



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado de Ingeniería
Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento

**MONITOREO DE CONDICIÓN POR TERMOGRAFÍA INFRARROJA PARA
EQUIPOS CRÍTICOS ELÉCTRICOS Y DE TRANSMISIÓN DE VAPOR DE LA
INDUSTRIA AVÍCOLA EN UNA PLANTA UBICADA EN VILLA NUEVA,
GUATEMALA**

Narda Soledad González Morales

Asesorada por el MA. Ing. Jorge Luis Puertas Jerez

Guatemala, septiembre de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MONITOREO DE CONDICIÓN POR TERMOGRAFÍA INFRARROJA PARA EQUIPOS
CRÍTICOS ELÉCTRICOS Y DE TRANSMISIÓN DE VAPOR DE LA INDUSTRIA
AVÍCOLA EN UNA PLANTA UBICADA EN VILLA NUEVA, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

NARDA SOLEDAD GONZÁLEZ MORALES

ASESORADA POR EL MA. ING. JORGE LUIS PUERTAS JEREZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRA EN ARTES EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton De León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Mtra. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADORA	Mtra. Aura Marina Rodríguez de Peña
EXAMINADORA	Mtra. Inga. Sandra Ninett Ramírez Flores
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Edgar Dario Álvarez Cotí
SECRETARIO	Mtro. Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

MONITOREO DE CONDICIÓN POR TERMOGRAFÍA INFRARROJA PARA EQUIPOS CRÍTICOS ELÉCTRICOS Y DE TRANSMISIÓN DE VAPOR DE LA INDUSTRIA AVÍCOLA EN UNA PLANTA UBICADA EN VILLA NUEVA, GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, con fecha 27 de agosto de 2016.

Narda Soledad González Morales

EPPFI-575-2019

En mi calidad como Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, al Trabajo de Graduación de la Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento titulado: **“MONITOREO DE CONDICIÓN POR TERMOGRAFÍA INFRARROJA PARA EQUIPOS CRÍTICOS ELÉCTRICOS Y DE TRANSMISIÓN DE VAPOR DE LA INDUSTRIA AVÍCOLA EN UNA PLANTA UBICADA EN VILLA NUEVA, GUATEMALA”** presentado por la Ingeniera Industrial **Narda Soledad González Morales** quien se identifica con Carné **100023510**, procedo a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRIMASE.

“Id y Enseñad a Todos”


Ing. Aurelia Anabela Córdova Estrada

**Decana
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala**



Guatemala, septiembre de 2019

EEPFI-576-2019

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y verificar la aprobación del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística al Trabajo de Graduación titulado: **"MONITOREO DE CONDICIÓN POR TERMOGRAFÍA INFRARROJA PARA EQUIPOS CRÍTICOS ELÉCTRICOS Y DE TRANSMISIÓN DE VAPOR DE LA INDUSTRIA AVÍCOLA EN UNA PLANTA UBICADA EN VILLA NUEVA, GUATEMALA"** presentado por la Ingeniera Industrial **Narda Soledad González Morales** quien se identifica con Carné **100023510**, correspondiente al programa de Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Coti
Director

**Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala**



Guatemala, septiembre de 2019

EEPM-577-2019

Como Coordinador de la Maestría en Ingeniería de Mantenimiento doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado: **“MONITOREO DE CONDICIÓN POR TERMOGRAFÍA INFRARROJA PARA EQUIPOS CRÍTICOS ELÉCTRICOS Y DE TRANSMISIÓN DE VAPOR DE LA INDUSTRIA AVÍCOLA EN UNA PLANTA UBICADA EN VILLA NUEVA, GUATEMALA”** presentado por la Ingeniera Industrial Narda Soledad González Morales quien se identifica con Carné **100023510**.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


Mtra. Inga. Sandra Ninett Ramirez Flores
Coordinadora de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Guatemala, septiembre de 2019

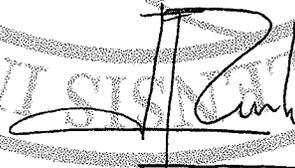
Sandra Ninett Ramirez Flores
INGENIERA QUÍMICA, COL. No. 437
Msc. INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

EEPFI-578-2019

En mi calidad como Asesor de la Ingeniera Industrial **Narda Soledad González Morales** quien se identifica con Carné **100023510** procedo a dar el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado: **“MONITOREO DE CONDICIÓN POR TERMOGRAFÍA INFRARROJA PARA EQUIPOS CRÍTICOS ELÉCTRICOS Y DE TRANSMISIÓN DE VAPOR DE LA INDUSTRIA AVÍCOLA EN UNA PLANTA UBICADA EN VILLA NUEVA, GUATEMALA”** quien se encuentra en el programa de Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento en la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”



Ingeniero Jorge Luis Puertas Jerez
Colegiado No. 5,763

Mtro. Ing. Jorge Luis Puertas Jerez
Asesor

Guatemala, septiembre de 2019

ACTO QUE DEDICO A :

- Dios** Por ser mi soporte y darme la oportunidad de realizar las metas que me propongo.
- Mis padres** Oscar González (QEPD) y Soledad Morales, porque su fortaleza y determinación hicieron de mi la persona que soy. Siempre buscaré ser mejor persona, como ellos me enseñaron.
- Mis hermanos** Por estar siempre presentes en cada momento de mi vida y por el apoyo que siempre me han brindado. Especialmente a José González.
- Mis amigos** Porque en las tristezas me dan una mano para levantarme y en las alegrías comparten la felicidad conmigo.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser el alma máter que nos brinda la educación para cambiar el mundo.
Escuela de Estudios de Postgrado	Por los conocimientos adquiridos en sus aulas, que permitieron mi crecimiento profesional.
Facultad de Ingeniería	Porque me enseñó a amar las ciencias.
Dra. Aura Marina Rodríguez	Por su paciencia en las enriquecedoras revisiones de mi tesis.
Inga. Sandra Ninett Ramírez	Por su apoyo y pasión por la educación.
Ing. Jorge Luis Puertas	Por su amable colaboración en la asesoría de mi trabajo de graduación.
Ing. Otto Raúl Chávez	Por su importante colaboración en la realización de este trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XI
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PREGUNTAS ORIENTADORAS	XIII
OBJETIVOS	XV
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. MARCO TEÓRICO	
1.1. Gestión de conservación industrial.....	1
1.1.1. Historia del mantenimiento.....	2
1.1.2. Procedimientos de mantenimiento.....	3
1.1.3. Programa anual de mantenimiento.....	4
1.1.4. Rutinas de mantenimiento preventivo.....	6
1.1.5. Plan maestro de mantenimiento.....	7
1.1.6. Plan diario-semanal de mantenimiento.....	8
1.1.7. Monitoreo de condición.....	10
1.1.7.1. Inspecciones VOSO.....	11
1.1.7.2. Vibraciones.....	13
1.1.7.3. Termografía.....	14
1.1.7.4. Ultrasonido.....	15
1.1.7.5. Análisis de aceite.....	17
1.1.8. <i>Outsourcing</i>	17
1.2. Criticidad de activos.....	18

1.3.	Indicadores clave de desempeño.....	19
1.3.1.	Disponibilidad.....	21
1.3.2.	Confiabilidad.....	22
1.3.3.	Tiempo medio entre fallas.....	22
1.3.4.	Tiempo medio de reparación.....	23
1.4.	Termografía infrarroja.....	23
1.4.1.	Uso y manejo de la cámara termográfica.....	25
1.4.2.	Ciencia térmica.....	25
1.4.3.	Ciencia de radiación.....	26
1.4.4.	Aplicaciones de la termografía.....	27
1.4.5.	Rutinas de inspección e informe.....	28
2.	INDUSTRIA AVÍCOLA EN LA GESTIÓN DE CONSERVACIÓN INDUSTRIAL	
2.1.	Antecedentes generales de la empresa.....	29
2.1.1.	Reseña histórica.....	29
2.1.2.	Visión.....	29
2.1.3.	Misión	29
2.1.4.	Estructura organizacional.....	30
2.2.	Diagnóstico de la situación	30
2.2.1.	Planta de procesamiento de aves.....	30
2.2.1.1.	Función.....	30
2.2.1.2.	Productos.....	31
2.2.1.3.	Descripción de las áreas de trabajo.....	32
2.2.2.	Departamento de mantenimiento	33
2.2.2.1.	Estructura organizacional.....	33
2.2.2.2.	Gestión de conservación industrial.....	34
2.2.2.3.	Indicadores claves de desempeño.....	35
2.2.2.4.	Monitoreo de condición	36

3.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	
3.1.	Desarrollo con base a objetivos.....	39
3.1.1.	Equipos críticos.....	39
3.1.2.	Informe de termogramas de referencia.....	39
3.1.3.	Frecuencia óptima del monitoreo y análisis costo- beneficio.....	41
3.1.4.	Programa de monitoreo de condición.....	42
4.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	
4.1.	Análisis de criticidad de activos.....	43
4.2.	Indicadores claves de desempeño.....	46
4.3.	Termogramas de referencia.....	47
4.4.	Análisis de la información térmica de referencia.....	57
4.5.	Propuesta inicial para frecuencia del monitoreo de condición por termografía infrarroja.....	61
4.6.	Análisis de información térmica de cuatro meses.....	62
4.7.	Propuesta de frecuencia óptima para monitoreo de condición por termografía infrarroja.....	67
4.8.	Análisis costo-beneficio de la propuesta.....	68
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	
5.1.	Discusión de resultados relevantes.....	71
	CONCLUSIONES	75
	RECOMENDACIONES.....	77
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama funcional del Grupo PAF.....	30
2.	Organigrama funcional del departamento de mantenimiento.....	34
3.	Cámara termográfica Fluke Ti25.....	46
4.	Diagrama unifilar de las subestaciones eléctricas.....	48
5.	Fotografía y termograma del interruptor de la subestación 1.....	49
6.	Fotografía y termograma del interruptor principal de producción de planta de especialidades.....	49
7.	Fotografía y termograma del interruptor principal de las bombas de producción.....	50
8.	Fotografía y termograma del interruptor principal del chiller y trampas.....	50
9.	Fotografía y termograma del interruptor principal de muelle y evisceración.....	51
10.	Fotografía y termograma del interruptor de la subestación 2.....	51
11.	Fotografía y termograma del interruptor principal del tunel.....	52
12.	Fotografía y termograma del interruptor principal de empaque.....	52
13.	Fotografía y termograma del interruptor principal de producción de planta especialidades.....	53
14.	Fotografía y termograma del interruptor de la subestación 3.....	53
15.	Imagen de análisis generada por el programa <i>Fluke InsideIR</i> , para trampa de vapor en manifold principal.....	54
16.	Imagen de análisis generada por el programa <i>Fluke InsideIR</i> , para trampa de vapor en línea 1 de planta de especialidades.....	54

17.	Imagen de análisis generada por el programa <i>Fluke InsideIR</i> , para trampa de vapor en línea 2 de planta de especialidades.....	55
18.	Imagen de análisis generada por el programa <i>Fluke InsideIR</i> , para trampa de vapor del horno de línea.....	55
19.	Imagen de análisis generada por el programa <i>Fluke InsideIR</i> , para trampa de vapor del horno tipo <i>batch</i>	56
20.	Imagen de análisis generada por el programa <i>Fluke InsideIR</i> , para interruptor de empaque	59
21.	Imagen de análisis generada por el programa <i>Fluke InsideIR</i> , para interruptor de muelle y eviscerado.....	60
22.	Imagen de análisis generada por el programa <i>Fluke InsideIR</i> , para subestación 1.....	63
23.	Imagen de análisis generada por el programa <i>Fluke InsideIR</i> , para interruptor del tunel.....	64
24.	Imagen de análisis generada por el programa <i>Fluke InsideIR</i> , para trampa de vapor de línea 1 de planta de especialidades.....	65
25.	Imagen de análisis generada por el programa <i>Fluke InsideIR</i> , para trampa de vapor del horno lineal.....	65

TABLAS

I.	Perfiles de riesgo.....	44
II.	Análisis costo-beneficio para monitoreo de condición por termografía infrarroja en transferencias eléctricas principales.....	68
III.	Análisis costo-beneficio para implementación de monitoreo de condición por termografía infrarroja en trampas de vapor.....	69

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
	Fuente de alimentación
	Transformador
	Interruptor
	Centro de carga

GLOSARIO

Gestión	Se refiere a las acciones o trámites que en conjunto se lleva a cabo para resolver o conseguir una cosa.
Confiabilidad	Es la medida de la probabilidad de que un sistema opere sin falla, es decir, la capacidad que tiene el sistema de desempeñar la función para la que fue diseñado, en las condiciones establecidas y durante un período determinado.
Disponibilidad	Medida utilizada para indicar el tiempo que un equipo está disponible respecto al tiempo que se esperaba que estuviera disponible para el uso del mismo en las actividades para las cuales fue diseñado.
Mantenibilidad	Medida de la expectativa del tiempo en que un equipo será puesto en operación luego de la intervención del mismo para su mantenimiento de acuerdo a los procedimientos establecidos.
Criticidad	Se refiere a una jerarquización para establecer niveles de importancia de los equipos de un sistema o proceso productivo, de acuerdo con criterios específicos establecidos por el usuario o dueño del proceso.

Termografía

Técnica no destructiva para análisis de condición que consiste en la adquisición y análisis de información térmica obtenida, mediante los dispositivos de adquisición de imágenes térmicas a distancia.

Termograma

Imagen térmica que se obtiene de un dispositivo con la capacidad de medir niveles de radiación infrarroja y convertirlos en intensidades de calor que se reflejan en dicha imagen y que pueden ser visibles e interpretables para el ojo humano.

Infrarrojo

Es parte del espectro electromagnético que no es visible para el ojo humano con longitudes de onda entre el espectro visible y las microondas. Requiere un aparato especial para poder leerlo e interpretarlo.

RESUMEN

En los procesos productivos es importante alinear los objetivos de la gestión de mantenimiento para que contribuya a la estrategia de la empresa. Y por eso se vuelve relevante cambiar la gestión de mantenimiento de una perspectiva reactiva hacia una proactiva, con el objetivo de anticiparse a la ocurrencia de las fallas. El propósito de la investigación es lograr ese aporte, mediante un monitoreo de condición por termografía infrarroja; con objetivos claros como la criticidad de los activos, la evaluación de su condición y el análisis costo-beneficio de la implementación.

En la metodología se requiere de diversas técnicas de mantenimiento, tanto para la gestión que identifica el contexto, como para el trabajo de campo que involucra la obtención de imágenes térmicas y su análisis por medio del método inductivo, para lograr conclusiones utilizables y replicables. Los principales resultados que se obtienen son: el análisis de criticidad que enfoca los esfuerzos en transferencias eléctricas principales y trampas de vapor; el establecimiento de la frecuencia óptima de monitoreo que permite hacer el análisis costo-beneficio; y el resultado positivo del análisis que indica a la empresa el beneficio a obtener en la implementación.

