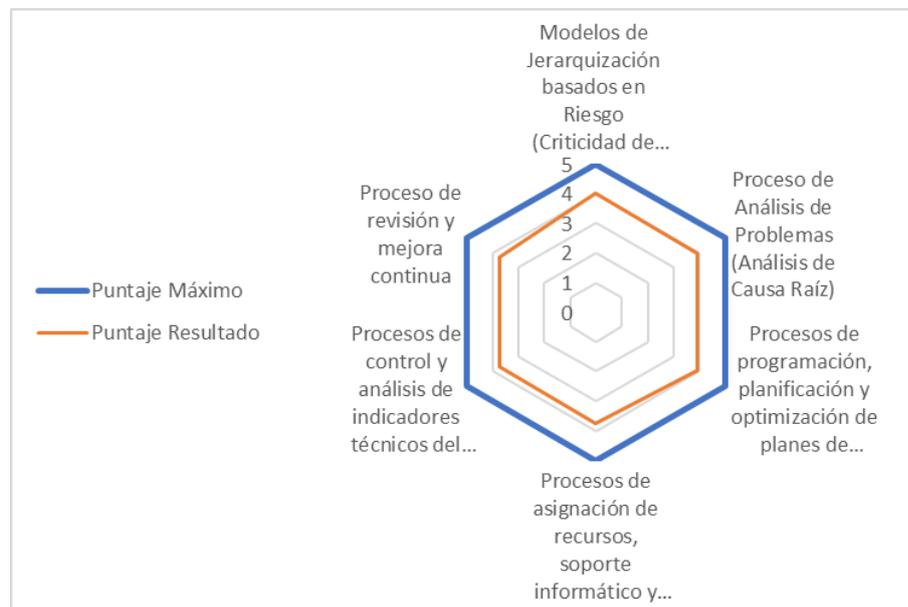


Ilustración 1-3:Diagrama radial de la Gestión del Mantenimiento

Realizado por: Aldaz, Jonathan, 2022.

3.2 Inventario técnico y codificación

El inventario existente en la planta de pintura se establece mediante subdivisiones, conocidas como niveles de jerarquía. Se tienen cuatro niveles en el orden de planta, el área o sección a la que corresponde, el sistema y los equipos que componen el mismo. Se aprecia que cada uno de los activos de la planta de pintura mantienen una codificación característica. Sin embargo, gracias a la mejora continua de los procesos se han adquirido nuevos sistemas y equipos que se deben añadir para mantener actualizado el inventario técnico dentro de la empresa. A continuación, se muestra la codificación y sus diferentes niveles.

Tabla 5-3: Codificación de los Dos Primeros Niveles

NIVEL 1: PLANTA	
CODIGO	DESCRIPCION
PP	PINTURA
NIVEL 2: AREAS	
CODIGO	DESCRIPCION
EL	ELPO
SE	LIJADO Y SELLADO
CO	CABINA PINTURA
SM	SALA DE MEZCLAS
FI	FINESSE
MA	SALA DE MÁQUINAS
TR	TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL
TP	TRATAMIENTO DE AGUA PROCESO
CG	CABINA DE PINTURA GÖTTERT

Fuente: Barrionuevo Bayas, 2022

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

El tercer nivel jerárquico corresponde a los sistemas dentro del área, el cual se maneja mediante un código de cuatro dígitos, dos alfabéticos y dos numéricos. En la Tabla 6-3 se muestra el área de CABINA DE PINTURA GÖTTERT.

Tabla 6-3: Codificación de los sistemas del área de CABINA DE PINTURA GÖTTERT

NIVEL 3: SISTEMAS	
CODIGO	DESCRIPCION
EE01	EQUIPOS AUXILIARES
CC01	CISTERNA CABINA
EX01	EXTRACTOR AIRE 01 (CABINA)
CO01	CABINA OREO
CR01	CABINA REPOSICION DE AIRE
CS01	CABINA DE SECADO
TR01	TRANSPORTE DE UNIDADES
EX02	EXTRACTOR SALIDA DEL HORNO

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

La codificación del resto de sistemas en las áreas faltantes, se encuentran en el Anexo B.

Por último, en el cuarto nivel jerárquico se codifican los equipos de cada sistema, en donde el código se maneja con cinco dígitos y se encuentra compuesto por tres letras y dos números. En la Tabla 7-3 se observan los equipos del sistema CABINA OREODE SECADO.

Tabla 7-3: Codificación de los equipos del sistema CABINA OREODE SECADO

NIVEL 4: EQUIPOS	
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
MQE01	QUEMADOR 01 SECADO RADIACION
EME01	MOTOR ELÉCTRICO DEL QUEMADOR 01 SECADO POR RADIACION
ICT01	CONTROLADOR DE TEMPERATURA 01 DE SECADO POR RADIACION
MVE01	VENTILADOR DEL QUEMADOR SECADO POR RADIACION
EME02	MOTOR ELÉCTRICO DEL VENTILADOR DEL QUEMADOR 01 SECADOR POR RADIACION
MVE02	VENTILADOR 02 DEL QUEMADOR SECADO POR RADIACION
EME03	MOTOR ELÉCTRICO 02 DEL VENTILADOR DEL QUEMADOR 01 SECADOR POR RADIACION
MQE02	QUEMADOR 01 SECADO POR CONVECCION
EME04	MOTOR ELÉCTRICO DEL QUEMADOR 01 SECADO POR CONVECCION
ICT02	CONTROLADOR DE TEMPERATURA 01 DE SECADO POR CONVECCION
MQE01	QUEMADOR 01 CABINA OREO
MVE03	VENTILADOR DEL QUEMADOR SECADO POR CONVECCION
EME01	MOTOR ELÉCTRICO DEL VENTILADOR DEL QUEMADOR 01 CABINA OREOSECADOR POR CONVECCION
ICT01	CONTROLADOR DE TEMPERATURA 01 DE CABINA OREO

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

La codificación del resto de equipos de los sistemas faltantes se encuentra en el Anexo C.

Toda la codificación realizada anteriormente, se muestra unida en la Figura

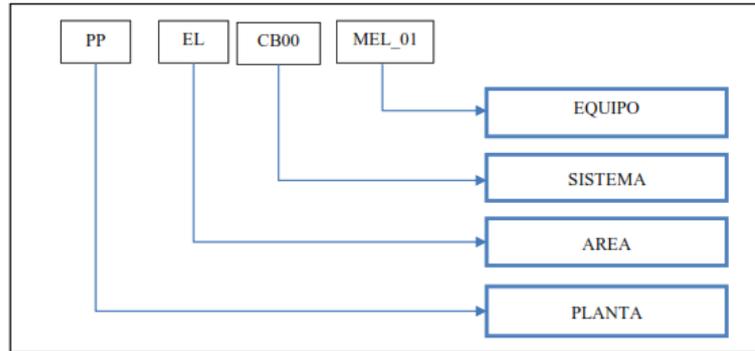


Ilustración 2-3: Codificación Completa

Fuente: Barrionuevo Bayas, 2022

La estructura de la codificación completa de todos los niveles jerárquicos dentro de la planta de pintura se puede observar en la Tabla 8-3.

Tabla 8-3: Inventario y Codificación de la planta de Pintura

		INVENTARIO Y CODIFICACIÓN DE LOS ACTIVOS DE LA PLANTA DE PINTURA							
NIVEL 1: PLANTA		NIVEL 2: AREA		NIVEL 3: SISTEMA			NIVEL 4: EQUIPO		
Cod	Descripción	Cod.	Descripción	Cod.	Descripción	Código Final	Cod.	Descripción	Código Final
PP	PINTURA	EL	ELPO	EU01	ELEVADOR DE UNIDADES INGRESO	PP-EL - EU01	MEL01	TECLE DEMAG INGRESO	PP-EL-EU01-MEL01
PP	PINTURA	EL	ELPO				EME01	MOTOR ELÉCTRICO DEL TECLE DEMAG INGRESO	PP-EL-EU01-EME01
PP	PINTURA	EL	ELPO	TR01	TRANSPORTE DE UNIDADES	PP-EL - TR01	MDO01	DOLLIES	PP-EL-TR01-MDO01
PP	PINTURA	EL	ELPO				MDO02	DOLLIES	PP-EL-TR01-MDO02
PP	PINTURA	EL	ELPO				MDO03	DOLLIES	PP-EL-TR01-MDO03
PP	PINTURA	EL	ELPO				MDO04	DOLLIES	PP-EL-TR01-MDO04
PP	PINTURA	EL	ELPO				MDO05	DOLLIES	PP-EL-TR01-MDO05

PP	PINTURA	EL	ELPO				MDO06	DOLLIES	PP-EL-TR01-MDO06
PP	PINTURA	EL	ELPO				MDO07	DOLLIES	PP-EL-TR01-MDO07
PP	PINTURA	EL	ELPO				MDO08	DOLLIES	PP-EL-TR01-MDO08
PP	PINTURA	EL	ELPO				MDO09	DOLLIES	PP-EL-TR01-MDO09
PP	PINTURA	EL	ELPO				MDO10	DOLLIES	PP-EL-TR01-MDO10

Fuente: Barrionuevo Bayas, 2022

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

El inventario técnico de la planta de pintura se muestra en el Anexo D.

3.3 Fichas Técnicas

Para la recolección de los datos de operación se maneja una ficha técnica, puesto que, este documento permite el registro de datos generales acerca del origen, adquisición, parámetros de funcionamiento, etc. En la Tabla 9-3 se presenta una de las fichas técnicas del sistema CABINA DE SECADO.

Tabla 9-3: Ficha Técnica QUEMADOR 01 SECADO RADIACION

	FICHA TÉCNICA MAQUINARIA CIAUTO	
	PP-CG-CS01-MQE01	
QUEMADOR 01 SECADO RADIACION	ESPECIFICACIONES	
	QUEMADOR	
	MODELO	FZT
	NÚMERO DE SERIE	48798
	CODIGO	S0 07 08 S0
	PERÍODO DE INSTALACIÓN	
	Desde	Enero 2022
	Hasta	Septiembre 2022
	CAPACIDAD CALORIFICA	
	Inyector	3 - 3 gph
	Presión	12 Kg/cm ²
	Capacidad	250000 Kcal/h
	Tamaño	-
	Peso	-
	Tipo	GAS - OIL
	AÑO DE FABRICACION	-
ESTADO DE LA	Operativo	

	MAQUINARIA	
	TIEMPO DE VIDA ÚTIL	10 años
	UBICACIÓN	Cabina Gotter
	PROCEDENCIA	-
	MOTOR	
	MODELO	TE0UA0X000302P0.5
	NÚMERO DE SERIE	24ABR08
	STD. No.	-
	FABRICANTE	WEG
	SISTEMA ELÉCTRICO	
	Voltaje	220/380 V
	Frecuencia	50Hz
	Número de Fases	3
	Corriente	1,69/0,978 A
	Factor de Potencia (Cosφ)	0,85
	Potencia (kW)	0,37 kW
	Grado de Protección (IP)	55
	Velocidad (RPM)	2730/min
	Conexión	Δ / Y
	Tamaño	-
	Peso	-
	Tipo	Motor de baja tensión
	AÑO DE FABRICACION	-
	ESTADO DE LA MAQUINARIA	Operativo
	TIEMPO DE VIDA ÚTIL	10 años
	UBICACIÓN	Cabina Gotter
	PROCEDENCIA	Brasil

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

El resto de fichas técnicas del resto de sistemas se muestran en el Anexo E.

3.4 Análisis de criticidad de los equipos de la planta de pintura

Para realizar el análisis de criticidad, se hizo uso del método semicuantitativo conocido como criticidad total por riesgo, el cual es práctico y fácil de realizar, y además se encuentra en la definición de riesgo, como el producto de la frecuencia de un fallo por la gravedad del mismo.

Para evaluar el impacto de la falla, se tienen los criterios de la Tabla 15-2, los mismos que han sido ajustados al tipo de sistema que se evalúan. Además, se observan los criterios acompañados de su cuantificación de cada uno habiendo valores altos, que indican un impacto mayor.

A continuación, se observa un ejemplo del sistema ELEVADOR DE UNIDADES INGRESO de código PP-EL -EU01.