El principal aporte de la investigación es la metodología que es replicable para evaluar el costo-beneficio del mantenimiento predictivo. Asimismo, se concluye que en los equipos evaluados, el costo-beneficio de la implementación es positivo. Se recomienda extender el monitoreo a otros equipos, para mejorar su eficiencia en costo al integrar nuevos equipos y capacitar a los involucrados para profesionalizar al equipo.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PREGUNTAS ORIENTADORAS

Planteamiento del problema

La empresa no cuenta con un esquema de equipos críticos ni un plan de mantenimiento predictivo definido, lo cual la expone a la ocurrencia de fallas, cuyo impacto afecta el costo de la organización, tanto en costos de mantenimiento emergente como en paros de producción no programados. Sin embargo, cuenta con una cámara infrarroja, lo cual resulta en una gran área de oportunidad para establecer un programa de mantenimiento predictivo por medio de termografía infrarroja.

Descripción del problema

La gestión de conservación industrial ya no tiene su enfoque en una cultura reactiva, sino en una cultura proactiva que utilizando técnicas no destructivas, se anticipa a la ocurrencia de los eventos que impactan fuertemente en el costo de las organizaciones. Aplicar cualquier técnica no destructiva en una rutina de mantenimiento predictivo, requiere un programa de trabajo definido, con costos de capacitación y equipo necesario, que enfatice de forma clara, el beneficio que puede obtenerse de su implementación.

La implementación de un programa de monitoreo de condición por termografía infrarroja, permitirá a esta planta procesadora, analizar la condición de sus equipos críticos, para permitir intervenciones oportunas que minimicen el impacto que las fallas puedan tener sobre el costo de la organización.

Formulación del problema

Siendo el problema de la planta, la carencia de un mantenimiento predictivo que ayude a reducir la ocurrencia de las fallas y el impacto de las mismas para el proceso productivo; el estudio se enfoca en técnicas de mantenimiento proactivo de la planta de procesamiento avícola ubicada en Villa Nueva, Guatemala.

Las instalaciones de la planta, albergan dos edificios dirigidos a diferente proceso, el primero al beneficio de las aves y el segundo al procesamiento de la carne hasta obtener diferentes especialidades marinadas y cocinadas. Para la implementación de programa de monitoreo de condición, las siguientes interrogantes deben ser respondidas:

Pregunta principal:

¿Cómo aplicar un programa de monitoreo de condición por termografía infrarroja a los equipos de una planta procesadora de aves?

Preguntas secundarias:

¿Qué equipos críticos de la planta procesadora de aves deben definirse?

¿Cómo analizar la condición de los equipos críticos eléctricos y de distribución de vapor por medio de termografías de referencia?

¿Cómo establecer una frecuencia óptima para el monitoreo de condición, mediante el análisis comparativo de los termogramas?

OBJETIVOS

GENERAL:

Realizar un programa de monitoreo de condición por medio de termografía infrarroja para equipos críticos eléctricos y de transmisión de vapor de la industria avícola de una planta ubicada en Villa Nueva, Guatemala.

ESPECÍFICOS:

1. Definir equipos críticos para la planta de producción avícola, ubicada en Villa Nueva.
2. Elaborar un informe de termogramas de referencia para cada equipo crítico relacionado con distribución de vapor y energía eléctrica de la planta y realizar un comparativo de los termogramas de acuerdo a un programa establecido.
3. Establecer la frecuencia óptima para la realización del monitoreo de condición con termografía infrarroja y presentar análisis costo-beneficio del proyecto a la Dirección de mantenimiento de la planta.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

El enfoque de la presente investigación es no experimental de tipo descriptivo correlacional, porque persigue medir el grado de mejora de un sistema de gestión de mantenimiento al implementar un monitoreo de condición por medio de termografía infrarroja.

Para esta investigación se utilizaron diferentes técnicas de mantenimiento, tanto para la definición del tipo de gestión como para el establecimiento de los indicadores que miden dicha gestión; y por el lado técnico, se utilizó la termografía infrarroja como método de ensayo no destructivo en la investigación de campo, técnica de observación para la obtención de los datos y método inductivo para el análisis de dichos datos. Se hizo uso de una cámara infrarroja, para la obtención de la información térmica, así como de un software llamado InsidelR 4.0, para descargar y analizar la información de las imágenes térmicas de la cámara.

Los beneficiarios de esta investigación son los gestores de mantenimiento de la empresa, ya que mediante el uso de técnicas de mantenimiento predictivo, pueden desarrollar una labor más eficiente en términos de disponibilidad de los equipos y en términos económicos.

Para el cumplimiento de los objetivos de esta investigación, se utilizaron distintas variables dependientes e independientes; primero para el establecimiento de los equipos críticos; luego para el informe de termografías de referencia, para establecer valores iniciales comparables para la siguiente etapa. Esto, en conjunto con el establecimiento de indicadores clave de desempeño, fue

de utilidad para evaluar el costo beneficio de la implementación del monitoreo de condición.

Como primera fase, se requirió el establecimiento de equipos críticos para la planta de producción avícola, con sus indicadores clave de desempeño, para priorizar el enfoque de los recursos en aquellos equipos que para el proceso productivo resultan ser más importantes. En la fase II, se elaboró un informe de termogramas de referencia, para establecerlo como valor inicial del monitoreo y luego comparar el desgaste posterior del equipo. La fase III consistió en el monitoreo de condición de los equipos durante cuatro meses, para establecer una frecuencia óptima de monitoreo y realizar un análisis costo-beneficio de la implementación del monitoreo de condición por termografía infrarroja.

Uno de los principales resultados de esta investigación es el análisis costo-beneficio positivo del uso e implementación de la termografía como herramienta de mantenimiento predictivo; factibilidad que el gestor puede utilizar para la justificación de inversiones posteriores. Además, como algo de mayor valor, se dejó el procedimiento de la evaluación del mantenimiento predictivo versus el mantenimiento correctivo. Esta evaluación servirá como base para nuevas evaluaciones de factibilidad para otros equipos, cuyo valor estratégico para la empresa sea importante.

El método propuesto para la implementación de monitoreo de condición por termografía infrarroja consideró los costos de implementación y los beneficios asociados a la no ocurrencia de fallas en los equipos. Además, que propone la profesionalización del equipo de mantenimiento mediante la capacitación activa en la técnica de termografía infrarroja.

INTRODUCCIÓN

La gestión de conservación industrial tiene como objetivo asegurar que los activos lleven a cabo las funciones para las cuales fueron previstos. Las estrategias adoptadas para la gestión van enfocadas hacia un mantenimiento proactivo, debido a que la idea es reducir la probabilidad y severidad de las fallas.

Las técnicas utilizadas para el mantenimiento predictivo van desde inspecciones que dependen de la experiencia del operador, como la técnica VOSO, hasta la utilización de técnicas de análisis que exigen un amplio conocimiento de otras áreas. Entre las técnicas se puede mencionar técnicas no destructivas como el análisis de aceite, análisis de vibraciones y la termografía infrarroja, entre otras. Según la Norma ISO 18436-7:2008. La aplicación de la termografía infrarroja como técnica no destructiva, exige el conocimiento sobre la cámara termográfica, el uso de la cámara termográfica, las técnicas de análisis de termogramas, las aplicaciones de la termografía, las rutinas de inspección termográfica, y la elaboración del informe termográfico.

Todas las fallas electromecánicas se manifiestan generando calor antes de producirse y la termografía infrarroja pretende algo más que resolver un problema latente, tiene como objetivo detectar una falla antes que se produzca, para evitar un paro de producción no programado. Los paros de producción por mantenimiento no programado se traducen en costos para la compañía, representados en falta de producción, accidentes y las reparaciones emergentes.

Y por estas razones es importante detectar una anomalía térmica, mediante el análisis de información captada por la cámara termográfica y

analizada en conjunto por el termógrafo y el director de mantenimiento de la planta.

En los capítulos I y II de la investigación se hizo referencia al marco teórico y al diagnóstico de situación de la empresa, el cual se enfocó en el conocimiento del negocio y la estructura organizacional, tanto de la planta como del departamento de mantenimiento, así como su gestión de conservación industrial.

El capítulo III de la investigación consistió en analizar la criticidad de los equipos instalados en planta, así como los indicadores clave de desempeño del departamento de mantenimiento, con el objetivo de tener datos de referencia que luego pudieron compararse con los resultados esperados de la investigación.

En el capítulo IV se presentan los resultados; la toma de termogramas de referencia y el análisis de esta información térmica, con la finalidad de establecer el programa de monitoreo de condición que sugiera los monitoreos necesarios y la frecuencia de cada uno de ellos, lo cual hizo que el proyecto sea viable para la empresa debido a un análisis costo-beneficio favorable.

El último capítulo de la investigación presenta la discusión de los resultados finales, con el objetivo de demostrar la factibilidad de la propuesta de acuerdo al análisis costo-beneficio presentado. Luego de tomar costos de implementación y beneficios por la no ocurrencia de fallas, se llega a la conclusión que es factible porque presenta un resultado positivo en un escenario conservador, demostrando que los beneficios pueden ser incluso mejores.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Gestión de conservación industrial

Puertas Jerez, J.L. (2012). Las estrategias de mantenimiento adoptadas por las empresas siempre buscan las formas de alcanzar la máxima eficiencia en la ejecución de sus operaciones, objetivo que se ve afectado con la ocurrencia de fallas y averías en los equipos.

La ocurrencia de fallas puede afectar directamente la disponibilidad de los equipos y esto traerá como consecuencia la pérdida de producción y aumento de costos operativos de la planta, provocando disminución en las ganancias de la misma.

La gestión de conservación industrial involucra todas las iniciativas relacionadas a la administración del mantenimiento que intrínsecamente aseguran la disponibilidad de los activos. Incluye planes y rutinas de mantenimiento, procedimientos, establecimiento de indicadores de desempeño, monitoreos de condición y ensayos no destructivos, así como filosofías de mantenimiento productivo total y/o mantenimiento centrado en confiabilidad, entre otras.

El mantenimiento contempla las acciones orientadas a conservar o restablecer los equipos de tal forma que éstos cumplan con el servicio para el cual fueron diseñados, de una forma económica favorable para la empresa. La forma de medir el desempeño de los equipos e incluso de la propia gestión de mantenimiento es mediante indicadores, éstos pueden ser de planificación, mano

de obra, gestión, inventarios y costos; y otros que revelen su estado a través del tiempo.

Dentro de las estrategias de mantenimiento, se encuentran los monitoreos de condición que ayudan a predecir la ocurrencia de las fallas de los equipos y de esta forma, se puede reducir el impacto de las mismas mediante una atención oportuna que garantice la disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

1.1.1. Historia del mantenimiento

Desde el mantenimiento correctivo que se desarrolló a principios de la revolución industrial (1780), ha habido una evolución forzada para el mantenimiento, iniciando a pensar, por ejemplo, en la conveniencia de intervenir los equipos antes de que se produzca la falla, para evitar las interrupciones del proceso productivo; lo cual es el principio básico del mantenimiento preventivo y ésta es considerada la segunda generación del mantenimiento.

Luego, en una tercera generación, el mantenimiento se enfoca en el principio de predecir las fallas, para conocer el estado real de los equipos, mediante métodos no destructivos, como los análisis de vibraciones, análisis de aceites, ultrasonido, termografía, mediciones de ruido, entre otros.

Para esta nueva etapa, la industria dispone de una amplia variedad de equipos, para la medición y el control, que son altamente confiables y que permiten el manejo de sistemas de información expertos que coadyuvan al desarrollo de nuevas técnicas de monitoreo.

Esta tercera generación crea un inherente vínculo entre la tecnología y el mantenimiento, lo cual supone un supuesto aumento en los costos de

mantenimiento, pero que en realidad se compensa con el beneficio de un programa de producción que está bajo control, ya que sus equipos están disponibles y son confiables.

Con la tecnología como aliado, los equipos cumplen con la disponibilidad y confiabilidad requeridas por la producción en temas de eficiencia, además contribuye a la alineación de los objetivos de la empresa a las nuevas políticas ambientales y de seguridad industrial que en esta nueva época se convirtieron en un punto crítico.

Y con las nuevas políticas y exigencias del mercado, se requieren procesos altamente eficientes que descansen sobre un mantenimiento proactivo que monitorea sus equipos y logra predecir las fallas, evitando los costos asociados a estas fallas y reduciendo su intervención a programas que garantizan la continuidad del proceso productivo.

1.1.2. Procedimientos de mantenimiento

Los procedimientos operativos estándar son elaborados para establecer y dar a conocer la forma en que se debe proceder en diferentes situaciones y procesos que la experiencia ha marcado y en los cuales se ha observado que las desviaciones provocan una marcada diferencia en el resultado final.

Tratándose de mantenimiento, es importante que se tengan estos procedimientos, ya que se espera que cada uno de los técnicos realice las tareas de la misma forma y que tome en cuenta todos los aspectos importantes que involucran cada una de las tareas de las rutinas de mantenimiento que se han establecido y que se realizan periódicamente.

La estandarización en la realización de dichas tareas de mantenimiento, garantizan un mismo resultado en los equipos, independientemente del técnico que las realice y de esta manera puede confiarse en que los resultados finales, realmente garantizarán la confiabilidad y disponibilidad que se espera de los equipos.

Existen procedimientos establecidos para diferentes áreas de trabajo y para ciertos equipos críticos, establecidos como rutinas de mantenimiento. Este es el caso de las tareas de lubricación para equipos críticos, como la línea de proceso de faena y eviscerado, la caldera de vapor, entre otros.

Para los mantenimientos predictivos, no existen procedimientos operativos estándar, ya que son realizados por una empresa externa en la periodicidad que esta empresa establece y solamente son considerados ciertos equipos por su criticidad o bien, porque el fabricante ha recomendado que sean monitoreados de esta manera.

Debido a la necesidad de establecer un procedimiento operativo estándar, que garantice el resultado de un programa de monitoreo que será establecido, se tendrá la necesidad de realizar un procedimiento para la ejecución de dicho programa, una vez realizado será sometido a las diferentes revisiones hasta que sea aprobado, para fortalecer el programa de mantenimiento predictivo por termografía.

1.1.3. Programa anual de mantenimiento

Las estrategias de mantenimiento en la industria son adoptadas de acuerdo al criterio de las personas que gestionan el mantenimiento industrial en

un lugar específico, tomando en cuenta los requerimientos de los equipos instalados, así como las necesidades de la propia industria a la cual pertenecen.

Acorde a la estrategia implementada, se realiza un programa anual de mantenimiento, el cual contiene el detalle de las intervenciones que se pretende hacer sobre los equipos en todo el año. El plan anual debe incluir la frecuencia de intervención de cada equipo, si se trata de intervenciones por recambio de piezas, intervenciones por lubricación y hasta intervenciones por mantenimientos mayores.

Este plan incluye todo lo referente a la información que coadyuve a la realización de plan, el detalle de las tareas, la especialidad del técnico, el tiempo para ejecutar cada tarea, los recursos necesarios, y si es necesario que se tenga la máquina parada, para que puedan coordinarse los espacios donde se tenga el menor impacto sobre los planes de producción.

Los planes anuales de mantenimiento permiten minimizar los tiempos de intervención de los equipos al realizar las tareas de forma planificada, ya que se tienen estimados los recursos a utilizar, los técnicos con la especialidad acorde a las tareas que deben ejecutarse, los repuestos necesarios que se compran anticipadamente y en el tiempo apropiado para utilizarse, sin que generen atrasos en las intervenciones a los equipos o costos excesivos por tiempos de almacenaje.

Los planes de mantenimiento en planta son elaborados con base a la experiencia, ya que pocas veces se logran datos estadísticos que proporcionen la información suficiente para tomar decisiones acertadas respecto a los tiempos de falla de los equipos y que definan un tiempo apropiado para la intervención oportuna.

1.1.4. Rutinas de mantenimiento preventivo

Las rutinas de mantenimiento para los activos son generadas, a partir de las recomendaciones del fabricante en el caso de que sean activos nuevos o recién instalados. Esto no es definitivo, pues debe tomarse en cuenta que los fabricantes realizan sus rutinas de mantenimiento de acuerdo a ciertas condiciones de desgaste que suelen ser ideales, caso contrario al que ocurre en las plantas.

Al tomar en cuenta que, además, las plantas varían en condiciones de una a otra, no puede considerarse una rutina de mantenimiento general que funcione siempre; será necesario considerar las recomendaciones de la fábrica como condiciones iniciales, pero con el paso del tiempo y basados en la propia experiencia de planta, llegar a una rutina óptima que garantice la continuidad de las operaciones a un costo eficiente.

Una vez definidas las condiciones iniciales de la fábrica, se tomarán en cuenta aquellas tareas que impliquen la observación y lubricación de partes en movimiento y elementos que requieren de especial atención por el desgaste que puede generar el movimiento o trabajo de las mismas.

Cuando las tareas han sido identificadas, se procede a considerar los tiempos que se requiere para cada tarea y el tiempo mínimo entre tareas, para definir la rutina de mantenimiento que aplicará a cada maquinaria y que deberá seguirse como parte de plan anual de mantenimiento.

Estas rutinas de mantenimiento deben ser seguidas de acuerdo a lo establecido, ya que con esto se garantiza la eficiencia de las mismas y si fuera el

caso que no logren la eficiencia deseada, puede reevaluarse, sabiendo que lo considerado con anterioridad, tiene oportunidades de mejora.

1.1.5. Plan maestro de mantenimiento

El plan maestro de mantenimiento es el programa de actividades que deben ejecutarse durante un período de tiempo que generalmente es un año. Éste incluye todas las actividades de mantenimiento que garantizarán la continuidad de la operación de los equipos, previendo las averías y permitiendo la intervención de los equipos a periodos programados.

Una vez instalados los equipos en planta, estos son sometidos a estudio, para determinar el tiempo óptimo para su intervención, valiéndose de diversas herramientas como los manuales del fabricante, tiempos de vidas de rodamientos, observación del desgaste de las partes en movimiento, entre otros.

Cuando se ha recolectado suficiente información, se procede a establecer periodicidades y actividades para las intervenciones a los equipos, se establece un período para las diversas actividades de mantenimiento, como lubricación, recambio de partes, ajustes, análisis, calibración.

En este plan deben ser incluidas las actividades de rutina, así como las actividades que involucran intervenciones mayores a los equipos. Todas estas tareas y rutinas serán incluidas en el programa anual de mantenimiento, estableciendo las fechas que menos impacto produzcan al proceso productivo, para optimizar los costos del departamento.

El plan maestro de mantenimiento debe contemplar las tareas y los tiempos de ejecución de las intervenciones que se planea realizar durante el

siguiente año; con el afán de garantizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, también optimizar el costo de mantenimiento al reducir las fallas y al cumplir con una programación que le permite organizar las actividades con anticipación.

1.1.6. Plan diario-semanal de mantenimiento

Derivado del plan y del programa anual de mantenimiento, se tiene una serie de actividades de mantenimiento con fecha tentativa de ejecución, para las intervenciones de los equipos. De esta forma, se da lugar al plan semanal, como un extracto del programa anual y finalmente se tendrá un plan diario, como la división más pequeña que se extrae del plan semanal.

Ambos planes, semanal y diario, son planes a detalle, que incluyen las actividades y rutinas de mantenimiento que se han programado en su momento, también incluyen el detalle de los recursos a utilizar, los tiempos estimados de las intervenciones, los técnicos e incluso los contratistas de ser necesarios en la ejecución de las actividades programadas.

El plan semanal, supone la consideración de todos los detalles relacionados al equipo y proceso productivo que afecta, es decir que, si existe algún inconveniente con la línea o proceso de producción, debido a altas demandas o paros de línea que impidieron cumplir con el plan de producción; podría ser que en el último momento se solicite aplazar la intervención y ésta deba esperar hasta que proceso productivo lo permita.

Es importante considerar que, en la búsqueda del objetivo de confiabilidad del equipo, el tiempo que éste espera por su intervención, debe ser razonable, considerando que los tiempos fueron establecidos de acuerdo a un estudio

exhaustivo que dio como resultado un tiempo prudencial para la intervención, el cual garantizaba el óptimo funcionamiento del equipo y reducía la probabilidad de ocurrencia de las fallas.

Bajo este criterio, el razonamiento con el departamento de producción, debe estar enfocado a enfatizar el riesgo de la ocurrencia de una falla durante el proceso productivo y el impacto económico que ésta tendría sobre el costo de mantenimiento y sobre la empresa.

Una vez coordinada con el departamento de producción la intervención de mantenimiento en un equipo, se confirma el plan semanal con todos los recursos requeridos, se preparan los repuestos que serán utilizados, el personal técnico que realizará el trabajo, así como los contratistas que pueden apoyar si se diera el caso de un contratiempo.

El encargo de planear las actividades de mantenimiento de la semana, debe ser previsor con los posibles inconvenientes que pueden ocurrir durante la ejecución, tomando en cuenta que estas intervenciones generalmente son realizadas en días inhábiles y que no será fácil conseguir un repuesto o un contratista para realizar determinado trabajo, a menos que haya sido avisado con anterioridad y que éste se haya comprometido a atender cualquier emergencia que surgiera.

Cuando se tiene coordinado el plan semanal, prácticamente se trata de desglosarlo en días y ya se dispone del plan diario; si todo fue planeado y previsto adecuadamente, el plan diario será cuestión de supervisar que todas las actividades sea ejecutadas de acuerdo al plan y que las desviaciones ocasionen el menor impacto posible sobre los tiempos planificados, ya que se tiene el compromiso de entregar el equipo en el tiempo pactado.

Se debe garantizar que la ejecución se desarrolla de forma adecuada y que cada inconveniente por pequeño que sea es atendido, para que no haya opción que estos pequeños detalles puedan ocasionar una falla en el equipo una vez que se encuentre armado, ya que esto representaría volver a realizar el trabajo desde el principio, lo cual demandará el doble de tiempo y arruinará todo el esfuerzo del planificador al no entregar los resultados prometidos.

1.1.7. Monitoreo de condición

El monitoreo por condición es un tipo de mantenimiento que planea las intervenciones, tomando como base los resultados de las inspecciones realizadas a los equipos. Se le denomina así, al mantenimiento realizado con base al deterioro significativo de un equipo, señalado por la variación de un parámetro controlado e indicativo del funcionamiento o rendimiento de dicho equipo. (Muñoz Abella)

Arata Andreani, Adolfo (2009). Las políticas de mantenimiento más utilizadas en la actualidad son: correctivas, preventivas, predictivas y productivas; con la idea fundamental de presentar un modelo que permita analizar cuál es la combinación de políticas de mantenimiento en una instalación industrial.

Las políticas adoptadas de acuerdo a la industria deben cumplir con el objetivo principal de mantenimiento que es el de mantener la operabilidad óptima de los equipos y que realicen la función para la cual fueron diseñados.

El monitoreo de condición o mantenimiento predictivo tiene un objetivo más ambicioso que el reemplazar piezas como lo dicta el mantenimiento preventivo. Se trata de minimizar los tiempos de intervención en los equipos y extender la vida útil de los componentes, por medio de inspecciones periódicas

que revelan algunas características cambiantes que están asociadas al deterioro o desgaste de las piezas que se monitorean.

Las características que se monitorean en los equipos dependen de la variable que se desea controlar y del tipo de técnica de monitoreo a utilizar; cada técnica proporciona diferentes niveles de confiabilidad en diversas variables, por lo que es importante escoger la técnica idónea para el monitoreo de la variable y su condición en el tiempo.

Con el paso del tiempo se tendrán condiciones distintas asociadas al desgaste de las piezas que se monitorean, entonces, es importante establecer un punto inicial para el monitoreo, es decir, aquella condición en la que el componente se considera en óptimas condiciones, ya sea porque el recambio de la pieza marca ese inicio, o bien porque el funcionamiento del equipo es el esperado de acuerdo al diseño.

1.1.7.1. Inspecciones VOSO

Las inspecciones VOSO son rutinas de mantenimiento que se adoptan cuando las tareas para ejecutar en los equipos están basadas en mantenimiento preventivo. Requieren de personal capacitado y con varios años de experiencia, pues los análisis se basan en la percepción que el inspector o técnico de mantenimiento tenga sobre algún equipo en particular.

Se trata de una evaluación de los equipos por medio de los sentidos de la vista, oído, tacto y olfato, descritos a continuación:

- Ver (vista): Movimientos, fugas, cambios físicos en el equipo, y otros que se logren detectar con la vista y que sea una característica que no se había notado antes.

- Oír (auditivo): Los equipos y el lugar donde están instalados pueden presentar ciertos ruidos que son propios del funcionamiento de los mismos, sin embargo, al inspeccionar, se debe prestar especial atención a los ruidos extraños, ruidos de metal, fajas mal ajustadas, todo aquel sonido que no se había percibido en las inspecciones anteriores y que a la hora de la inspección llame la atención del técnico inspector.
- Sentir (tacto): Se trata de palpar superficies que no representen peligro y que pudieran dar referencia de una posible falla, por ejemplo, fisuras o hundimientos en ejes, cambios de textura en ciertas superficies, vibraciones repentinas, entre otras.
- Oler (olfato): Generalmente las áreas de los equipos tienen ciertos olores característicos, para los técnicos que están familiarizados con los equipos, resultará sencillo detectar si algún olor es extraño al ambiente que se inspecciona.

Cuando se crean las rutinas de mantenimiento, es importante que sean mencionadas en los procedimientos, las medidas de seguridad y precaución particulares al área y equipos que se inspeccionarán, ya que algunas características pueden ser fácilmente detectables en operación y otras con máquina parada; pero cuando se trata de seguridad, se debe prestar especial atención a aquellas acciones que pueden poner en riesgo al personal que ejecuta la rutina de mantenimiento.

Atendiendo la tabla de riesgos de los lugares específicos, se deben definir los equipos de protección personal necesarios para las diferentes tareas de las inspecciones y dar a conocer las precauciones del caso en los mismos procedimientos utilizados para dar a conocer las instrucciones de las tareas de mantenimiento, para lograr una integración del procedimiento con la seguridad en la ejecución del mismo.

Como cualquier rutina de mantenimiento, es importante que estas inspecciones se realicen de forma periódica y establecer los tiempos óptimos entre cada inspección, para que los recursos humanos sean aprovechados de la mejor manera y que se permita un seguimiento adecuado de los equipos que son inspeccionados.

1.1.7.2. Vibraciones

Toda máquina en correcto estado de operación tiene un cierto nivel de vibraciones, debidos a las tolerancias permitidas durante la fabricación. (Mosquera, Piedra Diaz, y Armas Cardona, 2000)

Este análisis de mantenimiento predictivo considera que las máquinas en su proceso de fabricación, tienen ciertas tolerancias que conllevan a desajustes mecánicos de las piezas, mismos que provocan fuerzas que son transmitidas hacia el exterior por medio de los anclajes, apoyos y uniones. El producto de estas fuerzas es lo que se conoce como vibraciones mecánicas, y pueden ser medidas dentro de ciertos límites establecidos y considerados normales, que son tomados durante el período de prueba o cuando la máquina es nueva, para establecer los parámetros de referencia para dichas mediciones.

Conforme se produce desgaste en las piezas móviles de una máquina, el nivel de vibraciones aumenta, así que el estado de las máquinas está intrínsecamente ligado al nivel de vibraciones que la misma produce en operación, por lo tanto, el monitoreo de este parámetro como indicador de la condición de la máquina es altamente efectivo como método de mantenimiento por condición, ya que cuando el indicador sobrepase los valores considerados como límite, será el momento de una intervención.

La detección temprana de una probable falla, minimiza los costos de mantenimiento, ya que se identifica con precisión las piezas que presentan desgaste, debido al nivel de vibración que han presentado en el transcurso del tiempo; y esto conlleva a dirigir los esfuerzos hacia los puntos objetivos que, además, reducirán el uso de repuestos innecesarios, pues se tienen identificados los puntos donde se genera un nivel de vibración que ya representa un peligro.

1.1.7.3. Termografía

La termografía es una técnica de medición de la temperatura superficial de los cuerpos (Lanzoni, 2014). Como técnica de análisis no destructiva, la termografía utiliza las lecturas de radiación electromagnética, las traslada a imágenes térmicas que se asocian con intensidades de color, para que el ojo humano pueda verlas e interpretarlas como cambios de temperatura en las diferentes superficies que se evalúan.

Así como el acoplamiento de piezas mecánicas provoca un nivel de vibración que es posible medir, la temperatura puede asociarse a cualquier proceso de producción e interacción mecánica, ya que todos los cuerpos poseen una temperatura asociada que es susceptible de medirse, de hecho, si se quisiera proponer algún proceso donde la variable temperatura no esté involucrada, resultaría una tarea complicada.

Cuando se utilizan técnicas de análisis no destructivas, se hace con el objetivo de obtener información valiosa sin tener que desarmar o modificar los sistemas que se inspeccionan e inclusive realizar los análisis mientras los equipos siguen operando, lo cual representa para el equipo de mantenimiento, un área de oportunidad que permite el monitoreo y control de los equipos de planta.

La termografía presenta las ventajas de ser un método de análisis no destructivo y además, algunas ventajas adicionales como mantener al usuario fuera de peligro, ya que se efectúa a distancia y sin tener que tocar los elementos en movimiento o aquellos que se encuentran energizados como es el caso de tableros eléctricos. Además, le llaman técnica bidimensional porque permite una comparación directa entre las áreas de un mismo cuerpo o varios cuerpos que se encuentren dentro de la imagen térmica. Y, por último, la ventaja que presenta de que los resultados del análisis se pueden observar en el mismo instante, ya que los termogramas son tomados y analizados en tiempo real.

1.1.7.4. Ultrasonido

El ultrasonido es utilizado como método de análisis no destructivo, para aplicaciones especiales dentro del mantenimiento predictivo, en las cuales se quiere determinar presencia y localización de fallas y discontinuidades. Su principio de funcionamiento se basa en que las ondas ultrasónicas viajan a través del material disminuyendo paulatinamente y se reflejan a la interface donde son mostradas y analizadas.

De este modo pueden ser detectadas grietas, poros, socavaciones y otras discontinuidades, debido a la interfaz reflectiva que producen las ondas de ultrasonido al aparato de medición.

En su mayoría, las inspecciones por ultrasonido son realizadas en frecuencias de onda de 0.1 hasta 25 MHz. (Materiales, 2010)

Las ondas de ultrasonido son vibraciones mecánicas detectadas por un aparato de medición que monitorea la reflexión de las ondas en las interfaces, discontinuidades o límites dentro del mismo material; mide también el tiempo que tarda la onda dentro de la pieza, desde el punto de entrada hasta el punto de

salida del transductor; y la atenuación de las ondas ultrasónicas, debido a absorciones o dispersiones dentro de la pieza.