Tabla 10-3: Análisis de Criticidad de ELEVADOR DE UNIDADES INGRESO

Criterio	Valoración	Descripción
Impacto Operacional (IO)	3	Afecta un 75% o mas
Costo de Reparación (CR)	0.5	Entre \$ 500 - \$ 3000
Equipo de Respaldo (ER)	2	Sin equipo de respaldo
Tiempo promedio para Reparar (TPPR)	0.5	Entre 1 – 5 horas
Índice de seguridad (IS)	1	Muerte
Índice ambiental (IA)	2	Daño ambiental
Frecuencia de Ocurrencia (FO)	8	Tres veces cada año
Efecto Operacional (EO)	3	-
Gravedad (G)	6.5	-
Riesgo	52	Alta Criticidad

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

En la Tabla 11-3 se muestran ejemplos de criticidad.

Tabla 11-3: Ejemplos de Análisis de Criticidad de la planta de pintura

SISTEMA	IO	CR	ER	TPPR	IS	IA	FO	EO	G	RSG	CRTDD
ELEVADOR DE	3	0,5	2	0,5	1	2	8	3	6,5	52	ALTA

UNIDADES INGRESO												
TRANSPORTE DE UNIDADES	0,75	0,5	0,25	0,5	0,5	1,5	6	0,0938	2,5938	15,5625		BAJA
CARGO BUS 00	1,5	0,75	1,5	0,75	0,75	1,5	8	1,6875	4,6875	37,5		MEDIA
CARGO BUS 01	1,5	0,75	1,5	0,75	0,75	1,5	8	1,6875	4,6875	37,5		MEDIA
CARGO BUS 02	1,5	0,75	1,5	0,75	0,75	1,5	8	1,6875	4,6875	37,5		MEDIA
CARGO BUS 03	1,5	0,75	1,5	0,75	0,75	1,5	8	1,6875	4,6875	37,5		MEDIA
CARGO BUS 04	1,5	0,75	1,5	0,75	0,75	1,5	8	1,6875	4,6875	37,5		MEDIA
CARGO BUS 05	1,5	0,75	1,5	0,75	0,75	1,5	8	1,6875	4,6875	37,5		MEDIA
CUBA 01 DE DESENGRASE POR ASPERSIÓN	3	0,5	2	0,5	0,25	1	10	3	4,75	47,5		ALTA
CUBA 02 DE DESENGRASE POR INMERSIÓN	3	0,5	2	0,5	0,25	1	10	3	4,75	47,5		ALTA

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

El resto de sistemas realizados el análisis de criticidad se muestran en el Anexo F.

Para conseguir el nivel de criticidad de cada sistema, se eligen los valores totales de riesgo calculados y se establece la categoría de Criticidad según los criterios de la Tabla 16-2.

3.4.1 Categorización de los Sistemas

Realizado el análisis de criticidad de los sistemas de la planta de pintura, se llevó a cabo la categorización de cada uno de los sistemas como se muestra en la Tabla 12-3.

Tabla 12-3: Categorización de los equipos de la planta de pintura.

SISTEMA	CODIGO	CRITICIDAD
ELEVADOR DE UNIDADES INGRESO	PP-EL-EU01	ALTA
CUBA 01 DE DESENGRASE POR ASPERSIÓN	PP-EL-CU01	ALTA
CARGO BUS 00	PP-EL-CB00	MEDIA
CARGO BUS 01	PP-EL-CB01	MEDIA
TABLERO DISTRIBUCIÓN 220 V	PP-MA-TD02	BAJA
CISTERNA CABINA	PP-CG-CC02	BAJA

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

La categorización de toso los sistemas de la planta de pintura se muestra en el Anexo G.

A continuación, se muestran los resultados del análisis de criticidad en la Tabla 13-3.

Tabla 13-3: Resultados del análisis de criticidad en la planta de pintura

Nivel de Criticidad	Resultados
Alta Criticidad (AC)	58
Media Criticidad (MC)	43
Baja Criticidad (BC)	26
Total	127

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

3.5 Selección de Equipos Críticos

Se procedió a seleccionar de todos los equipos críticos aquellos que son propensos al mantenimiento basado en la condición mediante termografía, análisis vibracional o medición de resistencia de aislamiento en motores eléctricos, esta selección se muestra a continuación en la Tabla 14-3.

Tabla 14-3: Selección de Equipos Críticos para Mantenimiento por Condición

SISTEMA	CODIGO	PROPENSO
ESTACION FONDO BLANCO	PP-SM-EF01	No
ESTACION FONDO GRIS	PP-SM-EF02	No
ESTACIÓN PINTURA NEGRO	PP-SM-EP01	No
ESTACIÓN PINTURA PLATA	PP-SM-EP02	No

ESTACIÓN PINTURA PLOMO	PP-SM-EP03	No
ESTACIÓN PINTURA ROJO	PP-SM-EP04	No
ESTACIÓN PINTURA BLANCO	PP-SM-EP05	No
ESTACIÓN PINTURA DORADO	PP-SM-EP06	No
ESTACIÓN PINTURA BARNIZ	PP-SM-EP07	No
ESTACIÓN THINNER	PP-SM-EP08	No
BOMBA NEUMÁTICA DE PISTÓN CHINA	PP-FI-BO01	No
CABINA DE PINTURA PLÁSTICOS	PP-MA-CP01	No
CONTRA INCENDIOS	PP-MA-CI01	No
TRANSPORTE DE UNIDADES	PP-CG-TR01	No
FILTRO PRENSA DE LA CUBA 05	PP-EL-FP01	No
BOMBEO DIÉSEL	PP-MA-BM01	No
EXTRACTOR 01 DE LA CABINA DE PINTURA PLÁSTICOS	PP-MA-EX01	No
EXTRACTOR DE RECIRCULACIÓN DE LA CABINA DE PINTURA PLÁSTICOS	PP-MA-EX02	No
ELEVADOR DE UNIDADES INGRESO	PP-EL-EU01	Si
CUBA 01 DE DESENGRASE POR ASPERSIÓN	PP-EL-CU01	Si
CUBA 02 DE DESENGRASE POR INMERSIÓN	PP-EL-CU02	Si
CUBA 03 DE ENJUAGE	PP-EL-CU03	Si
CUBA 04 DE PASIVADO	PP-EL-CU04	Si
CUBA 05 DE FOSFATADO	PP-EL-CU05	Si
CUBA 06 DE ENJUAGE	PP-EL-CU06	Si
CUBA 07 DE ENJUAGE	PP-EL-CU07	Si
CUBA 08 ECOAT	PP-EL-CU08	Si
MÓDULO DE ULTRAFILTRADO CUBA 08 ECOAT	PP-EL-MU01	Si
CUBA 09 DE ENJUAGE	PP-EL-CU09	Si
CUBA 10 DE ENGUAJE	PP-EL-CU10	Si
CUBA 11 DE ENGUAJE	PP-EL-CU11	Si
CORTINA DE AIRE INGRESO HORNO ELPO M2	PP-EL-CE01	Si
VENTILADOR RECIRCULACIÓN A LA CÁMARA HORNO ELPO M4	PP-EL-VE07	Si
CORTINA DE AIRE SALIDA HORNO ELPO M5	PP-EL-CE02	Si

CABINA HORNO ELPO	PP-EL-CP01	Si
ELEVADOR UNIDADES SALIDA	PP-EL-EU02	Si
CASA DE AIRE	PP-CP-CS01	Si
VENTILADOR 01 DE LA CASA DE AIRE	PP-CP-VE01	Si
VENTILADOR 02 DE LA CASA DE AIRE	PP-CP-VE02	Si
EXTRACTOR DE AIRE 01	PP-CP-EX01	Si
EXTRACTOR DE AIRE 02	PP-CP-EX02	Si
EXTRACTOR DE AIRE 03	PP-CP-EX03	Si
EXTRACTOR DE AIRE 04	PP-CP-EX04	Si
EXTRACTOR DE AIRE 05	PP-CP-EX05	Si
CORTINA DE AIRE INGRESO HORNO ESMALTE M2	PP-CP-CE01	Si
VENTILADOR RECIRCULACIÓN A LA CÁMARA DEL HORNO ESMALTE M3	PP-CP-VE03	Si
VENTILADOR DE RECIRCULACIÓN A LA CÁMARA DEL HORNO ESMALTE M5	PP-CP-VE05	Si
CORTINA DE AIRE SALIDA DEL HORNO ESMALTE M7	PP-CP-CE02	Si
CONVEYOR HORNO ESMALTE M10	PP-CP-CY01	Si
VENTILADOR M11 DEL CONVEYOR HORNO ESMALTE M10	PP-CP-VE08	Si
CABINA HORNO ESMALTE	PP-CP-CP01	Si
CALENTADOR DE AGUA	PP-MA-CA01	Si
SALA TRANSFORMADORES	PP-MA-ST01	Si
TABLERO DISTRIBUCIÓN 380 V	PP-MA-TD01	Si
OSMOSIS INVERSA	PP-TP-OS01	Si
CABINA OREO 01	PP-CG-CO01	Si
CABINA REPOSICION DE AIRE	PP-CG-CR01	Si
CABINA DE SECADO	PP-CG-CS01	Si

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

3.6 Metodología del Mantenimiento centrado en la Confiabilidad

Para la ejecución de la metodología se aplicó el análisis semicuantitativo de criticidad, mediante el cual se obtuvieron todos los sistemas críticos y a continuación se clasificaron aquellos que

son propensos a un mantenimiento basado en la condición dentro de la planta de pintura a los cuales se va aplicar el RCM, estos equipos se muestran en la Tabla 15-3.

Tabla 15-3: Sistemas a Realizar el RCM

Descripción del Sistema	Código
ELEVADOR DE UNIDADES INGRESO	PP-EL-EU01
CUBA 01 DE DESENGRASE POR ASPERSIÓN	PP-EL-CU01
CUBA 02 DE DESENGRASE POR INMERSIÓN	PP-EL-CU02
CUBA 03 DE ENJUAGE	PP-EL-CU03
CUBA 04 DE PASIVADO	PP-EL-CU04
CUBA 05 DE FOSFATADO	PP-EL-CU05
CUBA 06 DE ENJUAGE	PP-EL-CU06
CUBA 07 DE ENJUAGE	PP-EL-CU07
CUBA 08 ECOAT	PP-EL-CU08
MÓDULO DE ULTRAFILTRADO CUBA 08 ECOAT	PP-EL-MU01
CUBA 09 DE ENJUAGE	PP-EL-CU09
CUBA 10 DE ENGUAJE	PP-EL-CU10
CUBA 11 DE ENGUAJE	PP-EL-CU11
CORTINA DE AIRE INGRESO HORNO ELPO M2	PP-EL-CE01
VENTILADOR RECIRCULACIÓN A LA CÁMARA HORNO ELPO M4	PP-EL-VE07
CORTINA DE AIRE SALIDA HORNO ELPO M5	PP-EL-CE02
CABINA HORNO ELPO	PP-EL-CP01
ELEVADOR UNIDADES SALIDA	PP-EL-EU02
CASA DE AIRE	PP-CP-CS01
VENTILADOR 01 DE LA CASA DE AIRE	PP-CP-VE01
VENTILADOR 02 DE LA CASA DE AIRE	PP-CP-VE02
EXTRACTOR DE AIRE 01	PP-CP-EX01
EXTRACTOR DE AIRE 02	PP-CP-EX02
EXTRACTOR DE AIRE 03	PP-CP-EX03
EXTRACTOR DE AIRE 04	PP-CP-EX04
EXTRACTOR DE AIRE 05	PP-CP-EX05
CORTINA DE AIRE INGRESO HORNO ESMALTE M2	PP-CP-CE01
VENTILADOR RECIRCULACIÓN A LA CÁMARA DEL HORNO ESMALTE M3	PP-CP-VE03

VENTILADOR DE RECIRCULACIÓN A LA CÁMARA DEL HORNO ESMALTE M5	PP-CP-VE05
CORTINA DE AIRE SALIDA DEL HORNO ESMALTE M7	PP-CP-CE02
CONVEYOR HORNO ESMALTE M10	PP-CP-CY01
VENTILADOR M11 DEL CONVEYOR HORNO ESMALTE M10	PP-CP-VE08
CABINA HORNO ESMALTE	PP-CP-CP01
CALENTADOR DE AGUA	PP-MA-CA01
SALA TRANSFORMADORES	PP-MA-ST01
TABLERO DISTRIBUCIÓN 380 V	PP-MA-TD01
OSMOSIS INVERSA	PP-TP-OS01
CABINA OREO 01	PP-CG-CO01
CABINA REPOSICION DE AIRE	PP-CG-CR01
CABINA DE SECADO	PP-CG-CS01

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

3.6.1 Contexto operacional de los equipos de la planta de pintura

Los criterios que se deben tomar en cuenta para definir el contexto operacional del equipo son los siguientes:

- Funcionamiento
- Aspectos Climáticos
- Normas y Reglamentos
- Proceso y Operación
- Redundancia
- Estándar de Calidad
- Afectaciones Medioambientales
- Riesgos a la Seguridad

En la Tabla 16-3 se observa un ejemplo de contexto operacional de uno de los sistemas descrito como CORTINA DE AIRE INGRESO HORNO ESMALTE M2.

Tabla 16-3: Contexto Operacional: CORTINA DE AIRE INGRESO HORNO ESMALTE M2.

Contexto Operacional del sistema: CORTINA DE AIRE INGRESO HORNO ESMALTE M2.	
Funcionamiento:	<p>El ventilador centrífugo cumple la función de crear una cortina de aire que recircula a la salida de la cabina del horno, para evitar que este fluya a sus alrededores, el aire circula a una velocidad de 1000 r/min.</p> <p>El sistema de transmisión es de bandas y poleas, el motor tiene una velocidad de salida de 1440 r/min.</p>
Aspectos climáticos:	El sistema de la cortina de aire se encuentra dentro de la cubierta de la planta de pintura a una temperatura ambiente.
Normas y reglamentos:	<p>Reglamento interno de seguridad y medio ambiente. CIAUTO (ISO 45001)</p> <p>El reglamento interno de la casa de salud permite una sonoridad que oscila entre los 65 y los 70 dB</p>
Proceso y operación:	<p>Desde el tablero de control se encienden las cortinas de entrada M2 y salida M7 a continuación se encienden los quemadores junto con los ventiladores de recirculación de alta y baja temperatura y, por último, arranca el soplador a la salida del horno esmalte junto con el conveyor.</p> <p>Este sistema opera 260 días de año con una jornada de 10 horas al día.</p>
Redundancia:	No cuenta con sistemas o equipos redundantes la producción se puede recuperar en horas extra.
Estándar de calidad:	El ventilador centrífugo entrega una velocidad de 1000 r/min con una potencia de 7.5kW y una caudal de $202317 \text{ m}^3/h$
Afectaciones medioambientales:	En caso de que el sistema entre en fallo o avería este no producirá afectaciones al medio ambiente
Riesgos a la seguridad:	<p>Riego eléctrico</p> <p>Riesgo de atrapamiento</p>

Fuente: Barrionuevo Bayas, 2022

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

En el Anexo H se encuentra el contexto operacional del resto de sistemas seleccionados.

3.6.2 Funciones y estándares de funcionamiento del activo

Una vez descrito el contexto operacional se describe la función de cada sistema el mismo que contiene un verbo, objeto y un estándar de funcionamiento como se muestra en la Tabla 17-3.

Tabla 17-3: Definición de Funciones

SISTEMAS	VERBO	OBJETO	ESTANDAR DESEMPEÑO
CABINA OREO 01	Formar	área de tratamiento térmico de la pintura	a una temperatura de 65°C
CABINA REPOSICION DE AIRE	Recircular	aire a la cabina de pintura	a una velocidad de 1000 r/min.
CABINA DE SECADO	Secar	Con aire caliente	a una temperatura de 175°C
CORTINA DE AIRE INGRESO HORNO ESMALTE M2	Formar	una cortina de aire a la entrada del horno esmalte	a una velocidad de 1000 r/min
CORTINA DE AIRE SALIDA DEL HORNO ESMALTE M7	Formar	una cortina de aire a la salida del horno esmalte	a una velocidad de 1000 r/min
CABINA HORNO ESMALTE	Calentar	la cabina del horno ELPO	a una temperatura de 175°C
CASA DE AIRE	Calienta	aire	A una temperatura de 25°C
CONVEYOR HORNO ESMALTE M10	Transportar	unidades por la cabina del horno esmalte ELPO	a una velocidad de 0,37 m/min
EXTRACTOR DE AIRE 01	Extraer	el aire de la cabina pintura	a una velocidad de 1000 r/min.
EXTRACTOR DE AIRE 02	Extraer	el aire de la cabina pintura	a una velocidad de 1000 r/min.
EXTRACTOR DE AIRE 03	Extraer	el aire de la cabina pintura	a una velocidad de 1000 r/min.
EXTRACTOR DE AIRE 04	Extraer	el aire de la cabina pintura	a una velocidad de 1000 r/min.
EXTRACTOR DE	Extraer	el aire de la cabina	a una velocidad de 1000

AIRE 05		pintura	r/min.
VENTILADOR 01 DE LA CASA DE AIRE	Recircular	aire a la casa de aire	a una velocidad de 1000 r/min.
VENTILADOR 02 DE LA CASA DE AIRE	Recircular	aire a la casa de aire	a una velocidad de 1000 r/min.
VENTILADOR RECIRCULACIÓN A LA CÁMARA DEL HORNO ESMALTE M3	Recircular	aire a la cámara del horno esmalte	a una velocidad de 1000 r/min.
VENTILADOR DE RECIRCULACIÓN A LA CÁMARA DEL HORNO ESMALTE M5	Recircular	aire a la cámara del horno esmalte	a una velocidad de 1000 r/min.
VENTILADOR M11 DEL CONVEYOR HORNO ESMALTE M10	Recircular	aire a la salida de la cámara del horno esmalte	a una velocidad de 1000 r/min.
CORTINA DE AIRE INGRESO HORNO ELPO M2	Formar	Una cortina de aire a la entrada del horno ELPO	a una velocidad de 1000 r/min.
CORTINA DE AIRE SALIDA HORNO ELPO M5	Formar	Una cortina de aire a la salida del horno ELPO	a una velocidad de 1000 r/min.
CABINA HORNO ELPO	Calentar	la cabina del horno ELPO	a una temperatura de 175°c
CUBA 01 DE DESENGRASE POR ASPERSIÓN	Desengrasar	la carrocería por aspersion mediante agua tratada	a una presión de 32 psi
CUBA 02 DE DESENGRASE POR INMERSIÓN	Desengrasar	por inmersión la superficie metálica	con una presión de recirculación de 32psi
CUBA 03 DE ENJUAGE	Enjuagar	la carrocería con una recirculación de agua tratada	a una presión de 32 psi
CUBA 04 DE PASIVADO	Pasivar	la carrocería con una recirculación del	a una presión de 32 psi

		líquido alcalino	
CUBA 05 DE FOSFATADO	Fosfatizar	por inmersión la superficie metálica	con una presión de recirculación de 32psi
CUBA 06 DE ENJUAGE	Enjuagar	la carrocería con una recirculación de agua tratada	a una presión de 32 psi
CUBA 07 DE ENJUAGE	Enjuagar	la carrocería con una recirculación de agua tratada	a una presión de 32 psi
CUBA 08 ECOAT	Proteger	a la carrocería mediante electrodeposición	con una corriente de 0,12Ka.
CUBA 09 DE ENJUAGE	Enjuagar	la carrocería con una recirculación de agua tratada	a una presión de 32 psi
CUBA 10 DE ENGUAJE	Enjuagar	la carrocería con una recirculación de agua tratada	a una presión de 32 psi
CUBA 11 DE ENGUAJE	Enjuagar	la carrocería con una recirculación de agua tratada	a una presión de 32 psi
ELEVADOR DE UNIDADES INGRESO	Elevar	las unidades	a una velocidad de 4,8 m/min
ELEVADOR UNIDADES SALIDA	Elevar	las unidades	a una velocidad de 4,8 m/min
MÓDULO DE ULTRAFILTRADO CUBA 08 ECOAT	Filtrar	agua de la cuba 08 ecoat	a una presión de 20 psi.
VENTILADOR RECIRCULACIÓN A LA CÁMARA HORNO ELPO M4	Recircular	aire a la cámara del horno ELPO	a una velocidad de 1000 r/min
CALENTADOR DE AGUA	Calentar	agua a una	temperatura de 65°C con un caudal de 100m ³ /h
SALA TRANSFORMADORE	Transformar	voltaje	de 13,8kV a 380/220V

S			
TABLERO DISTRIBUCIÓN 380 V	Transformar	voltaje	de 13,8kV a 380/220V
OSMOSIS INVERSA	Producir	agua permeada	a una velocidad de 9.8 GPM o 4 m3/h

Fuente: Barrionuevo Bayas, 2022

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

3.6.3 ¿En qué aspecto no responde al cumplimiento de su función requerida (falla funcional)?

Los fallos funcionales del sistema CORTINA DE AIRE INGRESO HORNO ESMALTE M2 son:

- No forma una cortina de aire.
- Forma una cortina de aire a una velocidad por debajo de 1000 r/min.

3.6.4 ¿Qué produce cada fallo funcional (modo de falla)?

En la Tabla 18-3 se presentan los modos de falla del sistema CORTINA DE AIRE INGRESO HORNO ESMALTE M2.

Tabla 18-3: Modos de Falla: CORTINA DE AIRE INGRESO HORNO ESMALTE M2.

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA	
1	Formar una cortina de aire a la entrada del horno esmalte a una velocidad de 1000 r/min.	A	No forma una cortina de aire.	1	Motor quemado/ sobrecalentamiento
				2	Rotura del eje/ Sobrecarga
				3	Atascamiento en la caja de rodamientos/ Falta de lubricación
				4	Rotura de las bandas/ Desalienación de poleas
		B	Forma una cortina de aire a una velocidad por debajo de 1000 r/min	1	Desgaste de rodamientos del motor/ Falta de lubricación
				2	Desalineación del eje/Junta flexible en mal estado
				3	Desgaste de bandas/ Desbalanceo

					de las poleas
				4	Bandas flojas/ Desalineación del eje
				5	Álabes sucios/ Contaminación
				6	Pérdida de una fase del motor/ Terminales flojos
				7	Presencia de polvo en la carcasa del motor / Contaminación
				8	Filtros de alta temperatura sucios/ Contaminación

Fuente: Barrionuevo Bayas, 2022

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

3.6.5 ¿Qué sucede cuando se produce cada falla en particular (efectos)?

En la Tabla 19-3 se presentan los efectos de falla cuando se produce la falla funcional.

Tabla 19-3: Efectos de Falla: CORTINA DE AIRE INGRESO HORNO ESMALTE M2.

FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFFECTOS DE FALLA
A	No forma una cortina de aire.	1	Motor quemado/ sobrecalentamiento	Evidencia de la falla: Sobrecalentamiento del motor, no gira. Riegos para la seguridad: No Riegos al medio ambiente: No Daños físicos: Bobinas quemadas Acción correctora: Rebobinar el motor Tiempo de parada: es de 6 horas con un costo de reparación de \$300,00 y pérdida en la producción por hora de \$ 5.000,00.
		2	Rotura del eje/ Sobrecarga	Evidencia de la falla: Cuando al arranque del motor no gira. Riegos para la seguridad: No Riegos al medio ambiente: No Daños físicos: Rotura del eje. Acción correctora: Cambio de eje. Tiempo de parada: es de 4 horas con

				un costo de reparación de \$100,00 y pérdida en la producción por hora de \$ 5.000,00.
		3	Atascamiento en la caja de rodamientos/ Falta de lubricación	Evidencia de la falla: Cuando no gira el motor Riegos para la seguridad: No Riegos al medio ambiente: No Daños físicos: Rotura de rodamientos Acción correctora: Lubricar los rodamientos Tiempo de parada: es de 20 minutos con un costo de reparación de \$30,00 y pérdida en la producción por hora de \$ 5.000,00.

Fuente: Barrionuevo Bayas, 2022

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

3.6.6 ¿De qué modo afecta cada falla (consecuencias)?