La característica de direccionalidad de las ondas ultrasónicas, es decir, su capacidad para propagarse en una dirección focalizada, así como la relación directa que existe entre la capacidad de desplazamiento de las ondas y la densidad de los materiales, son características que han permitido a este método, una amplia utilización como método de monitoreo de condición, además, las ondas pueden desplazarse en forma longitudinal, transversal y de superficie, permitiendo detectar una serie de fallas en los materiales, que permiten su pronta intervención, haciendo efectivo el mantenimiento predictivo.

1.1.7.5. Análisis de aceite

El objetivo de la lubricación es reducir, principalmente, la fricción, desgaste y calentamiento de las superficies que se encuentran en contacto, bajo una fuerza que provoca un movimiento relativo entre ambas. Esto se logra a través de la utilización de un lubricante seleccionado de acuerdo a las condiciones a las cuales están sometidas las partes en movimiento.

Utilizando una estrategia de mantenimiento preventivo, la acción estaría enfocada al recambio periódico del aceite, lo cual provoca gastos innecesarios de mantenimiento, tomando en cuenta que las condiciones variables de un proceso pueden permitir que el aceite sea utilizado durante un período más largo de tiempo que el recomendado por el fabricante o bien, exponiendo el proceso a posibles fallas por la utilización de un lubricante que dejó de ser apto, antes del tiempo previsto.

El análisis de aceite consiste en obtener una muestra del aceite lubricante en uso, para analizar sus características fisicoquímicas y determinar si continúa siendo apto para cumplir su función o si debe reemplazarse. Por otro lado, la contaminación que el aceite presente, puede brindar información acerca del desgaste de la maquinaria que lo está utilizando, ya que pequeñas partículas de un material específico, es un indicio que algún componente dentro del equipo está sufriendo desgaste y perdiendo este material.

Utilizado como metodología de análisis no destructivo, el análisis de aceite puede proporcionar información importante sobre la condición del equipo, sin necesidad de una intervención que involucre un paro de producción. Las muestras se obtienen con los equipos en movimiento y una vez se tienen los resultados del análisis, la acción puede ser tan sencilla como cambiar aceite lubricante, o bien, tan complicada como programar un paro de planta, para revisión interna de los componentes de la maquinaria.

Como parte de una rutina de monitoreo por condición, las condiciones del aceite son un punto de control válido, para determinar el tiempo de vida útil del aceite lubricante y establecer recambios óptimos que garanticen la disponibilidad de los equipos y que no los comprometan a sufrir desgaste.

1.1.8. Outsourcing

La tercerización de servicios que no tienen un impacto directo sobre el giro del negocio de las empresas es una forma de colaboración empresarial que se ha vuelto una práctica de negocio esencial. Las empresas han decidido contratar los servicios de terceras empresas para algunos servicios básicos y otros servicios que son muy especializados.

Cuando se trata de servicios básicos, las empresas buscan la tercerización, debido a que quieren enfocar los esfuerzos de su personal en aquellas características propias del negocio, que generan rentabilidad y despreocuparse de ciertos trabajos que no generan valor, pero que son necesarios dentro de la organización.

En el caso de mantenimiento, existen tareas o equipos especializados en donde resulta más factible sub-contratar el servicio del especialista que capacitar al personal propio para la ejecución de las tareas especiales.

Los monitoreos por condición son elegidos para equipos con alta criticidad, ya que por el costo que representaría para la empresa una baja en la disponibilidad, la empresa no puede permitirse una falla; se prefiere entonces la anticipación en la detección de condiciones que, al monitorearse, pueden prevenir dicha falla, o bien, permitir una intervención oportuna que minimice el impacto de la falla.

Debido a la especialización que cada análisis no destructivo requiere, estos servicios generalmente son contratados a terceros que se especializan en una o varias técnicas y que ofrecen un plan integral para dichos monitoreos.

1.2. Criticidad de activos

Mendoza, R.H. (2000). Un análisis de criticidad de activos permite establecer una jerarquía de importancia entre los equipos de una planta, en función de su impacto global. Una estructura definida de equipos críticos facilitará la toma de decisiones mediante la focalización de los esfuerzos y de los recursos hacia aquellos equipos considerados críticos.

Los criterios para definir la criticidad de equipos pueden ser muy variables de acuerdo a la industria e incluso a los propios intereses de la organización, como calidad, inocuidad o salud y seguridad ocupacional. Siempre será importante tomar en cuenta la gravedad de un paro de producción, porque afecta el proceso productivo de la empresa directamente.

Independientemente de los criterios utilizados para definir equipos críticos, debe establecerse y documentarse la criticidad de los equipos pues los recursos siempre son limitados. El enfoque de esfuerzos y recursos en equipos poco críticos puede ser no viable, pues representa un mayor costo el monitoreo que el impacto de la falla que el equipo provoca al proceso productivo.

Una vez definidos los equipos críticos de planta, los esfuerzos y recursos serán bien enfocados hacia estos equipos que representan para la empresa, el mayor impacto o el mejor rendimiento para el proceso productivo.

1.3. Indicadores claves de desempeño

Puertas Jerez, J.L. (2012). Los indicadores claves de desempeño son parte de los planes estratégicos de las empresas, puesto que a través de ellos se monitorea la situación actual de la empresa. También se monitorea el cumplimiento de la empresa con los objetivos generales, la misión y la visión de la organización. Pero lo más importante es poder tomar acciones a tiempo para corregir las desviaciones detectadas.

Los indicadores de desempeño pueden revelar el grado de madurez del sistema de gestión, el estado o situación actual de los equipos, el comportamiento de la mano de obra, entre otros. Es necesario analizar la utilidad de cada indicador a utilizar, ya que lejos de ser un dato, debe permitir mediante el análisis,

tomar decisiones estratégicas que corrijan las desviaciones hacia los objetivos generales de la empresa. Son en realidad, una herramienta muy útil para garantizar que la gestión de conservación industrial cumpla con los objetivos previstos y que por medio de cada indicador se pueda monitorear la ejecución de los diferentes planes de mantenimiento.

Existen distintos indicadores de desempeño para el área de Conservación Industrial:

KPI's de planificación: Muestran la efectividad de nuestra planificación en el mantenimiento de los equipos, el cumplimiento respecto al plan de las rutinas de mantenimiento, los trabajos ejecutados, pendientes y las emergencias.

El indicador de planificación permitirá observar tanto la ejecución del plan de mantenimiento predictivo como los resultados al reducir el impacto de las fallas detectadas por medio del programa de monitoreo de condición por termografía infrarroja.

KPI's de mano de obra: Sirven para analizar la mano de obra, tanto en utilización como en eficiencia y productividad. Esto permite evaluar el trabajo del personal técnico para evitar sobrecargas de trabajo y garantizar el aprovechamiento de la mano de obra, para la realización de las tareas de mantenimiento, de acuerdo a la planificación.

KPI's de gestión de mantenimiento: Revelan la condición general donde han estado operando los equipos, midiendo la robustez del sistema de gestión para llevar a cabo el mantenimiento planeado. Sus indicadores de estado son individuales por equipo e incluyen la disponibilidad, confiabilidad, tiempo medio entre fallas y tiempo medio de reparación.

Este indicador ayudará a correlacionar las variables costo-beneficio de establecer un programa de monitoreo de condición, al reflejar mejores resultados de disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

KPI's de inventarios: Muestran el estado de la bodega de repuestos, como altos inventarios, poca rotación, obsoletos, errores en el despacho, entre otros. La interrelación de estos indicadores con los de mantenimiento, tiene su importancia en la dependencia de unos con los otros, ya que una mala gestión de los inventarios puede provocar un atraso en la ejecución del plan de mantenimiento e incluso un paro de producción cuando se trata de repuestos críticos que no son solicitados en tiempo.

KPI's de costos: Enfocados a mostrar costos de mantenimiento de acuerdo a las necesidades del usuario. Deberán mostrar una reducción con la ejecución del programa de monitoreo de condición por termografía infrarroja, aunque no necesariamente será visualizado como costo directo de un equipo, pues la falla atendida a tiempo solamente evitará el costo asociado a la misma.

1.3.1. Disponibilidad

Los activos en una empresa son adquiridos para un propósito, ya sea para brindar un servicio o para producir un bien, transformándolo o agregándole valor como producto final. Se entiende como disponibilidad, el tiempo que los activos están disponibles para cumplir con el propósito, para el cual fueron adquiridos. Esto comprende el tiempo que se puede disponer de ellos y el rendimiento que se puede obtener de ellos durante este tiempo disponible, que será el tiempo total, descontando tiempo de limpieza, mantenimiento e intervenciones menores donde el equipo no pueda utilizarse.

1.3.2. Confiabilidad

Es la garantía de que un activo va a cumplir con el fin para el cual fue adquirido, sin intervenciones intermedias por mantenimientos no planificados, es decir, la disponibilidad que haya sido considerada para el activo es el total de tiempo que podrá disponerse de él, sin que se presenten fallas que obliguen a un paro emergente y la intervención por parte del equipo de mantenimiento.

Se entiende que las intervenciones por parte de mantenimiento se planifican y que son precisamente estas actividades, las que permiten tener la confiabilidad de que los equipos funcionarán el tiempo requerido y de la forma más eficiente con la capacidad de diseño.

1.3.3. Tiempo medio entre fallas

Este tiempo es contabilizado como el período en que un equipo está disponible sin presentar falla alguna que merezca intervención, cumpliendo la función para la cual fue fabricado. Es decir, que cuando el equipo presenta un bajo rendimiento, ya se considera una falla y, por lo tanto, la necesidad de una intervención.

Este indicador mide el tiempo en que los equipos forzosamente se detienen debido a alguna emergencia ocasionada por una falla funcional o por una falla que ocasiona bajo rendimiento. Se trata de intervenciones no planificadas y necesarias, para reestablecer la operatividad de las máquinas, cumpliendo el objetivo para el cual fueron diseñadas y adquiridas.

1.3.4. Tiempo medio de reparación

Luego de la ocurrencia de una falla o bien durante un mantenimiento programado, el tiempo de reparación es contabilizado, para mantener un registro respecto a la dificultad que un equipo presenta durante las intervenciones del equipo de mantenimiento. En este indicado, se cuenta el tiempo en que un equipo es puesto fuera de línea, es decir, tiempo en que el equipo no estará disponible para producir.

En este indicador interviene la dificultad que el equipo presenta al ser intervenido, por ejemplo, poco acceso a él, dificultad por la posición en la que se encuentra, dificultad para desarmar o armar las piezas, tiempo de calibración necesario luego del mantenimiento, para lograr el rendimiento adecuado, y todos aquellos detalles que deben tomarse en cuenta y que durante el mantenimiento pueden presentar alguna dificultad que no pudo haberse previsto.

1.4. Termografía infrarroja

Infrared Training Center (2013). "...es la ciencia de adquisición y análisis de la información térmica obtenida mediante los dispositivos de adquisición de imágenes térmicas a distancia."

La termografía infrarroja es ampliamente utilizada como técnica no destructiva, debido a que tiene muchas ventajas como el hecho que no necesita contacto con el objeto que se evalúa, no presenta peligro alguno para la persona que toma el termograma, es bidimensional y se realiza en tiempo real.

Al analizar cada una de las características que hacen interesante a la termografía infrarroja, es necesario mencionar que no necesita contacto con el

objeto, porque la cámara termográfica lee intensidades de radiación, a través de su lente infrarrojo y lo presenta como una distribución de intensidades de radiación que tiene relación con la intensidad o cantidad de temperatura de cada cuerpo que aparece en el termograma.

Como el termógrafo toma un termograma que lo que capta son intensidades de radiación que los cuerpos emiten naturalmente, no presenta peligro alguno ni para el usuario de la cámara, ni para su entorno.

La característica de bidimensional se refiere a que en un termograma el usuario puede observar varios puntos a la vez, de hecho lo que observa es una distribución que le permite realizar comparaciones de un punto respecto al resto del panorama incluido dentro de la imagen; además puede hacer comparaciones de una imagen con otra, ya que cada imagen tomada en un tiempo específico es diferente a otra por la característica de tiempo real que proporciona la imagen del escenario en el instante en que fue tomado el termograma.

La aplicación de la técnica de termografía requiere el conocimiento de algunas áreas relacionadas:

- Manejo y uso de la cámara termográfica
- Termodinámica
- Radiación
- Técnicas de análisis
- Aplicaciones
- Rutinas de inspección e informe de los resultados

1.4.1. Uso y manejo de la cámara termográfica

En el manejo y uso de la cámara no se requiere el conocimiento y manejo de todas las marcas y modelos de cámara existentes en el mercado, más bien se refiere al uso de las funciones básicas de las cámaras, que permiten al termógrafo proporcionar un trabajo profesional y apegado a la realidad de lo que sucede, esto incluye:

- Funciones básicas para control de la imagen:
 - Seleccionar el rango de temperatura de la cámara
 - Campo o contraste térmico
 - Nivel o brillo térmico

- Funciones de medida de la cámara:
 - Medidor puntual
 - Isotherma
 - Función de área
 - Función de línea

1.4.2. Ciencia térmica

La termodinámica que utiliza el termógrafo se refiere básicamente a las dos primeras leyes; la primera que ha dado a conocer que la energía no se crea ni se destruye, únicamente se transforma. Y la segunda que se refiere al sentido del flujo de calor.

Adicionalmente a esto se manejan conceptos de temperatura como una medida de la velocidad media de las moléculas que componen un material y de calor como la energía cinética total de dichas moléculas.

1.4.3. Ciencia de radiación

En este tema, al termógrafo le interesa iniciar desde las formas de transmisión de calor hasta definir el intercambio de energía por radiación que se lleva a cabo en todos los cuerpos y en especial en el objeto analizado en una imagen térmica.

Las tres formas de transmisión de calor importantes para la termografía son: conducción, convección y radiación. La convección se basa en el contacto directo de las partículas sin flujo de materia, tendiente a igualar la temperatura del cuerpo. La convección se produce por el transporte de calor por medio de un fluido entre zonas con diferentes temperaturas. Por último, la radiación consiste en la propagación de energía por medio de ondas electromagnéticas, a través del vacío.

La radiación térmica es aquella con la capacidad de transmitir calor por emisión y absorción. La radiación infrarroja se puede dar en el espectro electromagnético, en longitudes de onda que van desde 0.8-1.7 μm para el infrarrojo cercano, de 1.0-2.5 μm para el infrarrojo de onda corta, de 2.0-5.0 μm para el infrarrojo de onda media, y de 8-14 μm para el infrarrojo de onda larga.

Hay cuatro variables involucradas en la radiación térmica:

- Emisividad, ϵ
- Absortividad, α
- Reflectividad, ρ
- Transmisividad, τ

Las variables se relacionan con la radiación incidente y saliente de los cuerpos. La primera es toda la radiación que llega a un cuerpo desde su entorno

y la segunda es la radiación que deja la superficie de un cuerpo, independientemente de su fuente original.