Es fundamental el conocer el cómo afecta cada modo de falla, es decir si existen consecuencias operacionales si están relacionadas a pérdidas económicas, o consecuencias no operacionales cuando no existe efecto sobre la producción ni la seguridad, o quizás consecuencias de seguridad cuando se producen daños al bienestar físico y ambiental al no cumplir con la normativa. A continuación, se muestra en la Tabla 20-3 la consecuencia respectiva a cada modo de falla del sistema CORTINA DE AIRE INGRESO HORNO ESMALTE M2.

Tabla 20-3: Consecuencias de: CORTINA DE AIRE INGRESO HORNO ESMALTE M2.

FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTOS DE FALLA	CONSECUENCIAS
A	No forma una cortina de aire.	1	Motor quemado/ sobrecalentamiento	Evidencia de la falla: Sobrecalentamiento del motor, no gira. Riegos para la seguridad: No Riegos al medio ambiente: No	OPERACIONAL

			<p>Daños físicos: Bobinas quemadas</p> <p>Acción correctora: Rebobinar el motor</p> <p>Tiempo de parada: es de 6 horas con un costo de reparación de \$300,00 y perdida en la producción por hora de \$ 5.000,00.</p>	
		2	<p>Rotura del eje/ Sobrecarga</p> <p>Evidencia de la falla: Cuando al arranque del motor no gira.</p> <p>Riegos para la seguridad: No</p> <p>Riegos al medio ambiente: No</p> <p>Daños físicos: Rotura del eje.</p> <p>Acción correctora: Cambio de eje.</p> <p>Tiempo de parada: es de 4 horas con un costo de reparación de \$100,00 y perdida en la producción por hora de \$ 5.000,00.</p>	OPERACIONAL
		3	<p>Atascamiento en la caja de rodamientos/ Falta de lubricación</p> <p>Evidencia de la falla: Cuando no gira el motor</p> <p>Riegos para la seguridad: No</p> <p>Riegos al medio ambiente: No</p> <p>Daños físicos: Rotura de rodamientos</p> <p>Acción correctora: Lubricar los rodamientos</p> <p>Tiempo de parada: es de</p>	OPERACIONAL

				20 minutos con un costo de reparación de \$30,00 y perdida en la producción por hora de \$ 5.000,00.	
--	--	--	--	--	--

Fuente: Barrionuevo Bayas, 2022

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

3.6.7 ¿Qué puede realizarse para predecir o prevenir cada falla?

Es necesario el seleccionar la estrategia, tareas, frecuencia de ejecución y el responsable. El diagrama de decisión que proporciona el RCM, nos permite definir las actividades oportunas para cada modo de falla. Posteriormente se muestra todos los datos dentro de una hoja de información y decisión desarrollada mediante la metodología del RCM.

3.6.8 Hoja de Información y Decisión de los Sistemas de la Planta de Pintura

En hojas posteriores se observan la Tabla 21-3 con la hoja de información del sistema CORTINA DE AIRE INGRESO HORNO ESMALTE M2, mientras que en la Tabla 22-3 se muestra la hoja de decisión.

Tabla 21-3: Hoja de Información Cortina de ingreso horno esmalte M2

		Sistema/activo:		Recopilado por:		Fecha:	Hoja:		
		Cortina de ingreso horno esmalte M2		Ricardo Barrionuevo		12/07/2021	01		
RCM II Hoja de Información		Código sistema:		Revisado por:		Fecha:	De:		
		PP-CP_CE01		Ing. Jorge Ninacuri		24/07/2021	44		
Función		Falla funcional		Modo de falla/Causas		Efecto de la falla		Consecuencia	
1	Formar una cortina de aire a la entrada del horno esmalte a una velocidad de 1000 r/min.	A	No forma una cortina de aire.	1	Motor quemado/ sobrecalentamiento	Evidencia de la falla: Sobrecalentamiento del motor, no gira. Riesgos para la seguridad: No Riesgos al medio ambiente: No Daños físicos: Bobinas quemadas Acción correctora: Rebobinar el motor Tiempo de parada: es de 6 horas con un costo de reparación de \$300,00 y pérdida en la producción por hora de \$ 5.000,00.		Operacional	
				2	Rotura del eje/	Evidencia de la falla: Cuando al arranque del motor no gira. Riesgos para la seguridad: No Riesgos al medio ambiente: No Daños físicos:		Operacional	

				Sobrecarga	Rotura del eje. Acción correctora: Cambio de eje. Tiempo de parada: es de 4 horas con un costo de reparación de \$100,00 y perdida en la producción por h1ra de \$ 5.000,00.	
			3	Atascamiento en la caja de rodamientos/ Falta de lubricación	Evidencia de la falla: Cuando no gira el motor Riegos para la seguridad: No Riegos al medio ambiente: No Daños físicos: Rotura de rodamientos Acción correctora: Lubricar los rodamientos Tiempo de parada: es de 20 minutos con un costo de reparación de \$30,00 y perdida en la producción por h1ra de \$ 5.000,00.	Operacional
			4	Rotura de las bandas/ Desalienación de poleas	Evidencia de la falla: Los álabes del ventilador no giran Riegos para la seguridad: No	Operacional

					<p>Riegos al medio ambiente: No</p> <p>Daños físicos: Bandas rotas desgaste excesivo.</p> <p>Acción correctora: Cambiar las bandas</p> <p>Tiempo de parada: es de 1 hora con un costo de reparación de \$60,00 y perdida en la producción por h1ra de \$ 5.000,00.</p>		
				1	<p>Desgaste de rodamientos del motor/ Falta de lubricación</p>	<p>Evidencia de la falla: Sobre calentamiento de la bomba.</p> <p>Riegos para la seguridad: No Riegos al medio ambiente: No Daños físicos: No</p> <p>Acción correctora: Lubricar los rodamientos</p> <p>Tiempo de parada: es de 20 minutos con un costo de reparación de \$40,00 y perdida en la producción por h1ra de \$ 5.000,00.</p>	Operacional
				2	<p>Desalineación del eje/Junta flexible en mal estado</p>	<p>Evidencia de la falla: Ruido excesivo.</p> <p>Riegos para la seguridad: No Riegos al medio ambiente: No Daños físicos: Desalineación del eje.</p> <p>Acción correctora: Cambiar las juntas flexibles. Tiempo de parada: es de 1 hora con un costo de reparación de \$80,00 y perdida en la producción por hora de \$ 5.000,00.</p>	Operacional
		B	Forma una cortina de aire a una				

			velocidad por debajo de 1000 r/min	3	Desgaste de bandas/ Desbalanceo de las poleas	<p>Evidencia de la falla: Ruido excesivo Riesgos para la seguridad: No Riesgos al medio ambiente: No</p> <p>Daños físicos: Bandas rotas desgaste excesivo.</p> <p>Acción correctora: Alineación de conjunto banda y poleas</p> <p>Tiempo de parada: es de 1 hora con un costo de reparación de \$60,00 y pérdida en la producción por hora de \$ 5.000,00.</p>	Operacional
				4	Bandas flojas/ Desalineación del eje	<p>Evidencia de la falla: Ruido excesivo Riesgos para la seguridad: No Riesgos al medio ambiente: No</p> <p>Daños físicos: Bandas rotas desgaste excesivo.</p> <p>Acción correctora: Alineación de conjunto banda y poleas</p> <p>Tiempo de parada: es de 1 hora con un costo de reparación de \$60,00 y pérdida en la producción por hora de \$ 5.000,00.</p>	Operacional

				5	Álabes sucios/ Contaminación	<p>Evidencia de la falla: Si</p> <p>Riegos para la seguridad:</p> <p>No Riesgos al medio ambiente: No Daños físicos: Corrosión</p> <p>Acción correctora: Limpieza de lo álabes</p> <p>Tiempo de parada: es de 30 minutos con un costo de reparación de \$20,00 y pérdida en la producción por hora de \$ 5.000,00.</p>	Operacional
				6	Pérdida de una fase del motor/ Terminales flojos	<p>Evidencia de la falla: Aumento de la temperatura</p> <p>Riegos para la seguridad:</p> <p>No Riesgos al medio ambiente: No Daños físicos: No</p> <p>Acción correctora: Ajuste de la borneras de conexión. Tiempo de parada: es de 20 minutos con un costo de reparación de \$30,00 y pérdida en la producción por hora de \$ 5.000,00.</p>	Operacional
						<p>Evidencia de la falla: Sobrecalentamiento del motor</p>	

				7	Presencia de polvo en la carcasa del motor / Contaminación	<p>Riegos para la seguridad:</p> <p>No Riegos al medio ambiente: No Daños físicos: No</p> <p>Acción correctora: Limpieza del motor.</p> <p>Tiempo de parada: es de 20 minutos con un costo de reparación de \$20,00 y pérdida en la producción por hora de \$ 5.000,00.</p>	Operacional
				8	Filtros de alta temperatura sucios/ Contaminación	<p>Evidencia de la falla: Cuando la temperatura de la cabina es menor a 175°C</p> <p>Riegos para la seguridad:</p> <p>No Riegos al medio ambiente: No Daños físicos: No</p> <p>Acción correctora: Cambio de filtros.</p> <p>Tiempo de parada: es de 6 horas con un costo de reparación de \$200,00 y pérdida en la producción por hora de \$ 5.000,00.</p>	Operacional

Fuente: Barrionuevo Bayas, 2022

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

Tabla 22-3: Hoja de Decisión Cortina de ingreso horno esmalte M2

			Sistema/activo:				Realizado por:				Fecha:				Hoja:	
			Cortina de ingreso horno esmalte M2				Ricardo Barrionuevo				16/07/2021				01	
RCM II Hoja de decisión			Código sistema:				Revisado por:				Fecha:				De:	
			PP-CP_CE01				Ing. Jorge Ninacuri				24/07/2021				44	
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias.				H1	H2	H3	Tareas "a la falta de"				Tareas Propuestas	Frecuencia inicial	A realizarse por
							S1	S2	S3							
F			H S E O				E1	E2	E3	H4 H5 S4						
							O1	O2	O3							
1	A	1	S	N	N	S	S							Realizar termografía en el motor	16 semanas	Supervisor Mantenimiento
1	A	2	S	N	N	S	N	N	N					Sustitución del eje del motor	Sin frecuencia	Asistente Mantenimiento
1	A	3	S	N	N	S	N	N	S					Sustitución del aceite en la caja de rodamientos	12 semanas	Asistente Mantenimiento
1	A	4	S	N	N	S	N	N	S					Sustitución de las bandas	48 semanas	Asistente Mantenimiento
1	B	1	S	N	N	S	N	S						Lubricación de los rodamientos del motor	12 semanas	Asistente Mantenimiento
1	B	2	S	N	N	S	N	N	S					Sustitución de las juntas flexibles	16 semanas	Asistente Mantenimiento
1	B	3	S	N	N	S	S							Análisis de vibraciones	24 semanas	Supervisor Mantenimiento
1	B	4	S	N	N	S	N	S						Reajuste o tensado de las bandas	12 semanas	Asistente Mantenimiento
1	B	5	S	N	N	S	N	S						Limpiar y comprobar el estado de los álabes	Semanal	Asistente Mantenimiento
1	B	6	S	N	N	S	N	S						Ajustar los terminales de conexión o borneras	12 semanas	Asistente Mantenimiento
1	B	7	S	N	N	S	N	S						Limpiar la carcasa del motor	Semanal	Asistente Mantenimiento
1	B	8	S	N	N	S	N	N	S					Sustitución de filtros de alta temperatura	48 semanas	Asistente Mantenimiento

Fuente: Barrionuevo Bayas, 2022

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

3.6.9 Análisis Técnico y Económico de Tareas Proactivas

El paso a seguir es determinar si las tareas de mantenimiento son técnica y económicamente factibles, sin embargo, puesto que el presente trabajo hace énfasis en el mantenimiento basado en la condición realizaremos el análisis para las tareas basadas en la condición, como se observan a continuación:

3.6.9.1 Análisis Técnico y Económico de Tareas Basadas en La Condición

Según la metodología del RCM se evalúa si la tarea es técnica y económicamente factible haciendo las siguientes preguntas en la Tabla 23-3 y 24-3 en el primer caso para la Medición de resistencia de aislamiento del motor eléctrico del sistema de CORTINA DE AIRE INGRESO HORNO ESMALTE M2.

Tabla 23-3: Viabilidad Técnica de Medición de Resistencia de Aislamiento

PREGUNTAS	SI	NO
¿Es técnicamente posible realizar una tarea basada en la condición?	X	
¿Es posible definir una condición potencial de falla?	X	
¿El intervalo p-f es razonablemente consistente?	X	
¿Si es práctico monitorear el ítem a intervalos menores que el intervalo p-f?	X	
¿El intervalo p-f neto es lo suficientemente largo para ser de utilidad (en otras palabras, lo suficientemente largo para que se lleve a cabo una acción para reducir o eliminar las consecuencias de la falla funcional)?	X	

Fuente: Aldaz, Jonathan, 2022

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

Tabla 24-3: Análisis Económico de Medición de Resistencia de Aislamiento.

TAREA BASADA EN LA CONDICIÓN		TAREAS CORRECTIVAS	
Costo anual CMB	\$ 255,00		
Frecuencia	3 al año		
Costo por inspección	\$ 75,00		
Costo de la reparación	\$ 27,50	Costo de la reparación	\$ 410,00
Costos repuestos	\$ 25,00	Costos repuestos	\$ 350,00
Costo por mano de obra	\$ 2,50	Costo por mano de obra	\$ 60,00
Número de técnicos	1	Número de técnicos	1

Horas de reparación	1	Horas de reparación	24
Costo Hora/Hombre	\$ 2,50	Costo Hora/Hombre	\$ 2,50
Costo operacional	\$ 0,00	Costo operacional	\$ 5.000,00
Duración de la parada	0,25	Duración de la parada	1
Impacto de producción	0	Impacto de producción	1
Impacto por hora	\$ 80.000,00	Impacto por hora	\$ 5.000,00
COSTO TOTAL DE CBM	\$ 282,50	COSTO TOTAL DE CORRECTIVO	\$ 5.410,00

Fuente: Aldaz, Jonathan, 2022

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

La tarea basada en la condición, medición de la resistencia de aislamiento de las bobinas del motor eléctrico es técnica y económicamente factible realizar debido a que reduce las consecuencias de fallo y justifica los costos directos.

Se evalúa si la tarea de análisis termográfico del motor eléctrico del sistema de CORTINA DE AIRE INGRESO HORNO ESMALTE M2 es técnica y económicamente factible haciendo las siguientes preguntas en la Tabla 25-3 y 26-3

Tabla 25-3: Viabilidad Técnica del Análisis Termográfico.

PREGUNTAS	SI	NO
¿Es técnicamente posible realizar una tarea basada en la condición?	X	
¿Es posible definir una condición potencial de falla?	X	
¿El intervalo p-f es razonablemente consistente?	X	
¿Si es práctico monitorear el ítem a intervalos menores que el intervalo p-f?	X	
¿El intervalo p-f neto es lo suficientemente largo para ser de utilidad (en otras palabras, lo suficientemente largo para que se lleve a cabo una acción para reducir o eliminar las consecuencias de la falla funcional)?	X	

Fuente: Aldaz, Jonathan, 2022

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

Tabla 26-3: Análisis Económico del Análisis Termográfico.

TAREA BASADA EN LA CONDICIÓN		TAREAS CORRECTIVAS
Costo anual CMB	\$ 240,00	

Frecuencia	6 al año		
Costo por inspección	\$ 40,00		
Costo de la reparación	\$ 6,25	Costo de la reparación	\$ 250,00
Costos repuestos	\$ 5,00	Costos repuestos	\$ 200,00
Costo por mano de obra	\$ 1,25	Costo por mano de obra	\$ 50,00
Número de técnicos	1	Número de técnicos	1
Horas de reparación	0,5	Horas de reparación	20
Costo Hora/Hombre	\$ 2,50	Costo Hora/Hombre	\$ 2,50
Costo operacional	\$ 0,00	Costo operacional	\$ 5.000,00
Duración de la parada	0	Duración de la parada	1
Impacto de producción	0	Impacto de producción	1
Impacto por hora	\$ 80.000,00	Impacto por hora	\$ 5.000,00
COSTO TOTAL DE CBM	\$ 240,25	COSTO TOTAL DE CORRECTIVO	\$ 5.250,00

Fuente: Aldaz, Jonathan, 2022

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

Se evalúa si la tarea de análisis vibracional del motor eléctrico del sistema de CORTINA DE AIRE INGRESO HORNO ESMALTE M2 es técnica y económicamente factible haciendo las siguientes preguntas en la Tabla 27-3 y 28-3

Tabla 27-3: Viabilidad Técnica del Análisis Vibracional

PREGUNTAS	SI	NO
¿Es técnicamente posible realizar una tarea basada en la condición?	X	
¿Es posible definir una condición potencial de falla?	X	
¿El intervalo p-f es razonablemente consistente?	X	
¿Si es práctico monitorear el ítem a intervalos menores que el intervalo p-f?	X	
¿El intervalo p-f neto es lo suficientemente largo para ser de utilidad (en otras palabras, lo suficientemente largo para que se lleve a cabo una acción para reducir o eliminar las consecuencias de la falla funcional)?	X	

Fuente: Aldaz, Jonathan, 2022

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

Tabla 28-3: Análisis Económico del Análisis Vibracional.

TAREA BASADA EN LA CONDICIÓN		TAREAS CORRECTIVAS	
Costo anual CMB	\$ 100,00		
Frecuencia	2 al año		
Costo por inspección	\$ 50,00		
Costo de la reparación	\$ 6,25	Costo de la reparación	\$ 300,00
Costos repuestos	\$ 5,00	Costos repuestos	\$ 200,00
Costo por mano de obra	\$ 1,25	Costo por mano de obra	\$ 100,00
Número de técnicos	1	Número de técnicos	1
Horas de reparación	0,5	Horas de reparación	1
Costo Hora/Hombre	\$ 2,50	Costo Hora/Hombre	\$ 2,50
Costo operacional	\$ 0,00	Costo operacional	\$ 5.000,00
Duración de la parada	0,16	Duración de la parada	1
Impacto de producción	0	Impacto de producción	1
Impacto por hora	\$ 80.000,00	Impacto por hora	\$ 5.000,00
COSTO TOTAL DE CBM	\$ 106,25	COSTO TOTAL DE CORRECTIVO	\$ 5.300,00

Fuente: Aldaz, Jonathan, 2022

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

3.7 Análisis de Modos y Síntomas de Falla (FMSA)

La idea es que después de realizar el FMSA, el proceso de diseño continúe con la asignación de un sistema de medición o monitoreo para cada síntoma. El FMSA se realizó a aquellos equipos monitoreables de los sistemas resultantes de la selección del análisis de criticidad y que se muestra en la Tabla 29-3. Además, en la Tabla 30-3 se muestra uno de los análisis de modos y síntomas de falla.

Tabla 29-3: Equipos a Realizar el FMSA

EQUIPOS A REALIZAR FMSA
Bomba Centrifuga
Motor Eléctrico
Turbina de Ventilador
Transmisión por Bandas
Tablero Eléctrico de Control/ Distribución.

Realizado Por: Aldaz, Jonathan,2022

El resto del Análisis de Modo y Síntomas de Falla se encuentran en el Anexo J

Tabla 30-3: Ejemplo de Análisis de Modo y Síntoma de Falla.

ITEM	PIEZA	MODO DE FALLA	SINTOMAS DE FALLA	TECNICA DE ANALISIS	FREC	DET	SEV	DGV	PGN	MPN
BOMBA CENTRIFUGA	RODAMIENTO	LURICANTE CONTAMINADO	RUIDO, VIBRACIONES Y TEMPERATURA	Análisis Vibracional	24	2	3	4	4	96
				Análisis Termográfico	8	1	3	3	2	18
		HOLGURA MECANICA	RUIDO Y VIBRACIONES	Análisis Vibracional	24	5	3	4	4	240
				Análisis Termográfico	8	3	3	3	2	54
		DESALINEAMIENTO	RUIDO, VIBRACIONES Y TEMPERATURA	Análisis Vibracional	24	5	3	4	4	240
				Análisis Termográfico	8	3	3	3	2	54
		PICADURA PISTA EXTERNA	RUIDO, VIBRACIONES Y TEMPERATURA	Análisis Vibracional	24	5	3	4	4	240
				Análisis Termográfico	8	4	3	3	2	72
		PICADURA PISTA INTERNA	RUIDO, VIBRACIONES Y TEMPERATURA	Análisis Vibracional	24	5	3	4	4	240
				Análisis Termográfico	8	4	3	3	2	72
		PICADURA RODADURAS	RUIDO, VIBRACIONES Y TEMPERATURA	Análisis Vibracional	24	5	3	4	4	240
				Análisis Termográfico	8	4	3	3	2	72
		DESGASTE DE CANASTILLA	RUIDO Y VIBRACIONES	Análisis Vibracional	24	5	3	4	4	240
				Análisis Termográfico	8	3	3	3	2	54
		FRACTURA DE CANASTILLA	RUIDO Y VIBRACIONES	Análisis Vibracional	24	5	3	4	4	240
				Análisis Termográfico	8	3	3	3	2	54
		FRACTURA PISTA EXTERNA	RUIDO Y VIBRACIONES	Análisis Vibracional	24	5	3	4	4	240
				Análisis Termográfico	8	3	3	3	2	54
		FRACTURA PISTA INTERNA	RUIDO Y VIBRACIONES	Análisis Vibracional	24	5	3	4	4	240
				Análisis Termográfico	8	3	3	3	2	54

Realizado Por: Aldaz, Jonathan,2022

3.8 Plan de Mantenimiento

El siguiente plan de mantenimiento se lo realizo mediante la metodología del RCM para los sistemas críticos de la planta de pintura, pero centrándonos en el mantenimiento basado en la condición. Para definir el responsable a ejecutar las tareas de mantenimiento se consideró la cantidad de personal del departamento de mantenimiento, el tipo de técnica a utilizar y frecuencia de realización. Se presenta el plan de mantenimiento del sistema CORTINA DE AIRE INGRESO HORNO ESMALTE M2 en la Tabla 29-3.

Tabla 31-3: Plan de Mantenimiento: CORTINA DE AIRE INGRESO HORNO ESMALTE M2

	PLAN DE MANTENIMIENTO CIAUTO			Versión:	
	PLANTA PINTURA			2	
	Realizado por:	Revisado por:	Aprobado por:	Fecha de emisión:	
Ricardo Barrionuevo	Ing. Jorge Ninacuri	Ing. Miguel Ángel Taipe	24/07/2021		
SISTEMA:	CORTINA DE AIRE INGRESO HORNO ESMALTE M2	CÓDIGO:	PP-CP_CE01		
ACTIVIDADES			Frecuencia	Responsable	
TRANSMISIÓN POR BANDAS DE LA CORTINA DE AURE INGRESO HORNO ESMALTE M2 (MST_01)					
Análisis de vibraciones			24S	SM02	
MOTOR ELÉCTRICO DE LA CORTINA DE AIRE INGRESO HORNO ESMALTE M2 (EME 01)					
Realizar Termografía en			8S	SM02	
Medición de resistencia de aislamiento de bobinas			16S	SM02	
Análisis de vibraciones			24S	SM02	
TURBINA(VENTILADOR) DE LA CORTINA DE AIRE INGRESO HORNO ESMATE M2 (MVE 01)					
Análisis de Vibraciones			24S	SM02	

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

El resto de planes de mantenimiento se podrán observar en el Anexo K.

3.9 Cronograma de Mantenimiento

A continuación, en la Tabla 30-3 se muestra las tareas de mantenimiento basado en la condición acompañada de su frecuencia y tiempo estimado de duración para la realización de la tarea, se distribuyen a lo largo de las 48 semanas del año. El objetivo de presentar el cronograma es repartir de forma organizada las horas requeridas para cada semana con el fin de que la carga laboral para el departamento y su personal no sea excesiva en una sola semana del año.

El resto del cronograma se podrá apreciar en el ANEXO L

Tabla 32-3: Cronograma de Tareas hasta las 10 primeras semanas.