Las radiaciones anteriores se describen en las siguientes fórmulas:

$$W_{\text{INCIDENTE}} = W_{\alpha} + W_{\rho} + W_{\tau} \quad (1)$$

$$W_{\text{SALIENTE}} = W_{\epsilon} + W_{\rho} + W_{\tau} \quad (2)$$

Si se toma en cuenta que la energía que un cuerpo es capaz de absorber es igual a la energía que es capaz de emitir, entonces

$$W_{\alpha} = W_{\epsilon} \quad (3)$$

Si además se toma en cuenta que los únicos materiales que transparentes al infrarrojo, es decir, que dejan transmitir la radiación a través de ellos, son el silicio, el germanio, el fluoruro de bario, el fluoruro de calcio y el polietileno; y que los equipos que se inspeccionan no son hechos de estos materiales, entonces

$$W_{\tau} = 0 \quad (4)$$

La radiación importante y que debe ser captada en un termograma es la radiación saliente y como ésta tiene dos componentes, $W_{\text{SALIENTE}} = W_{\epsilon} + W_{\rho}$, el termógrafo realiza un cálculo para la radiación reflejada en el cuerpo de interés, realiza algunas compensaciones relacionadas a la atenuación atmosférica a la radiación y así presenta una imagen térmica con temperaturas reales que puede ser utilizada para analizar la condición de un equipo en particular.

1.4.4. Aplicaciones de la termografía

La termografía es aplicable a:

- Monitoreo de procesos:
 - Edificación
 - Electricidad
 - Hornos y calderas
 - Mecanismos, fricción
 - Tanques y depósitos
 - Problemas de flujos de fluidos

- Investigación y desarrollo:
 - Verificación de diseño en desarrollo de productos

- Medicina y veterinaria
- Control de calidad
- Monitoreo de procesos de producción

1.4.5. Rutinas de inspección e informe

Se refiere al establecimiento de rutinas de inspección periódicas que sean viables para el cliente. Requiere del análisis de los termogramas para identificar áreas de oportunidad en las que se hace necesaria una inspección periódica más frecuente que en otras áreas que bien pueden tener la misma criticidad, pero que las condiciones de los equipos permiten una mayor holgura en cuanto a la atención prestada a esos equipos.

Requiere el análisis conjunto del termógrafo, así como de un experto en cada una de las áreas que se analiza para que los resultados sean objetivos y sobre todo acertados, para luego presentar un informe que revele al interesado lo que éste necesita saber sin saturarle de información, ni dejar de informar lo importante.

2. INDUSTRIA AVÍCOLA EN LA GESTIÓN DE CONSERVACIÓN INDUSTRIAL

2.1. Antecedentes generales de la empresa

2.1.1. Reseña histórica

Grupo PAF nació en 1958 con un gran ideal que representaba dos desafíos, el primero, la fundación de una gran empresa avícola que contribuyera al desarrollo económico del país, creando fuentes de trabajo. Y mejorar la dieta de los guatemaltecos, proporcionando a sus clientes, productos altamente nutritivos y de excelente calidad. Actualmente, es una de las empresas más sólidas del país y proporciona empleo a más de 5,000 personas.

2.1.2. Visión

La empresa declara su visión así: “Crecer inteligentemente, consolidarnos y diversificarnos.

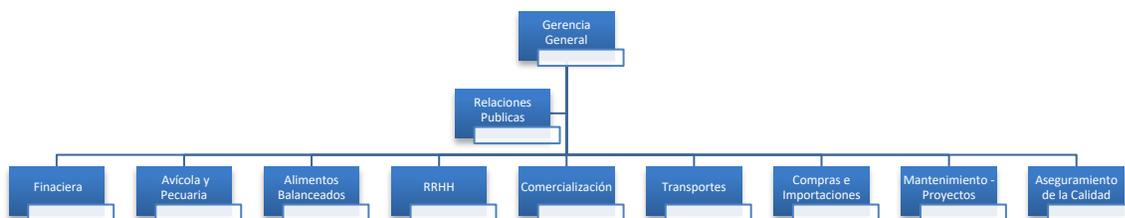
2.1.3. Misión

La declaración de misión de la empresa es: “Proveemos alimentación nutritiva de calidad”

2.1.4. Estructura organizacional

El grupo PAF tiene una estructura organizacional compuesta de la siguiente manera:

Figura 1. Organigrama funcional de Grupo PAF



Fuente: elaboración propia.

2.2. Diagnóstico de la situación

2.2.1. Planta de procesamiento de aves

Esta planta se dedica al procesamiento de las aves vivas, para ofrecer productos terminados como pollo fresco para la venta final y para materia prima de la planta de especialidades.

2.2.1.1. Función

Dentro de los giros de negocio del grupo PAF, la división avícola representa una proporción mayoritaria, abarcando el proceso desde la incubación de las aves, hasta el proceso productivo de productos con valor agregado, totalmente cocinados.

Dentro del proceso productivo avícola, y en el final de la cadena, se encuentra la planta de procesamiento de aves, donde se reciben las aves vivas como materia prima y se inicia el proceso con la faena de las mismas. El proceso inicia con un colgado de las aves en la línea automática de proceso, donde las aves pasan por los procesos de degollado, escaldado, desplume y finalmente son entregadas a la línea de eviscerado por medio de un recolgador automático, para pasar por un proceso de eviscerado automático que se realiza por un conjunto de ocho máquinas en línea, que finalizan entregando el producto a un chiller que tiene la función de desinfectar y enfriar el producto, ya que a partir de este punto, es preciso mantener la cadena de frío.

Una vez el producto fue entregado al final del chiller, es recolgado manualmente a una línea automática de pesaje donde es clasificado el producto por peso, para cumplir diversos pedidos de clientes institucionales, así como los pedidos para la planta de producción de productos especializados.

2.2.1.2. Productos

La primera planta de producción que es la de beneficio de pollo, tiene varios productos finales, de acuerdo a las solicitudes de sus clientes, entrega pollo fresco y clasificado por pesos. El pollo puede entregarse en canastas, redes o empaques de bolsa con logos para venta final.

La planta de faenado, clasifica y entrega la materia prima a la planta de producción de productos especializados, de acuerdo a las especificaciones de peso y calidad requeridas, para los diversos productos de su programa de producción. Estos productos pueden ser especialidades empanizadas, marinadas o totalmente cocinadas las cuales serán comercializadas como producto final en el mercado nacional, y otras serán entregadas a los clientes institucionales nacionales o como exportación.

2.2.1.3. Descripción de las áreas de trabajo

Las áreas de trabajo de planta están físicamente divididas como espacios de proceso que evitan la contaminación cruzada del producto, esto es básicamente por inocuidad. Por otro lado, hay unas divisiones físicas necesarias que son solicitadas como buenas prácticas de manufactura, tal es el caso de la disposición de los ingresos a planta, donde es necesario tener todas las condiciones que garanticen que el personal tiene a su alcance todo lo necesario para una buena limpieza, algo normado y vigilado ampliamente por el departamento de control de calidad.

En términos de disposición de áreas externas, éstas han sido creadas de acuerdo a las necesidades de proceso, de este modo, todos los ambientes están dispuestos en donde eficientemente servían al proceso y son susceptibles de control. Cada área de proceso requiere de diversos equipos para su funcionamiento y en este sentido, los equipos fueron dispuestos en el área externa más cercana al proceso que sirven.

En el caso de las áreas comunes, es decir, subestación eléctrica, transformadores, generadores eléctricos de emergencia y otros equipos que sirven a todo el proceso de ambas plantas de producción, están dispuestos de

forma tal, que estratégicamente puedan controlarse y operarse de forma rápida y eficiente.

En el caso de subestación eléctrica, fue ubicada en el ingreso de la planta y todos los cuartos de seccionadores están inmediatamente después, para servir a todo el proceso productivo. Cada planta cuenta con un generador general para su funcionamiento y los seccionadores para los equipos principales.

Se cuenta con área general para generación de vapor, desde donde se derivan todas las líneas principales de vapor que envían el suministro a las dos plantas de proceso y desde las cuales se hacen las derivaciones que sirven a todo el proceso productivo.

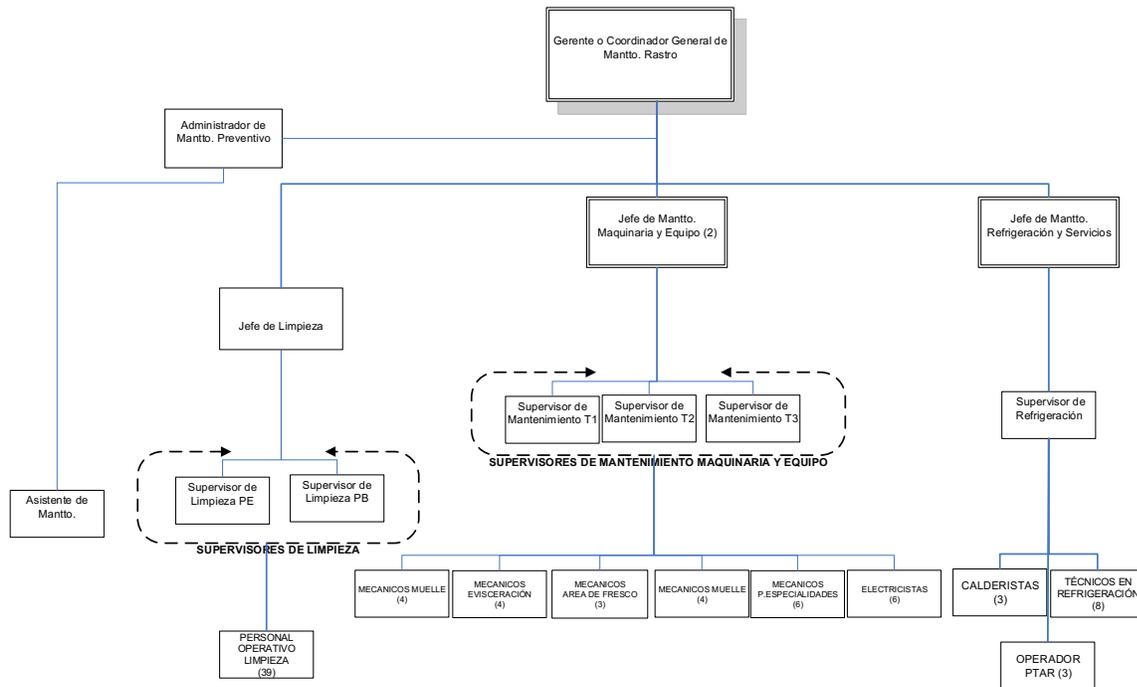
2.2.2. Departamento de mantenimiento

2.2.2.1. Estructura organizacional

El departamento de mantenimiento de la planta se debe a un departamento de mantenimiento corporativo, el cual es dirigido por un director de mantenimiento que tiene a su cargo, el mantenimiento y los proyectos de todos los centros del Grupo PAF.

En su estructura organizacional como centro, está compuesto por dos jefes de mantenimiento, uno para cada planta de proceso, y un jefe mantenimiento para el área de refrigeración y servicios, con las funciones definidas hacia la gestión de conservación industrial del centro, atendiendo el mantenimiento preventivo y correctivo, así como las emergencias que surgen en la planta.

Figura 2. Organigrama funcional del departamento de mantenimiento de la planta avícola



Fuente: elaboración propia.

2.2.2.2. Gestión de conservación industrial

La gestión de conservación industrial de planta está basada en su mantenimiento preventivo, todos los equipos son ingresados a un sistema donde se les crea como equipos padres y una vez creados, se crea sobre ellos, las rutinas de mantenimiento que son ingresadas al mismo sistema para su control. Existe un procedimiento general para la creación de dichos equipos y las rutinas de mantenimiento son creadas de acuerdo a las necesidades del proceso, según los manuales del fabricante de cada equipo, tomando en cuenta las condiciones del área donde los equipos se encuentran instalados.

La mejora continua de este proceso se lleva a cabo durante la ejecución del mantenimiento preventivo, pues los mecánicos reportan en las órdenes de trabajo ejecutadas, todos los hallazgos que encontraron en los equipos durante las inspecciones y de esta forma, las rutinas de mantenimiento son modificadas, para cumplir con su objetivo, que es mantener los equipos en las condiciones de operabilidad óptimas según su función principal.

De las observaciones que se obtienen de la ejecución de las órdenes de trabajo, se obtiene también un programa para ejecución de mantenimiento correctivo, es decir, aquellas intervenciones que son necesarios de acuerdo a las necesidades observadas en los equipos. Las tareas de mantenimiento correctivo se programa de forma urgente, para que se atiendan oportunamente y no se conviertan en emergencias que ocasionen paradas al proceso productivo.

2.2.2.3. Indicadores clave de desempeño

Los indicadores clave de desempeño para el departamento de mantenimiento, miden la ejecución del mismo, así como la eficiencia en dicha ejecución. Están divididos en cuatro secciones que se creen clave en el desempeño de las funciones del departamento, y éstas son:

Indicadores de proceso: Estos miden la disponibilidad y la eficiencia de la maquinaria en función de la capacidad instalada, la calidad entregada y el tiempo muerto del equipo, ocasionado por atención de reparaciones emergentes. El tercer indicador de proceso es el control del factor de potencia y esto se debe a que es penalizado económicamente por el proveedor de la energía eléctrica.

Indicadores financieros: Aquí se encuentran dos indicadores clave de desempeño, el primero mide la ejecución del mantenimiento en términos de

cumplimiento de presupuesto, es decir, el costo de mantenimiento en el proceso productivo y en el producto final; y el segundo indicador mide el requerimiento de repuestos urgentes, por el impacto que estos generan en el costo elevado de los repuestos que son solicitados, sin ser parte de un plan de mantenimiento.

Indicadores de recurso humano: Los dos indicadores de desempeño en cuanto al tiempo del personal, miden la efectividad del personal en la ejecución de sus labores, es decir, tareas de mantenimiento preventivo; además, un segundo indicador mide la ejecución de presupuesto de horas extras, representado en un costo total por libra producida.

Indicador de servicio al cliente: Este indicador mide el tiempo de respuesta del departamento de mantenimiento en la atención de las solicitudes que todas las áreas presentan al departamento de mantenimiento, medido en un porcentaje de solicitudes atendidas de todas las solicitudes recibidas, debiendo presentarse las justificaciones del caso, para el porcentaje de solicitudes no atendidas.

2.2.2.4. Monitoreo de condición

El departamento de mantenimiento de planta ha implementado ciertos monitoreos de condición a equipos que se consideran críticos para el proceso productivo. Este monitoreo consiste en la técnica de análisis de aceite y análisis de vibraciones, aplicado a compresores de refrigeración utilizados en los sistemas de frío de ambas plantas, para congelado de productos individuales.

Se gestiona externamente por el proveedor fabricante de los equipos. Este monitoreo es realizado semestralmente y los resultados son presentados en reportes que comparan los valores iniciales de los equipos cuando eran nuevos, con los valores obtenidos en el muestreo en cuestión, además, presentan las

recomendaciones que como fabricantes pueden dar, respecto a las acciones correctivas necesarias, en el caso de desviaciones que comprometan la integridad en la operación de los equipos.

Cuando es necesario intervenir los equipos, derivado de las observaciones de los reportes de análisis que presenta el monitoreo de condición, éstas son programadas con el equipo de producción de planta, y luego de la intervención, es realizado un nuevo monitoreo, para garantizar que las condiciones de los equipos están dentro de los parámetros aceptables.