Descripción del Sistema	Código	MBC	#	SEMANAS	H	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	
			ELEMENTOS													
ELEVADOR DE UNIDADES INGRESO	PP-EL- EU01	TERMOGRAFIA	1	8	1	1								1		
		MEDICION AISLAMIENTO	1	16	2	2										
		ANALISIS VIBRACIONES	1	24	2	2										
CUBA 01 DE DESENGRASE POR ASPERSIÓN	PP-EL- CU01	TERMOGRAFIA	1	8	1		1								1	
		MEDICION AISLAMIENTO	1	16	2		2									
		ANALISIS VIBRACIONES	2	24	4		4									
CUBA 02 DE DESENGRASE POR INMERSIÓN	PP-EL- CU02	TERMOGRAFIA	3	8	3			3								
		MEDICION AISLAMIENTO	2	16	4			4								
		ANALISIS VIBRACIONES	4	24	8			8								
CUBA 03 DE ENJUAGE	PP-EL- CU03	TERMOGRAFIA	1	8	1				1							
		MEDICION AISLAMIENTO	1	16	2				2							

		ANALISIS VIBRACIONES	2	24	4				4					
CUBA 04 DE PASIVADO	PP-EL- CU04	TERMOGRAFIA	1	8	1					1				
		MEDICION AISLAMIENTO	1	16	2					2				
		ANALISIS VIBRACIONES	2	24	4					4				
CUBA 05 DE FOSFATADO	PP-EL- CU05	TERMOGRAFIA	4	8	4					4				
		MEDICION AISLAMIENTO	4	16	8					8				
		ANALISIS VIBRACIONES	6	24	12					12				

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

3.10 Documentación de Mantenimiento

En esta sección se mostrarán los formatos de reporte de condición de los equipos dependiendo del tipo de evaluación se vaya a realizar al equipo, siendo un análisis termográfico, la medición de la resistencia de aislamiento o el análisis vibracional.

Tabla 33-3: Formato Para Reporte Termográfico

		REPORTE TERMOGRAFICO			
SISTEMA				CODIGO	
ENCARGADO				CODIGO PERSONAL	
Fecha de Inspección				Hora de Inspección	
Criterio de Inspección	Diferencia de Temperatura entre elementos similares bajo cargas similares.		Diferencia de temperatura entre la temperatura del elemento y la temperatura ambiente		Acción Recomendada
	1° C – 3° C		1° C – 10° C		Posible deficiencia; amerita investigación
	4° C – 15° C		11° C – 20° C		Indica probable deficiencia; reparar cuando el tiempo lo permita
	---		21° C – 40° C		Supervisar hasta que se puedan llevar a cabo las medidas correctivas
	>15° C		>40° C		Gran discrepancia; reparar inmediatamente
Temperatura Ambiente		Existe Anomalía:		SI	NO
Instrumentos de Inspección:		Detalle Anomalía			
		Ubicación:			
		Causa Probable			
Acciones Recomendadas Para Reparación					
Termograma/Fotografía:					

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

Tabla 34-3: Formato para Reporte de Medición de Resistencia de Aislamiento.

	REPORTE MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.		 espoeh	
SISTEMA		CODIGO		
ENCARGADO		CODIGO PERSONAL		
Fecha de Inspección		Hora de Inspección		
Criterio de Inspección	TIPO DE MOTOR		RESISTENCIA DE AISLAMIENTO	
	Bobinado antes de 1970		> 1 MΩ + 1MΩ/kV	
	Bobinado después de 1970		> 100 MΩ	
	Bobinado preformado y armaduras CC		> 5 MΩ	
	TENSION NOMINAL DEL MOTOR		TENSION DE PRUEBA	
	Menos de 1000 V		500 V	
	1000 V a 2500 V		500 V a 1000 V	
	2501 V a 5000 V		1000 V a 2500 V	
	5001 V a 12000 V		2500 V a 5000 V	
1000 V a mas		5000 V a 10000 V		
Temperatura Ambiente		Existe Anomalía:	SI	NO
Instrumentos de Inspección:	Detalle Anomalía			
		Ubicación:		
		Causa Probable		
Acciones Recomendadas Para Reparación				
Fotografía de Mediciones				

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

	REPORTE ANALISIS VIBRACIONAL.			
SISTEMA		CODIGO		
ENCARGADO		CODIGO PERSONAL		
Fecha de Inspección		Hora de Inspección		
Criterio de Inspección	Carta de Charlotte			
Temperatura Ambiente		Existe Anomalía:	SI	NO
Instrumentos de Inspección:	Detalle Anomalía			
		Ubicación:		
		Causa Probable		
Acciones Recomendadas Para Reparación				
Fotografía del Espectro Obtenido				

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

Para el diagnóstico de fallas mediante el análisis vibracional se lo realizara con los criterios de la Carta de Charlotte, criterios se encontrarán en el Anexo M.

3.11 Capacitación del Personal

El personal de mantenimiento presente para la socialización de resultados y posterior capacitación sobre el plan de mantenimiento basado en la condición se evidencia en la Ilustración 3-3 y conformado por:

- Coordinador de Mantenimiento
- Supervisor de Mantenimiento ELPO
- Supervisor mantenimiento Proactivo



Ilustración 3-3: Capacitación y Socialización

Fuente: Aldaz,Jonathan,2022

En la Ilustración 4-3 se puede observar la hoja de asistencia de la socialización y capacitación del personal de mantenimiento.

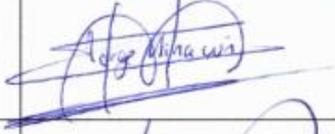
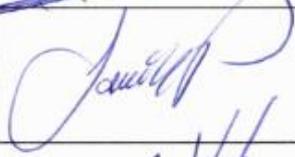
 CIAUTO <small>Parque Industrial Aeropuerto</small>	HOJA DE ASISTENCIA	 esPOCH
NOMBRES/APELLIDOS	CEDULA DE IDENTIDAD	FIRMA
Jorge Wilfrido Minawri Guachi	1804034351	
Alex Javier Pilatasig Sangui	1804372769	
Miguel Angel Taipa	1715636211	

Ilustración 4-3: Hoja de Asistencia a la Capacitación

Fuente: Aldaz, Jonathan,2022

3.11.1 Objetivo de la Capacitación

El personal de mantenimiento asimilará los beneficios del mantenimiento basado en la condición y estará familiarizado con los pasos clave para implementar un plan efectivo de mantenimiento basado en la condición en su área de desarrollo.

3.11.2 Estructura y Desarrollo

Tabla 35-3: Estructura de Capacitación.

UNIDAD	TEMAS
Generalidades	Objetivo General Objetivos Específicos
Evaluación de la Gestión del Mantenimiento	Metodología Ajuste de Encuestas Aplicación de Encuestas Tabulación de Datos Categorización y Calificación
Plan de Mantenimiento	Codificación Técnica de Equipos Fichas de Datos y características técnicas Análisis de Criticidad Metodología de Mantenimiento Tarea y Frecuencia de Mantenimiento Cronograma de Mantenimiento
Resultados de Proyecto Técnico	Resultados de Gestión de Mantenimiento Resultados del Analisis de criticidad Resultado de FMSA Resultado del Plan de Mantenimiento
Propuesta de Análisis de Vibraciones	Teoría Básica Equipos e Instrumentación Cartas de Charlotte

Realizado Por: Aldaz, Jonathan, 2022

La socialización de resultados y capacitación fue realizada el 09 de marzo del 2023 con una duración de dos horas. Se realizo en la empresa CIAUTO Cia.Ltda en la sala de reuniones, con el Coordinador de Mantenimiento el Ing. Miguel Angel Taípe, supervisor de mantenimiento Proactivo Ing. Javier Pilatasig, supervisor de Mantenimiento del ELPO Ing. Jorge Ninacuri.

CAPITULO IV

4 RESULTADOS DEL PROYECTO TÉCNICO

En el presente trabajo de integración curricular, alusivo a la elaboración de un plan de mantenimiento basado en la condición mediante un análisis de modos de falla para los activos de la planta de pintura de la empresa CIAUTO CIA, LTDA. Se inicio la evaluación de la gestión del mantenimiento mediante la técnica de evaluación AMORMS o evaluación de gestión de Activos, Fiabilidad operacional y mantenimiento; además, se comprobó y actualizo el inventario técnico de los activos a mantener, de igual manera, se ejecutó el análisis de criticidad a través del método semicuantitativo CTR para definir aquellos sistemas de alta criticidad de los cuales se seleccionaron aquellos sistemas propensos a un mantenimiento basado en la condición y los cuales se procedió a aplicar la metodología del RCM, donde al finalizar se determinaron las tareas y sus respectivas frecuencias y documentación requerida para conservar un historial de mantenimiento.

4.1 Resultado de la Evaluación de la Gestión de Mantenimiento en la Planta de Pintura

Luego de haber ejecutado la encuesta hacia siete personas del departamento de mantenimiento, así como la valoración y categorización actual de la gestión del mantenimiento en la planta, se obtuvieron los siguientes resultados presentes en la Tabla 1-4.

Tabla 1-4: Resultados de la Evaluación de la Gestión de Mantenimiento

Áreas Evaluadas	Nivel de Cumplimiento		Porcentaje
	Máximo	Puntaje	
Modelos de Jerarquización basados en Riesgo (Criticidad de Activos)	5	3,99	79,8%
Proceso de Análisis de Problemas (Análisis de Causa Raíz)	5	3,93	78,6%
Procesos de programación, planificación y optimización de planes de mantenimiento, inspección y operaciones	5	3,90	78%

Procesos de asignación de recursos, soporte informático y soporte logístico a los procesos de Mantenimiento y Confiabilidad	5	3,73	74,6%
Procesos de control y análisis de indicadores técnicos del negocio (RAM)	5	3,70	74%
Proceso de revisión y mejora continua	5	3,72	74,4%
Modelos de Jerarquización basados en Riesgo (Críticidad de Activos)	5	3,99	79,8%

Fuente: Aldaz, Jonathan, 2022

Realizado por: Aldaz, Jonatham, 2022

En la Ilustración 1-4. Se presenta el puntaje alcanzado por cada criterio evaluado, donde su límite de referencia es (4,5) y su puntaje máximo es de (5). Este rango describe al nivel de “Aspecto bien Implementado” el cual es analizado con los resultados obtenidos y plantear como meta la mejora continua y cumplimiento con el nivel máximo por cada criterio



Ilustración 1-4: Resultado de la Evaluación de la Gestión del Mantenimiento.

Realizado por: Aldaz, Jonathan, 2022:

4.2 Resultado de la Comprobación del Inventario Técnico y Análisis de Criticidad

A través de la comprobación del inventario técnico dentro de la planta de pintura se definió que, existen 9 áreas, 127 sistemas y 773 equipos. Estos resultados se muestran en porcentaje en la Ilustración 2-4.

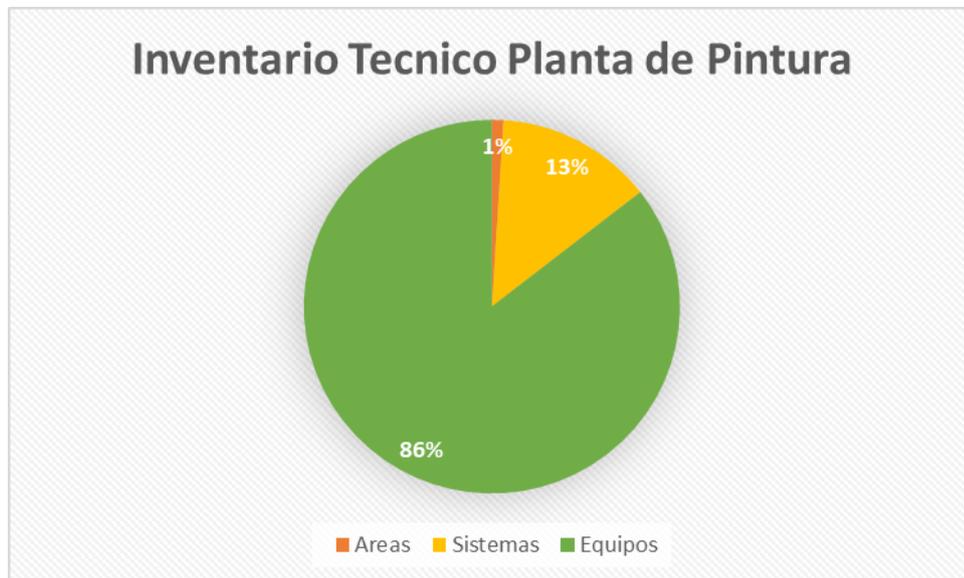


Ilustración 2-4: Resultados del inventario Técnico.

Realizado por: Aldaz, Jonathan, 2022

Una vez ejecutado el análisis de criticidad a los sistemas de la planta de pintura se obtuvo que existen 58 equipos de alta criticidad, 43 de mediana criticidad y 26 de baja criticidad. Estos resultados se presentan en porcentaje en la Ilustración 3-4.

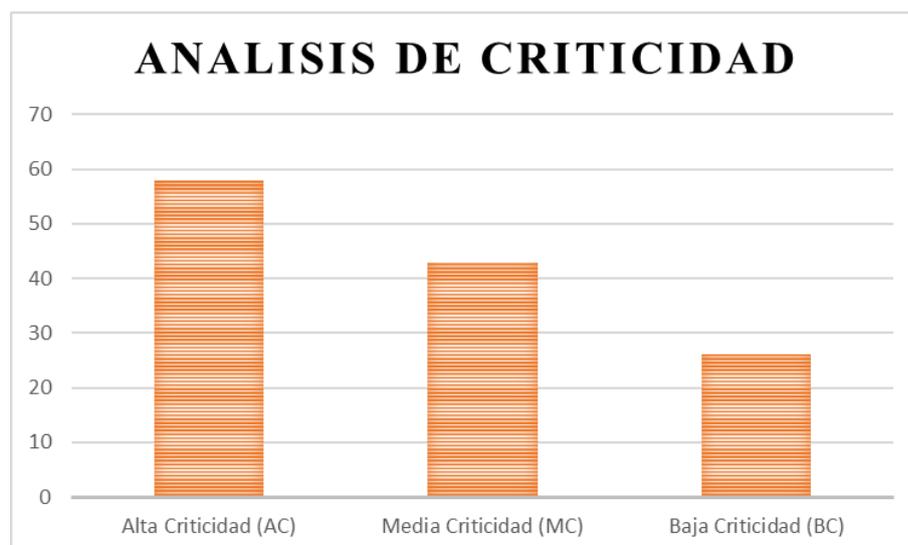


Ilustración 3-4: Resultado del Análisis de Criticidad en la Planta de Pintura

Realizado por: Aldaz, Jonathan, 2022

4.3 Resultado del Análisis de Modo y Síntoma de Falla (FMSA)

Los resultados de la prioridad de monitoreo mostraron que el análisis de vibración con un MPN de 241 fue el método más importante para monitorear los sistemas, seguido del análisis termográfico con 84 y, por último, la medición de resistencia de aislamiento con 78. Esto se muestra en la Ilustración 4-4.

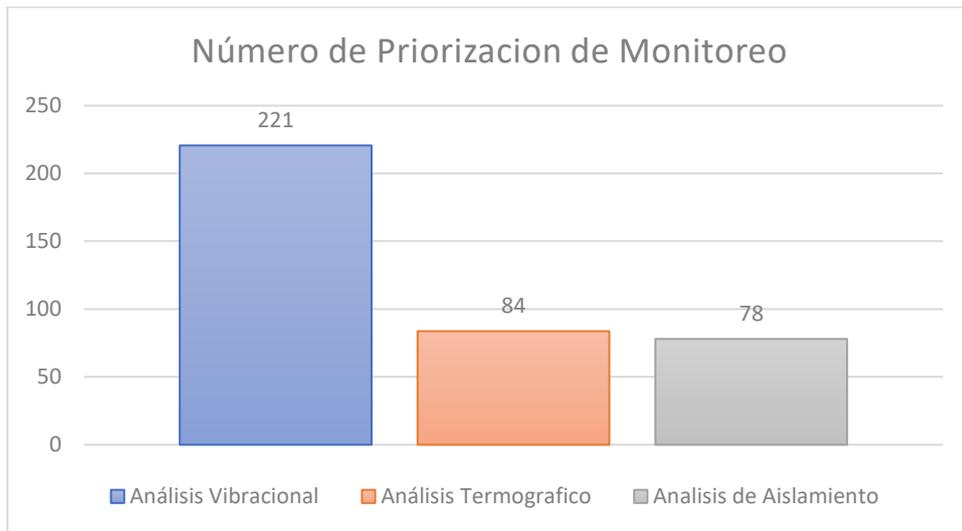


Ilustración 4-4: Numero de Priorización de Monitoreo

Realizado por: Aldaz, Jonathan, 2022

4.4 Resultado del Plan de Mantenimiento Basado en la Condición

Para el desarrollo del plan de mantenimiento de los sistemas de alta criticidad se aplicó la metodología del RCM a 40 de los equipos críticos propensos a monitoreo de su condición, de donde se obtuvieron 231 tareas de mantenimiento. De donde se tiene que las tareas de monitoreo por termografía son 74, monitoreo por medición de resistencia de aislamiento son 55 y por último el monitoreo mediante análisis de vibraciones son 102. Esto se presenta en la Ilustración 5-4.

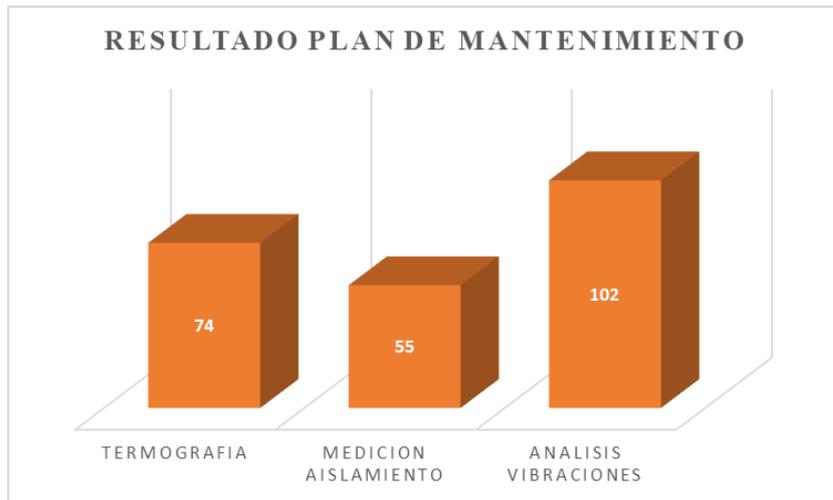


Ilustración 5-4: Resultado Plan de Mantenimiento

Realizado por: Aldaz, Jonathan, 2022

CONCLUSIONES

La técnica de evaluación AMORMS, que proporciona un diagnóstico del nivel de gestión de mantenimiento dentro de la planta de pintura, muestra que las áreas de mayor deficiencia y requieren de mejora son : Proceso de Control y análisis de indicadores técnicos del negocio (RAM) con un 74%, proceso de revisión y mejora continua con 74,4% y también proceso de asignación de recursos, soporte informático y soporte logístico a los procesos de mantenimiento y confiabilidad con 74,6%, donde observamos que existe un margen de mejora en los procesos y sistemas utilizados para el mantenimiento. Los resultados revelaron áreas de optimización, y se ha desarrollado un plan de mantenimiento basado en la condición para abordar estos problemas.

Por medio de la recopilación de datos, revisión de archivos proporcionados por la misma empresa y por inspección de todo el proceso productivo que componen la planta de pintura se pudo comprobar y actualizar el inventario técnico de los activos según la norma ISO 14224.

Mediante el inventario técnico de activos se pudo realizar el análisis de criticidad de los sistemas, donde este permitió definir la criticidad de cada uno de ellos dando como resultado un total de 58 equipos críticos de los cuales se seleccionaron 40 propensos al monitoreo de la condición.

Los resultados del FMSA indican que las vibraciones se pueden utilizar para detectar problemas potenciales desde el principio y prevenir fallas en los equipos, mientras que el análisis termográfico proporciona información valiosa sobre la distribución de la temperatura y ayuda a identificar áreas de sobrecalentamiento y por último la medición del aislamiento se utiliza para garantizar que el sistema eléctrico funcione correctamente y para detectar fallas en el aislamiento.

Mediante la hoja de información y decisión producida por el RCM se obtuvo una recopilación de información relacionada a la función, fallo funcional, modos de falla, los efectos de falla y consecuencias generadas al producirse la falla en cada uno de los sistemas, para determinar las tareas que puedan reducir o mitigar las consecuencias a través de tareas de mantenimiento basado en la condición con su respectiva frecuencia, tiempo de duración y encargado. Las tareas se priorizan según su importancia y el impacto que tienen en el funcionamiento general de las máquinas.

El desarrollo del plan de mantenimiento basado en la condición se ha llevado a cabo con éxito en base al estado de las máquinas y con los recursos de mantenimiento actuales. Mediante los que se espera mejorara la planificación, programación y realización de las tareas de mantenimiento preventivo, que desencadena en altos índices de disponibilidad y contribuye a los objetivos de la organización y mejorando aún más los procesos de gestión del mantenimiento.

La capacitación del personal de mantenimiento en la nueva metodología fue un paso fundamental para asegurar el éxito del plan de mantenimiento. El personal ha sido capacitado en las últimas técnicas, procesos y herramientas de mantenimiento, y ha podido aplicar estas habilidades para mejorar el rendimiento de las máquinas. La capacitación ha resultado en una mayor eficiencia y eficacia en la gestión del mantenimiento y ha ayudado a garantizar el éxito a largo plazo del plan de mantenimiento.

RECOMENDACIONES

Para la mejora continua de las prácticas de mantenimiento se recomienda, la realización de evaluaciones periódicas para encontrar oportunidades de mejor y direccionar de mejor manera el departamento de mantenimiento.

Reajustar o actualizar el inventario dentro de la planta de pintura por medio de la adquisición de nuevos equipos o por darse de baja, se debe tener una comunicación interrelacionada con los otros departamentos de la empresa.

Adquirir el software de mantenimiento para una gestión de los activos de mejor calidad, además de tareas, logística e inventario de repuestos dentro de la planta.

Capacitar al personal sobre el uso de instrumentos para la realización de mantenimiento basado en la condición como son: análisis de vibraciones, termografía, medición de resistencia de aislamiento en motores eléctricos.

BIBLIOGRAFÍA

BERENGUER UNGARO, M.R., HERNANDEZ RODRIGUEZ, N.R., CONDE GARCIA, R.E., ARIAS GILART, R. y DEAS YERO, D., *La calidad de la energía eléctrica. Ingeniería Energética*, vol. 37, no. 424, pp. 62-68. ISSN 02102064. [Consulta: 10 de octubre de 2022.]

BUCAJ VALDIVIEZO, J.C. y CARRILLO ALBÁN, M.E., *Optimización de la gestión de mantenimiento basado en la disponibilidad de equipos en la planta de pintura de la empresa Ciauto Ambato-Ecuador.* , pp. 74-75.

CALLIZAYA, S., *Metodología de mantenimiento predictivo para el diagnóstico de motores electricos mediante termografía infrarroja. Estadística I* [en línea], vol. 5, no. 48, pp. 01-115. ISSN 2312-4253. [Consulta: 15 de octubre de 2022.] Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/25934/T-2902.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

CALO, E., ALVAREZ, R., MAYORA, H., MORCELLE DEL VALLE, P. y CATALANO, L., diagnóstico de máquinas rotantes: normalización y estado del arte actual. [en línea]. S.l.: s.n., pp. 8. [Consulta: 15 de octubre de 2022.] Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/75455/Documento_completo.pdf-PDFA1b.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

CAMARAZA MEDINA, Y., *Introduccion a la termotrasferencia (2a. ed.)* [en línea]. S.l.: Editorial Universitaria. ISBN 9789591645074. [Consulta: 15 de octubre de 2022.] Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/164705>.

CARBALLO R, N.E., “*Termografía Infrarroja Como Herramienta Para El Mantenimiento Predictivo De Tableros Eléctricos En La Empresa Aei Engineers S.a.C.*” , pp. 358. [Consulta: 21 de octubre de 2022.]

CASTILLO, A., *Aplicacion, Analisis y Diagnostico On Line de DPs en aislamiento de Motores Anillo de Gran Potencia. Aplicacion, Analisis y Diagnostico en Linea de Descargas Parciales en el Aislamiento de Motores Anillo Gran Potencia* ([en línea], pp. 155. [Consulta: 21 de octubre de 2022.] Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12773/12336/MDzutoma.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

CHACÓN LLANOS, M.L., PEÑA LINARES, C.J. y TURCIOS BERMUDEZ, H.J., *Auditoría energética y su impacto en el mantenimiento en la empresa “LABORATORIOS BIOGALENIC”*. S.l.: s.n.