3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Desarrollo en base a objetivos

3.1.1. Equipos críticos

Para realizar la presente investigación se inició definiendo un análisis de criticidad, para cumplir con el primer objetivo de esta investigación. Esto permitió priorizar los esfuerzos y recursos en los equipos que la empresa considera más importantes por su valor estratégico para la producción o porque su reparación es compleja, además de considerar otros factores como la inocuidad y seguridad industrial asociada a dichos equipos.

Los indicadores clave de desempeño fueron definidos por la empresa desde las perspectivas importantes para ellos, como la operación, el costo, el recurso humano y el servicio al cliente. Siendo valores ya establecidos, resultan valiosos porque permiten evaluar, las mejoras obtenidas luego de la implementación del monitoreo de condición por termografía infrarroja.

3.1.2. Informe de termogramas de referencia

Para cumplir con el segundo objetivo específico de esta investigación y elaborar un informe de termogramas de referencia, se procedió a tomar termogramas iniciales a los equipos definidos anteriormente. La información térmica de referencia se trató sobre una base que pudiera servir de referencia durante todo la investigación. Al no tener un sistema de monitoreo anterior con el cual comparar, se hizo necesario realizar dicho monitoreo. Era como simular que

se hiciera un termograma el primer día de uso del equipo, cuando el equipo está nuevo y se sabe que funciona correctamente. Como no se tuvo la oportunidad de hacer este monitoreo cuando el equipo era nuevo, fue necesario realizar una toma de termografía, verificar que el equipo no tuviera ninguna falla obvia o que se revelara en el termograma y tomar dicho termograma como referencia. De la misma manera con cada equipo definido en el alcance de la investigación. Una vez tomado el termograma para cada equipo, era trabajo del termógrafo el análisis de la información para definir o no dicho termograma como referencia.

El análisis de la información térmica de referencia tenía como objetivo verificar anomalías o posibles fallas que los equipos estuvieran presentando en el momento del análisis. Si todo estaba bien y el equipo estaba cumpliendo la función, la cual fue diseñado, entonces el termógrafo podía definir el termograma como parte de los archivos de referencia y así, los siguientes termogramas obtenidos durante el resto de la investigación, podían compararse con este primer termograma.

Basados en la información obtenida del historial de mantenimiento de los equipos y la información térmica de referencia, se pudo proponer una frecuencia inicial de monitoreo. Si bien es cierto fue arbitraria, tuvo una base sólida de información de cada uno de los equipos estudiados. El objetivo de proponer una frecuencia inicial de monitoreo estaba ligado a permitir la continuación de la investigación puesto que al tener termogramas iniciales y realizar monitoreos con la frecuencia propuesta, permitiría identificar el desarrollo de las fallas en el posterior análisis de información térmica de los siguientes cuatro meses.

3.1.3. Frecuencia óptima de monitoreo y análisis costo-beneficio

Y en cumplimiento del último objetivo específico de la investigación, se debía establecer una frecuencia óptima de monitoreo y presentar el análisis costo-beneficio asociado a dicha propuesta. La frecuencia óptima de monitoreo es un resultado de las fases anteriores en el proceso de investigación. Primero se definieron los equipos a estudiar, luego se verificó que estuvieran operando correctamente, mediante el termograma de referencia, se hicieron las reparaciones pertinentes hasta que el termograma de referencia no presentaba anomalías térmicas y así pudiera compararse con los termogramas de los próximos cuatro meses de la investigación. Si durante el tiempo de investigación no se desarrollaba ninguna falla, la interpretación era sencilla: una falla en este equipo, tomará más tiempo. Sin embargo, las decisiones no se tomaron a la ligera, puesto que se sabe que algunas fallas pudieron empezar a desarrollarse antes que iniciara el monitoreo de referencia, en este caso, se tomó ese tiempo como frecuencia óptima de monitoreo, para evitar riesgos posteriores.

El análisis costo-beneficio de la propuesta tenía como objetivo demostrar la viabilidad de la implementación del monitoreo. Una vez establecida la frecuencia óptima de monitoreo, se pudieron establecer los costos asociados a la implementación del monitoreo de condición por termografía infrarroja y los beneficios asociados a la no ocurrencia de las fallas detectadas, mediante el mismo monitoreo. Con una tabla de riesgos y costos que la empresa estableció, el análisis resultó positivo, lo cual demostró que es factible implementar este tipo de monitoreo en la planta, sin tener que justificar costos adicionales, además que se profesionaliza el recurso humano y la misma gestión de mantenimiento.

3.1.4. Programa de monitoreo de condición

Una vez cumplidos los objetivos específicos, se logra cumplir el objetivo general de la realización del programa de monitoreo de condición por medio de termografía infrarroja para equipos críticos eléctricos y de la transmisión de vapor de la planta avícola. Los resultados de esta investigación se presentan detallados en el siguiente capítulo, en el mismo orden descrito en este capítulo.

4. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Análisis de criticidad de activos

El análisis de criticidad es una técnica que permite identificar y darle jerarquía a los activos por su nivel de importancia. Esto dirige los recursos y los esfuerzos a estos equipos que podrían maximizar las consecuencias en el caso de la ocurrencia de alguna falla dentro del proceso productivo dentro del cual se desempeñan. (Parra Márquez y Crespo Márquez , 2012)

Se inició el estudio mediante un análisis de criticidad de activos de la planta, ponderando factores como la incidencia sobre la producción, mantenibilidad de equipos, redundancia de equipos e inocuidad; luego documentando la información, para evitar dudas respecto al enfoque del estudio.

Una vez ponderados los factores importantes para la criticidad de los equipos de planta, son calificados todos los equipos dentro del cuadro correspondiente, obteniendo las calificaciones correspondientes para cada equipo, con la cual quedan clasificados dentro de tres categorías: alta, media y baja criticidad.

Para realizar las ponderaciones, se crea un perfil donde se establecen los valores aceptables y críticos para cada proceso, de acuerdo a dos parámetros, el primero de ellos es la frecuencia de la ocurrencia de la falla, y el segundo, la severidad de la falla, donde se consideran los factores que para la planta son importantes, como la seguridad industrial, el medio ambiente, un paro de producción y un daño a los equipos o instalaciones.

Se trata de un cuadro donde la empresa define sus límites permisibles o aquellos que son inaceptables para la operación, producción o seguridad; por su gravedad, afectan el proceso productivo de la planta y sus costos son altos. En este cuadro, la empresa analiza cada uno de sus equipos críticos y le define los parámetros de frecuencia de fallas, severidad de las fallas y su consecuencia como costo asociado a las mismas.

Tabla I. **Perfiles de riesgo para evaluar criticidad de los equipos en planta**

PERFIL DE RIESGO

Código: Unidad de proceso:
 Equipo: Fecha:

FRECUENCIA DE OCURRENCIA	A	Muy Frecuente 1 vez c/semana				
	B	Frecuente 1 vez entre 1 semana y 1 Mes	NO ACEPTABLE			
	C	Ocasional 1 vez entre 1 y 6 Meses				
	D	Remoto 1 vez entre 6 Meses y 1 Año				
	E	Improbable 1 vez entre 1 y 5 Años		ACEPTABLE		
	F	Imposible 1 vez más de 5 Años				

SEVERIDAD	IV DESPRECIABLE	III MARGINAL	II CRITICO	I CATASTROFICO
------------------	---------------------------	------------------------	----------------------	--------------------------

CONSECUENCIA	S	Seguridad	Daño potencial	Sin problema legal/médico	Con problema legal/médico	Problema local/nacional
	M	Medio Ambiente	Daño potencial	Sin problema legal/de planta	Con problema legal/de planta	Problema local/nacional
	O	Operacional (Producción)	0- 1 HORA	1-12 HORAS	12- 48 HORAS	+ 48 HORAS
	E	Equipos / instalac (daño)	< US\$ 500	US\$500<US\$2,000	US\$2,000<US\$10,000	>US\$10,000

Fuente: elaboración y propiedad de la planta avícola.

4.2. Indicadores clave de desempeño

En la gestión de mantenimiento, se toman como indicadores clave de desempeño, algunos obtenidos de la información del sistema VAM, estos básicamente están relacionados al costo de mantenimiento por equipo, que luego se relaciona con costos del mantenimiento por unidad producida, en este caso, libras.

Se han implementado indicadores adicionales en del departamento de mantenimiento, de tal forma que puedan controlarse diferentes parámetros que se consideran importante, dividiéndolos en cuatro partes:

- Indicadores de operación:
 - Eficiencia de maquinaria: Traza un objetivo para la eficiencia de la maquinaria tomando en cuenta la capacidad instalada, la calidad entregada y los tiempos muertos.
 - Disponibilidad de maquinaria: Mide la disponibilidad de los equipos, de acuerdo a los requerimientos de producción y tomando en cuenta los paros programados.
 - Control de factor de potencia: Mantiene en control el factor de potencia eléctrico, para evitar penalizaciones por parte de proveedor de energía eléctrica.

- Indicadores financieros:
 - Costo de mantenimiento: Está asociado a la ejecución del presupuesto asignado al departamento de mantenimiento y se mide en unidades de moneda por unidad producida.

- Requerimientos de compra urgentes: Mide la eficiencia en elaboración de planes de mantenimiento, que eviten la generación de compras urgentes con sus costos asociados.
- Indicadores de recurso humano:
 - Efectividad del personal: Mide el porcentaje de órdenes de trabajo ejecutadas del mantenimiento preventivo y el tiempo de ejecución asociado.
 - Ejecución de presupuesto de tiempo extraordinario: Mide el costo total de horas extras pagadas en unidad de moneda por unidad producida.
- Indicador de servicio al cliente:
 - Atención a solicitudes: Mide el porcentaje de cumplimiento en atención de solicitudes de todos los departamentos hacia el departamento de mantenimiento.

4.3. Termogramas de referencia

Los termogramas de referencia son tomados de los tableros principales de transmisión eléctrica y muestran resultados sin anomalías térmicas; es decir, sin diferenciales de temperatura que puedan suponer una alerta que requiera de atención especial. Para esto, es utilizada una cámara termográfica marca Fluke, modelo Ti25, de la cual se obtendrá toda la información térmica de este estudio.

Figura 3. **Cámara termográfica Fluke Ti25**

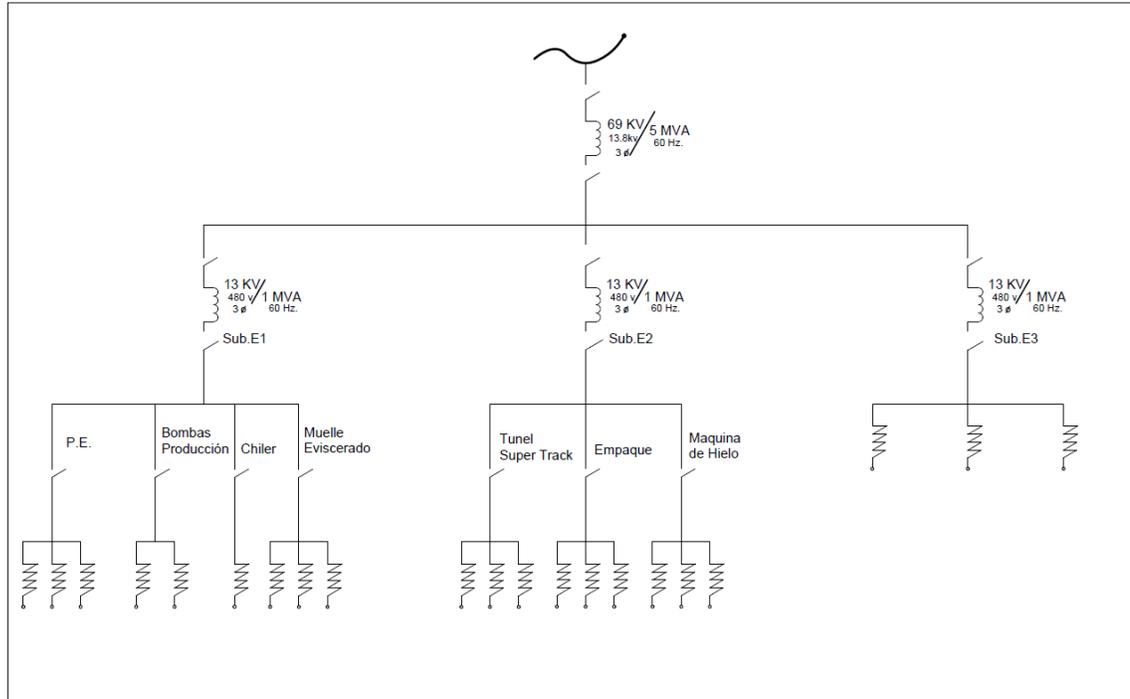


Fuente: <https://www.amazon.es/Fluke-Ti25-Hz-cámara-termográfica/dp/B018IBHSCU>

En esta primera toma de termografía, son tomados en cuenta los tableros principales de distribución, de acuerdo a la división actual, entre ellos, las tres subestaciones eléctricas y los tableros principales que son alimentados por estas subestaciones, de acuerdo al esquema siguiente:

- Subestación eléctrica 1
 - Producción Especialidades
 - Bombas de producción
 - Chiller
 - Muelle - Evisceración
- Subestación eléctrica 2
 - Tunel Supertrack
 - Empaque
 - Máquinas de hielo
- Subestación eléctrica 3

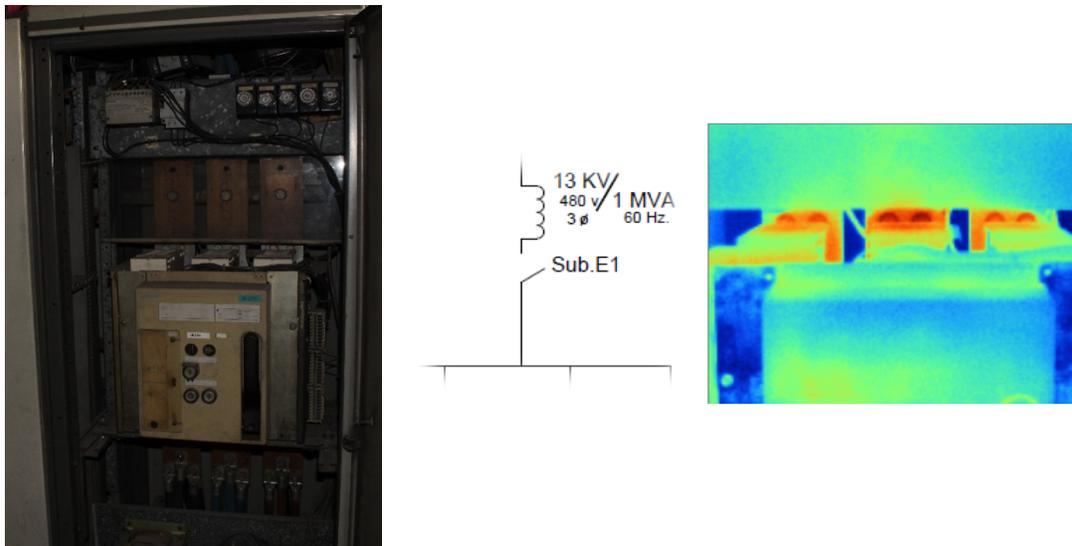
Figura 4. Diagrama unifilar de las subestaciones eléctricas



Fuente: elaboración propia.