CIAUTO. [en línea], 2019, pp. 1-4 [Consulta: 3 octubre 2022]. Disponible en: <https://ciauto.ec/>.

DALLAS, S., *Power quality analysis for greener shipping by implementing an on-board electric power quality monitoring system. Journal of Marine Engineering and Technology* [en línea], vol. 21, no. 3, pp. 125-135. ISSN 20568487. DOI 10.1080/20464177.2019.1658281. [Consulta: 22 de octubre de 2022.] Disponible en: <https://doi.org/10.1080/20464177.2019.1658281>.

EL-THALJI, I., *Predictive maintenance (PdM) analysis matrix: A tool to determine technical specifications for PdM ready-equipment. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 700, no. 1. ISSN 1757899X. DOI 10.1088/1757-899X/700/1/012033.

ELECTRICAL, I. y ASSOCIATION, T., *MAINTENANCE*. 2019. ,

ESPINOZA, A.C. y FEMAT, D.A., 2021. Termografía Infrarroja Pasiva Aplicada a Sistemas de Detección de Fallas: Una Revisión. *Digital Ciencia Uaqro* [en línea], no. 2, pp. 13. Disponible en: <https://revistas.uaq.mx/index.php/ciencia/article/view/536>.

FERNANDEZ ROMERO, L.E. y TOAPANTA GRANIZO, J.P., *“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE ANÁLISIS VIBRACIONAL PARA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN MOTORES ELÉCTRICOS*. S.l.: s.n. [en línea] (Trabajo de Integración Curricular) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Facultad de Mecánica Carrera Ingeniería Automotriz: 2015, pp. 11-30. [Consulta: 21 de octubre de 2022.] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16017>.

FLIR SYSTEMS AB., *Manual del usuario Serie FLIR Ex* [en línea], vol. 5, 2001, pp. 1-6. [Consulta: 22 de octubre de 2022.] Disponible en: https://www.swissoil.com.ec/boletines/SO_Boletin05_viscosidad ISO.pdf.

FLUKE, *Instrumentos para que su equipo ahorre dinero*. [en línea], 2022, pp. 146-171. [Consulta: 22 de octubre de 2022.] Disponible en: https://www.ing.unlp.edu.ar/catedras/A0098/descargar.php?secc=0&id=A0098&id_inc=58950

FREITAS, B.B., SAVIO T. MORETEZ SOHN, R. y PEREIRA NETO, M.A., 2017. ASPECTOS METROLÓGICOS DA TERMOGRAFIA NA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO. *HOLOS* [en línea], vol. 1, pp. 279-291. ISSN 1518-1634. [Consulta: 21 de octubre de 2022.] Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=481554844024>.

HIDALGO ESTRELLA, J.G., *Termodinamica basica para ingenieros* [en línea]. S.l.: Ediciones de la U. ISBN 9789587920505. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/127107>.

IEEE STD 286, 2001. *Recommended Practice for Measurement of Power Factor Tip-Up of Electric Machinery Stator Coil Insulation*. S.l.: s.n. ISBN 0738124907.

ISO 13379-1, 2018. *Condition monitoring and diagnostics of machines — Data interpretation and diagnostics techniques — Part 1*. 2018. S.l.: s.n.

ISO 14224, 2016. Industrias de petróleo y gas natural - recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos - ISO 14224. , pp. 289.

JAKL, B.O., *USING THE INFRARED CAMERA IN THE MEASURING TECHNIQUE*. S.l.: s.n. [en línea], (Tesis Ingeniería) Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, 2012, pp. 214. [Consulta: 21 de octubre de 2022.] Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/3268>.

JARA SALDAÑA, J.A. y MORALES ASENCIO, J.E., 2019. Análisis vibracional en electrobomba centrífuga de 100 kw para aumentar la durabilidad de rodamientos y dimensionar los Amortiguadores en Hayduk Malabrigo. [en línea], pp. 0-3. [Consulta: 12 de octubre de 2022.] Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/42893/Jara_SJA-Morales_AJE.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

JAURA, R.D.C., 2017. *Comprobación del estado del aislamiento en máquinas eléctricas rotativas mediante la aplicación de ensayos offline*. [en línea]. S.l.: s.n. [Consulta: 22 de octubre de 2022.] Disponible en: <https://es.scribd.com/document/415356250/CARRION-COMPROBACION-DEL-ESTADO-DEL-AISLAMIENTO-EN-MAQUINAS-ELECTRICAS-ROTATIVAS-MEDIANTE-LA-AP-pdf>.

JIMENEZ BERNAL, J.A. y TORRES, C. del C.G., *Termodinamica* [en línea]. S.l.: Grupo Editorial Patria. ISBN 9786074389388. [Consulta: 22 de octubre de 2022.] Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/39466>.

MADRID, M.A. y VALLE, L.A., *Determinación De Pérdidas Por Fugas En Tuberías De Aire Comprimido Mediante La Técnica De Ultrasonido Pasivo En El Laboratorio De Mantenimiento Predictivo De La Facultad De Mecánica* [en línea]. S.l.: s.n. [Consulta: 22 de octubre de 2022.] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4207/3/25T00259.pdf>.

MARQUEZ, A.C., GONZALEZ-PRIDA, V., ROSIQUE, A.S. y PARRA, C., 2020. Audit Models for Asset Management , Maintenance and Reliability Processes . Case Study: Electricity Transmission Sector Audit Models for Asset Management , Maintenance and Reliability Processes . Case Study: Electricity. , vol. 8, no. August, pp. 1-14. DOI 10.13140/RG.2.2.32132.14721/1.

MÁRQUEZ, J.Á.M., AJUECH, V.L.G. y SANTIAGO, V.M.D. de L., *Mantenimiento Técnicas y aplicaciones industriales*. En: J.E. CALLEJAS y E.D. RAMÍREZ (eds.), *Grupo Editorial Patria*, pp. 305.

MARRERO RODRÍGUEZ, L.J., *Caracterización de la calidad de la energía en circuitos eléctricos de distribución*. *Ingeniería Energética*, vol. 38, no. 3, pp. 156-165. ISSN 1815-5901.

MIRANDA SALINAS, Y.R., *Implementación De Un Plan De Mantenimiento Predictivo por Análisis de Vibraciones En Equipos Rotativos Críticos en La Central termoeléctrica Santo Domingo De Los Olleros.* ,

MOLLISACA CENTELLAS, J.C., *Mantenimiento y reparación de motores eléctricos síncronos*. [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <https://ciredeksa.cl/>.

MOMOH, O., *Impact of power quality on PV performance of grid connected systems*. S.l.: s.n.

NORDAL, H. y EL-THALJI, I., *Assessing the technical specifications of predictive maintenance: A case study of centrifugal compressor*. *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 11, no. 4, pp. 1-17. ISSN 20763417. DOI 10.3390/app11041527.

NUÑEZ, D.L. y BORSATO, M., *An ontology-based model for prognostics and health management of machines. Journal of Industrial Information Integration* [en línea], vol. 6, pp. 33-46. ISSN 2452414X. DOI 10.1016/j.jii.2017.02.006. [Consulta: 22 de octubre de 2022.] Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jii.2017.02.006>.

NUÑEZ MORA, H., *Diseño de un Modelo de Gestión de Mantenimiento basado en un Cuadro de Mando Integral (CMI) que alinee los objetivos del área de Dirección de Energía con los de la compañía COOPESANTOS R.L* [en línea]. S.l.: s.n. [Consulta: 22 de octubre de 2022.] Disponible en: <https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>.

OLARTE, W. y BOTERO, M., La detección de ultrasonido: una técnica empleada en el mantenimiento predictivo. *Scientia Et Technica* [en línea], vol. 47, pp. 230-233. ISSN 0122-1701. [Consulta: 22 de octubre de 2022.] Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84921327035>.

PARRA, C. y CRESPO, A., IngeCon. *Técnicas de Auditoría aplicadas en los procesos de Gestión del Mantenimiento y de la Confiabilidad*, pp. 33. [en línea], vol. 10, 2016, pp. 41-54. [Consulta: 21 de octubre de 2022.] Disponible en: <http://servicio.bc.uc.edu.ve/educacion/arje/arj19/art03.pdf>.

PORTAL, L.R.M., *DESMONTAJE, MONTAJE, VERIFICACIÓN DE UN ROTOR DE UN MOTOR ELÉCTRICO Y ACCESORIOS*. S.l.: s.n.

REVISTA INGENIERIA UC., *Vibration assessment of transmission bearings of a mini Baja SAE*, pp. 14. [en línea], vol. 63, 2016, pp. 397-407. ISSN 0002-5151. [Consulta: 21 de octubre de 2022.] Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=486755026009%0ACómo>.

RODRÍGUEZ BALLESTEROS, N.J., *Análisis De Falla De Las Paletas De Una Bomba De Desplazamiento Positivo. Scientia Et Technica* [en línea], vol. 22, no. 4, pp. 315-319. ISSN 0122-1701. [Consulta: 21 de octubre de 2022.] Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84955649003>.

ROJAS, D.N., “ *Elaboración de un Plan de Mantenimiento Predictivo de motores asíncronos para motoventiladores centrífugos en la Planta Fidería Lima Alicorp S . A .* ”. ,

ROYO PASTOR, R. y CANADA SORIANO, M., *Termografía infrarroja: nivel II* [en línea].

S.l.: FC Editorial. ISBN 9788416671564. [Consulta: 21 de octubre de 2022.] Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/114218>.

SÁNCHEZ VARGAS, C., *Técnica e Interpretación Adecuadas para Mediciones Infrarrojas en el Mantenimiento Predictivo de Equipos Eléctricos*. Universidad Nacional Del Centro Del Centro De Posgrado [en línea], pp. 90. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5992>.

SERRUTO, N., *Implementación de Metodología para el Diagnóstico de Fallas mediante el Análisis Vibracional en Motores Eléctricos en la Empresa A.E.I. SRL.* , pp. 1-190.

SHAPIRO, H.N. y MORAN, M.J., *Fundamentos de termodinamica tecnica (2a. ed.)* [en línea]. S.l.: Editorial Reverte. ISBN 9788429194111. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/46771>.

SILVA, A., SALAZAR, M., PONCE, J. y HERRERA, G., *Procedimiento para inspección de tableros eléctricos con termografía infrarroja*. Artículo Revista de Tecnología e Innovación Junio [en línea], vol. 4, no. 11, pp. 24-35. Disponible en: www.ecorfan.org/bolivia.

TECSUP, *Practical Evaluation of Electrical Insulation in High Power Rotating Machines.* , vol. 11, pp. 10.

TORRES LEONES, R.R., *Diseño de un plan de mantenimiento predictivo para los equipos desubestaciones mediante inspección termográfica.* , pp. 1-114.

UE SYSTEMS, 2022. *Ultrasonidos y análisis de vibraciones: dos tecnologías clave para el mantenimiento predictivo.* . S.l.:

UNE EN 13306, 2018. *Terminología del mantenimiento*. AeUNE. (2018). *Terminología del mantenimiento*. Aenor, 31. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0026303nor> [en línea], pp. 30. [Consulta: 21 de octubre de 2022.] Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0026303>.

VALENCIA, C. y EDISON, V., *Estudio de un plan de mantenimiento predictivo para ventiladores industriales , aplicando la técnica análisis de vibraciones*. [en línea]. S.l.: s.n [Consulta: 21 de octubre de 2022.]. Disponible en:

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16862/1/UPS-GT002464.pdf>.

WOLSTENCROFT, H.R., 2008. *Ultrasonic Air Leak Detection: An Investigation to Improve Accuracy of Leak Rate Estimation*. S.l.: s.n.

ZAPANA, B., *Analisis Vibracional en Bombas y Ventiladores. Es posible observar que el mantenimiento condicionado se basada en la evaluación del estado de los equipos, evaluación que se puede hacer de varias maneras, siendo la más importante y versátil el análisis de las vibraciones mecánicas en el dominio de la f*, vol. 4, pp. 9-15.