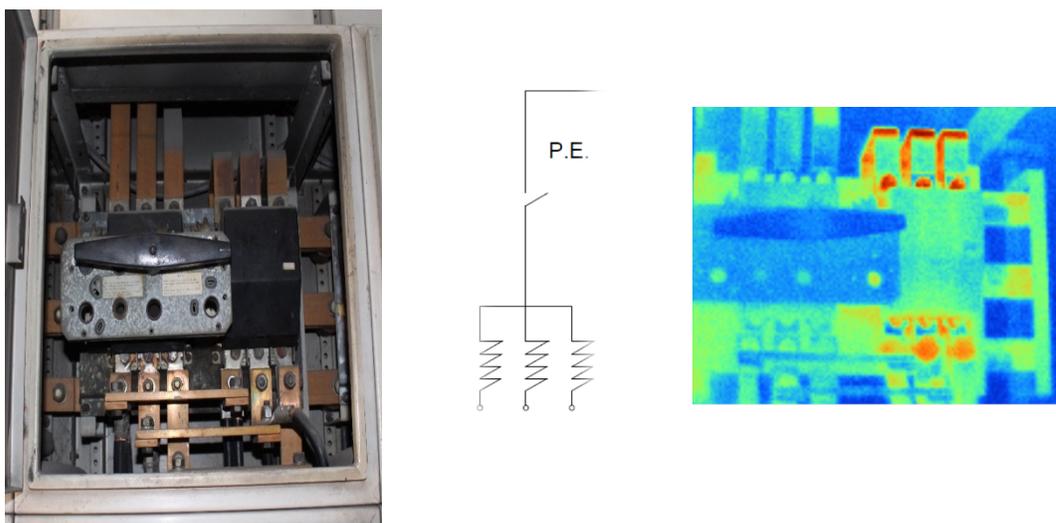
Interruptores principales

Figura 5. **Fotografía y termograma del interruptor de la subestación 1**



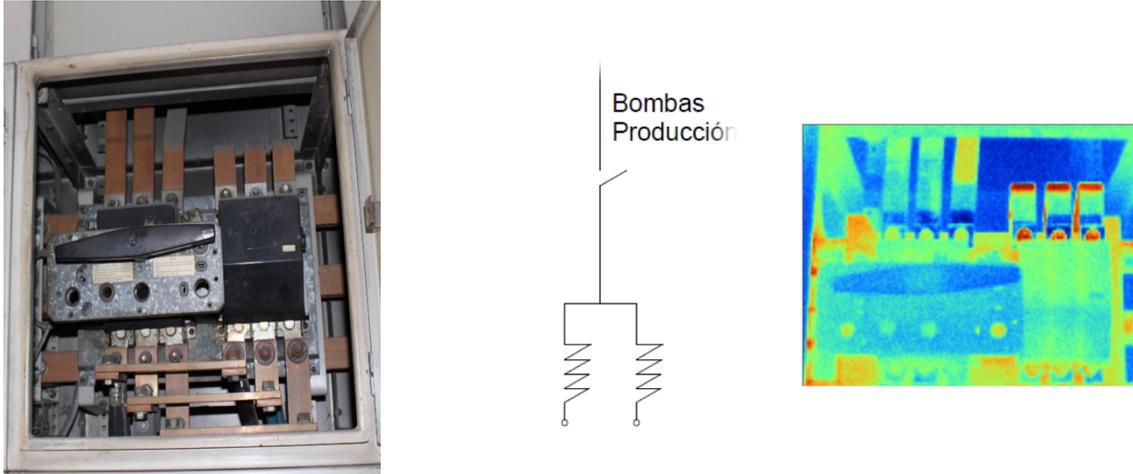
Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Fotografía y termograma del interruptor principal de producción planta especialidades**



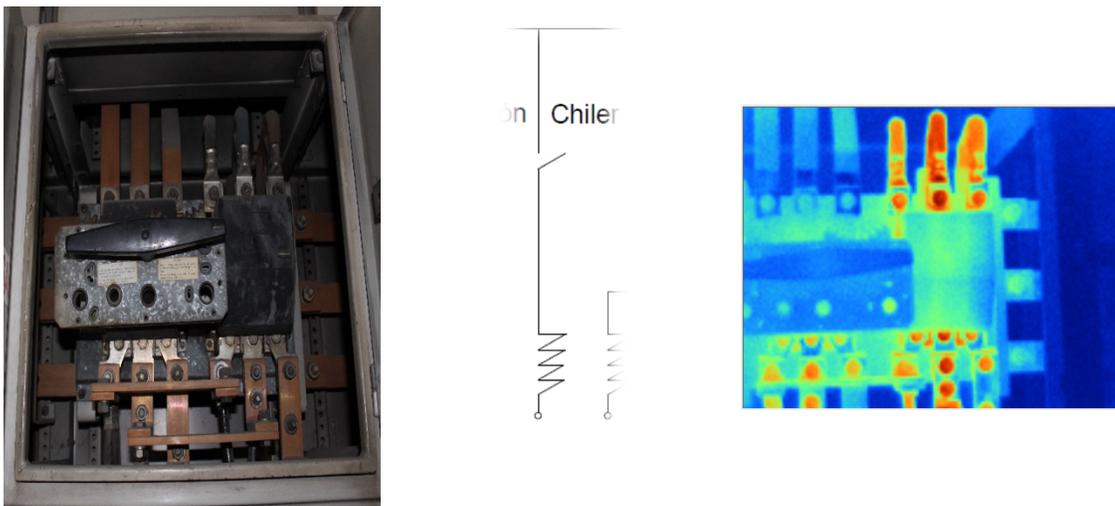
Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Fotografía y termograma del interruptor principal de las bombas de producción**



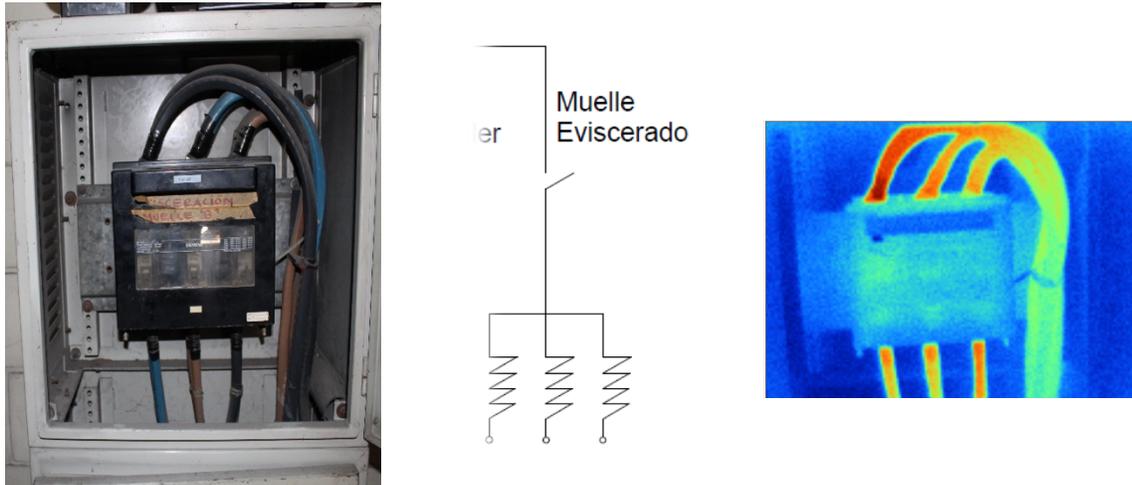
Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Fotografía y termograma del interruptor principal del chiller y trampas**



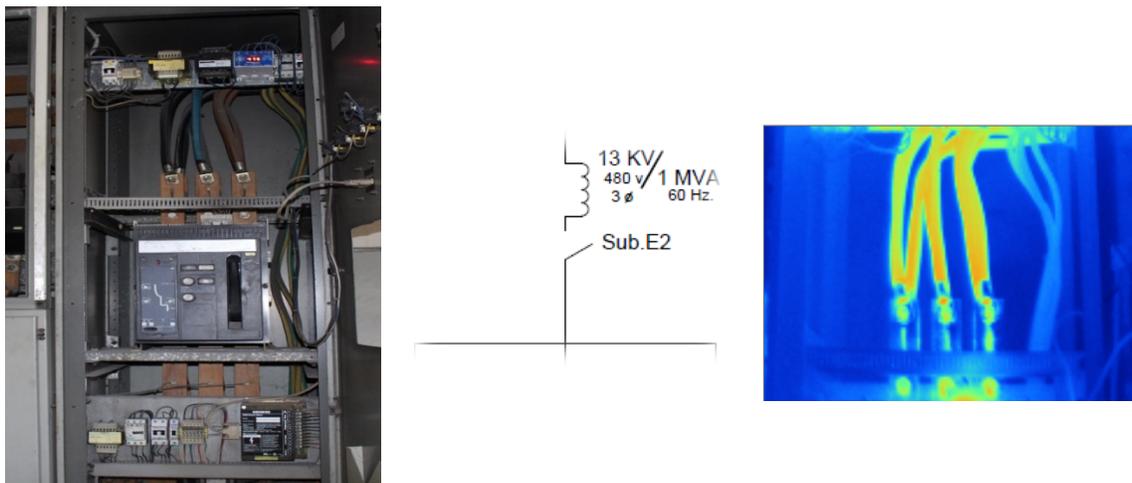
Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Fotografía y termograma del interruptor principal de muelle y evisceración**



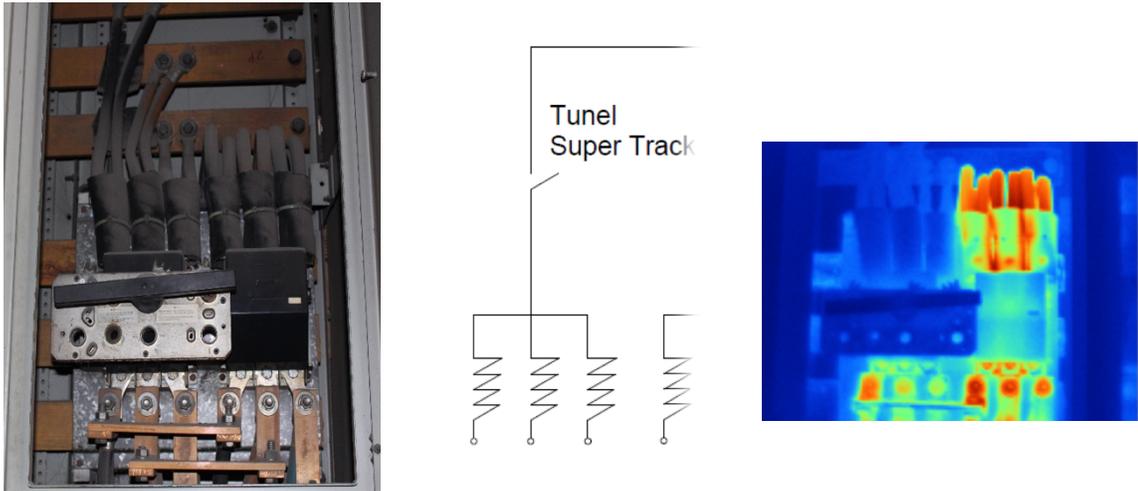
Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Fotografía y termograma del interruptor de la subestación 2**



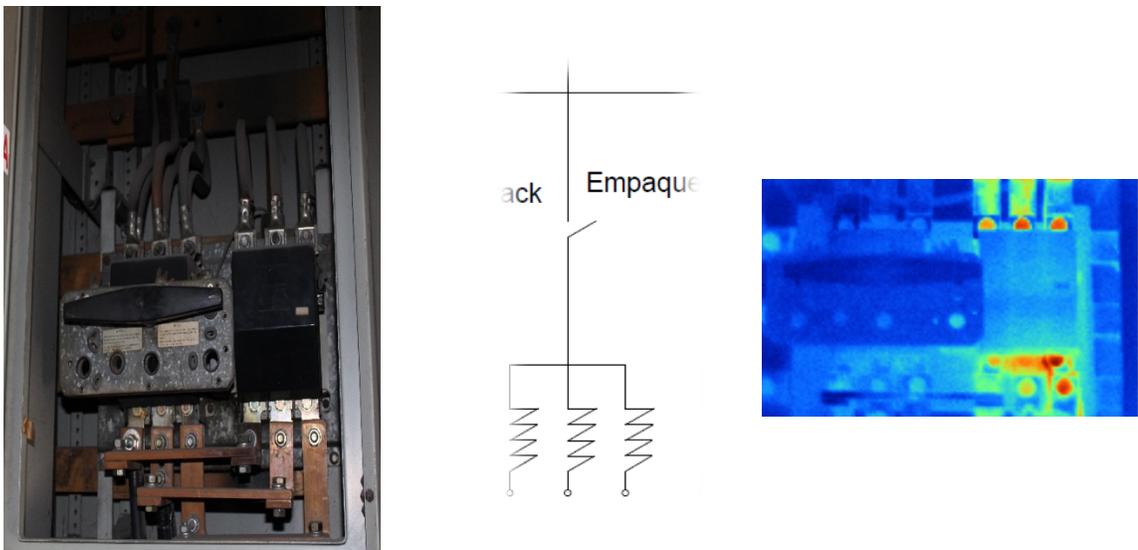
Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Fotografía y termograma del interruptor principal del tunel**



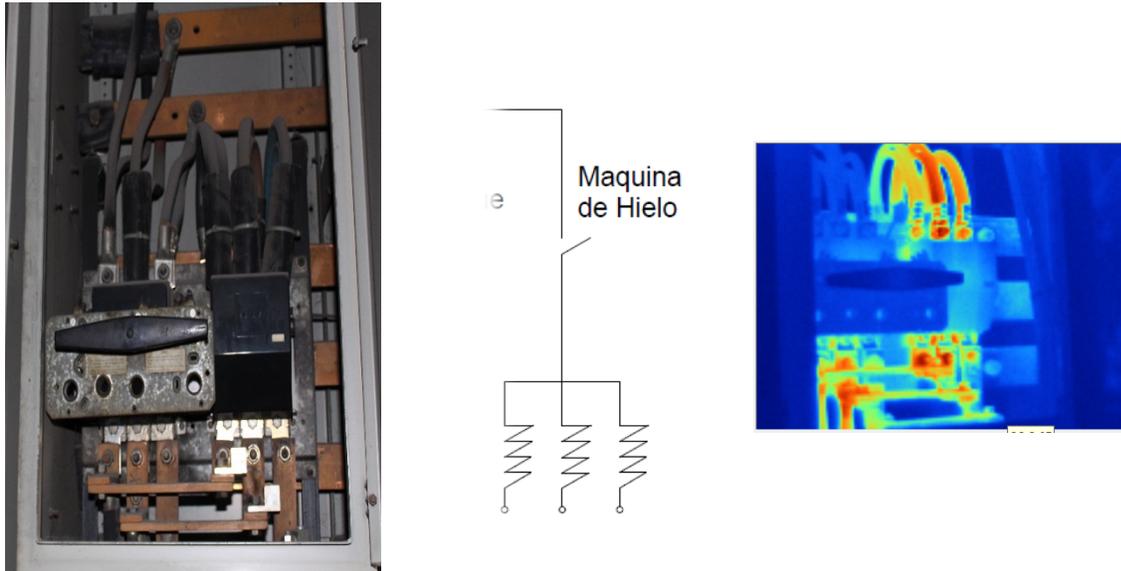
Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Fotografía y termograma del interruptor principal de empaque**



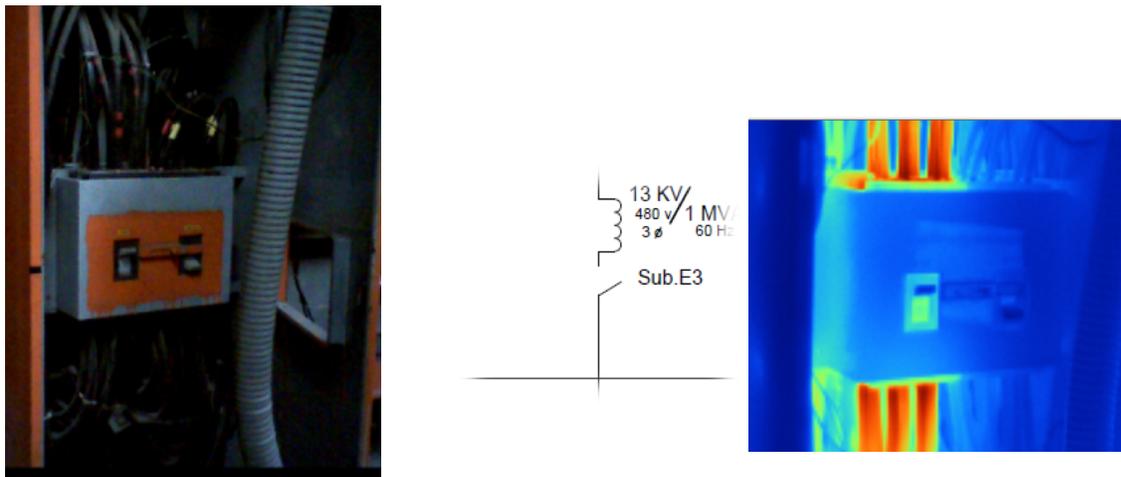
Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Fotografía y termograma del interruptor principal de producción planta especialidades**



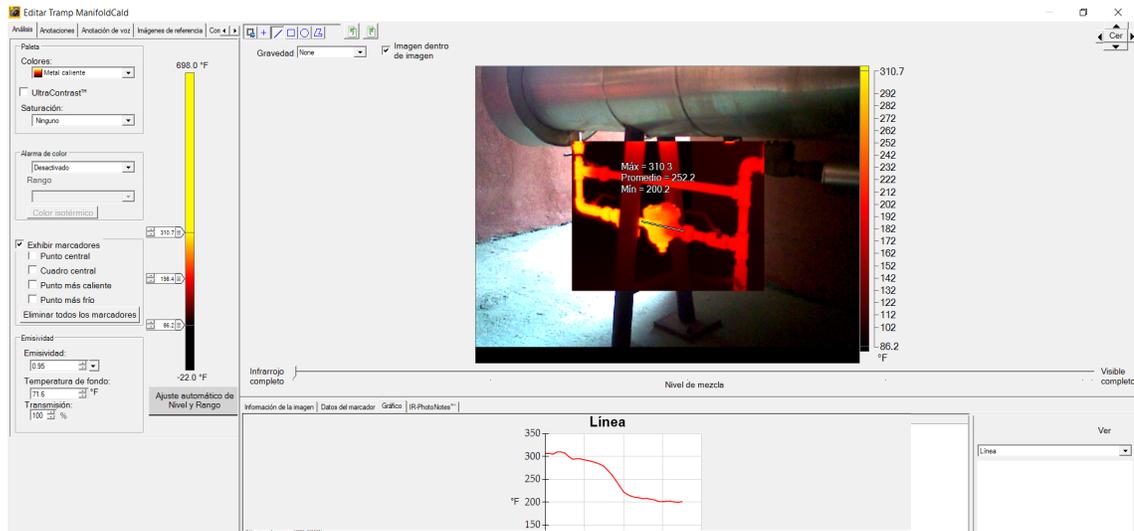
Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Fotografía y termograma del interruptor de la subestación 3**



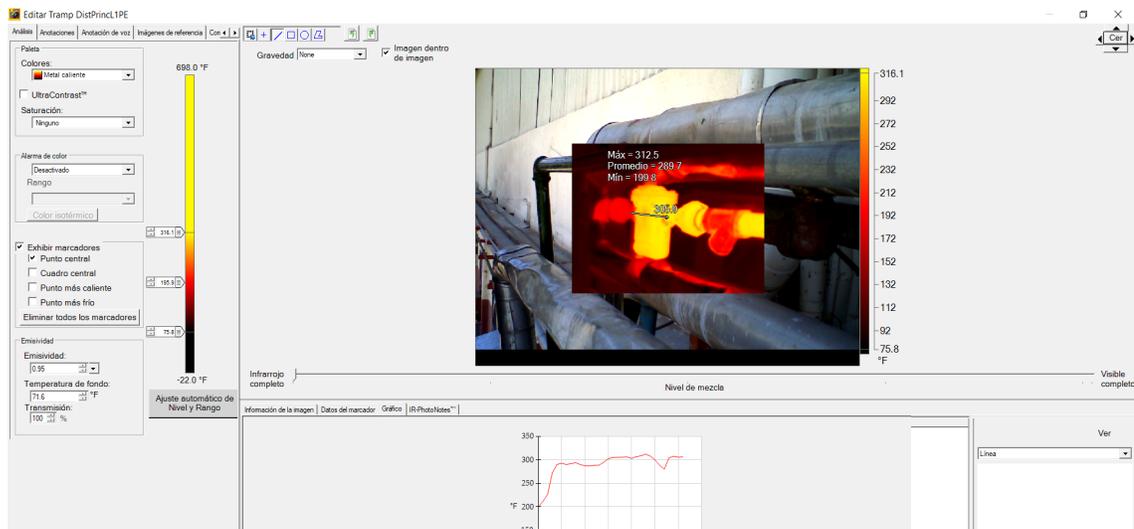
Fuente: elaboración propia.

Figura 15. Imagen de análisis generada por el programa Fluke InsideIR, para trampa de vapor en manifold principal



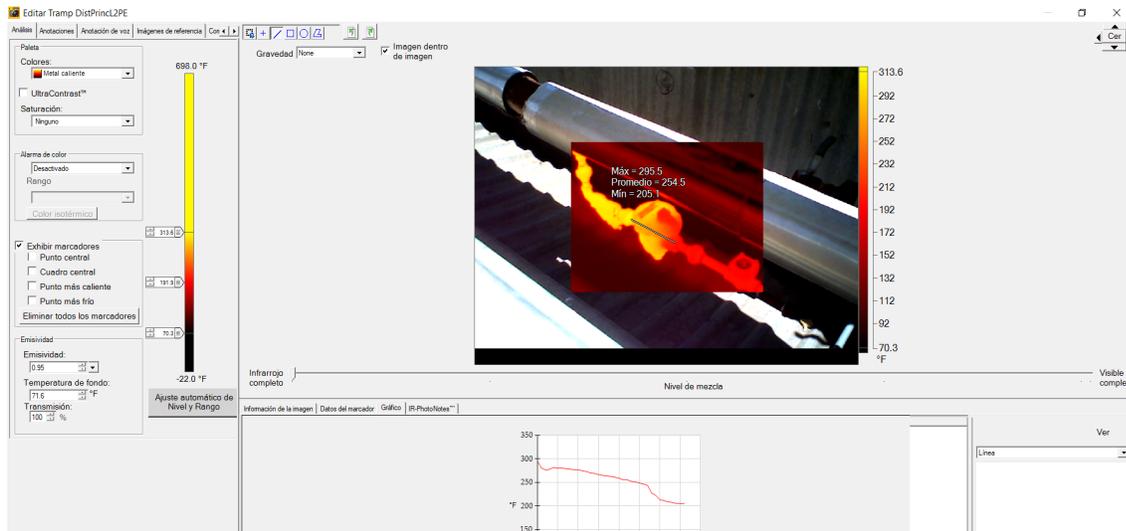
Fuente: elaboración propia

Figura 16. Imagen de análisis generada por el programa Fluke InsideIR, para trampa de vapor en línea 1 de planta de especialidades



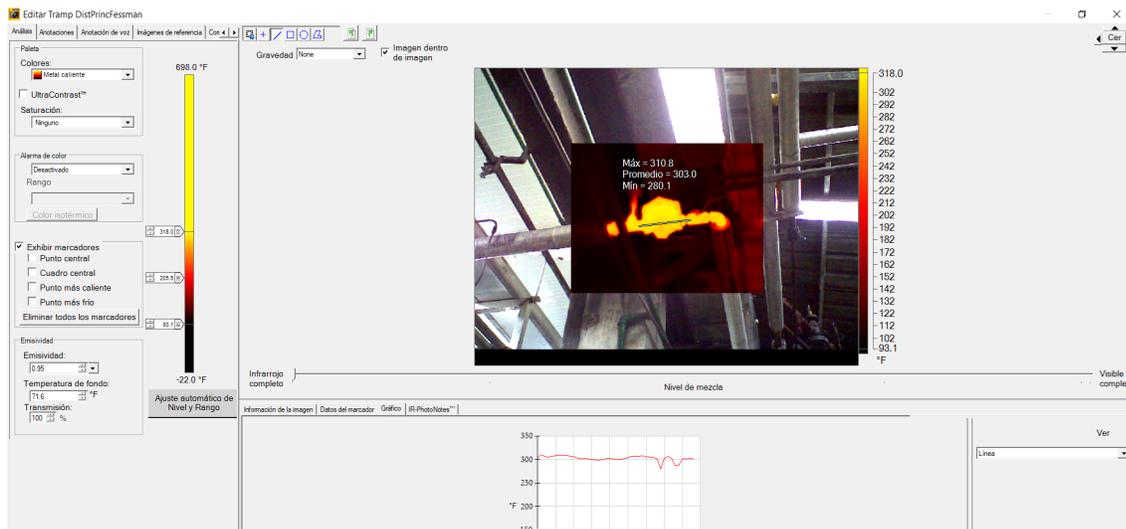
Fuente: elaboración propia.

Figura 17. Imagen de análisis generada por el programa *Fluke InsideIR*, para trampa de vapor en línea 2 de planta de especialidades



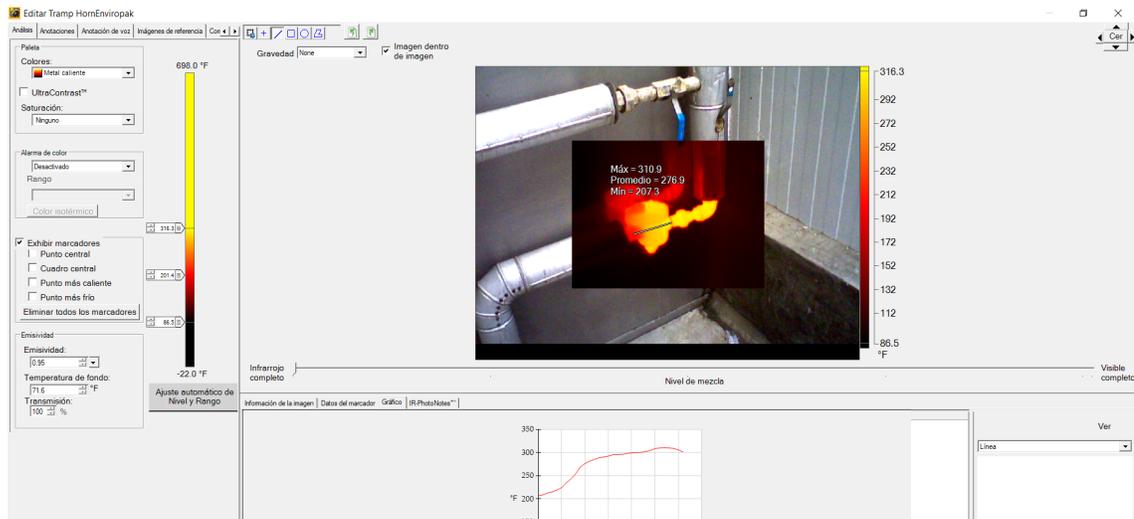
Fuente: elaboración propia.

Figura 18. Imagen de análisis generada por el programa *Fluke InsideIR*, para trampa de vapor del horno de línea



Fuente: elaboración propia.

Figura 19. Imagen de análisis generada por el programa Fluke InsideIR, para trampa de vapor del horno tipo *batch*



Fuente: elaboración propia.

4.4. Análisis de la información térmica de referencia

Los termogramas son imágenes con información térmica comparativa que puede ser utilizada para comparar piezas entre si, es decir, si se tienen dos motores de iguales características y cumpliendo la misma función con similares cargas de trabajo, los termogramas de ambos motores pueden servir como punto de comparación si es que alguno presentara alguna anomalía térmica.

En el caso de tableros eléctricos, cada fase sirve de referencia para otra, ya que las tres fases deben tener la misma carga, están hechas del mismo material y las cargas fueron balanceadas, por lo tanto, deben presentar similares condiciones de temperatura que se ve reflejada en los termogramas.

Aunque sea válido comparar termogramas entre sí, no siempre se tiene la oportunidad de tener dos equipos iguales, por otro lado, si los equipos

presentaran anomalías diferentes, uno no validaría el otro. Por lo tanto, es necesario establecer un punto de referencia, que, en el caso de la termografía, se obtiene a partir de obtener imágenes térmicas iniciales, dando un valor agregado a estas imágenes, el hecho de obtenerlas en el arranque de la maquinaria, por ejemplo, o luego de realizado un mantenimiento mayor, para garantizar que se tienen condiciones que pueden considerarse óptimas para el equipo que se estudia.

Cuando no es posible, se puede obtener las imágenes térmicas en un día cualquiera, cuando los equipos se encuentren funcionando correctamente, es decir, una condición que no supone la existencia de alguna falla y que, por lo tanto, podría considerarse un punto de referencia. Sin embargo, será necesario, durante el monitoreo posterior, determinar si alguna condición pudo haber empeorado y lo que se consideraba normal, no lo era, por la existencia de una condición que con el tiempo se fue volviendo crítica.

Si las imágenes térmicas del monitoreo inicial son obtenidas en condiciones normales de operación y no presentan ninguna anomalía térmica, el monitoreo puede considerarse de referencia. Si se detecta alguna anomalía térmica, deben llevarse a cabo las acciones correctivas necesarias que eliminen la causa de la posible falla o fuente de calor, luego realizar un segundo monitoreo y observar que la anomalía térmica haya desaparecido, para considerar esta imagen como termograma de referencia.

Las imágenes que fueron presentadas como termogramas de referencia, detallaban:

- Subestaciones
- Transferencias eléctricas principales
- Trampas de vapor de planta

Los termogramas de referencia de la planta fueron presentados en las imágenes colocadas con anterioridad, presentadas en conjunto con el diagrama unifilar de los interruptores principales y la fotografía de cada interruptor que muestra dicho diagrama. Al observar los termogramas, se tienen cuatro anomalías térmicas que presentaron cuatro de los termogramas:

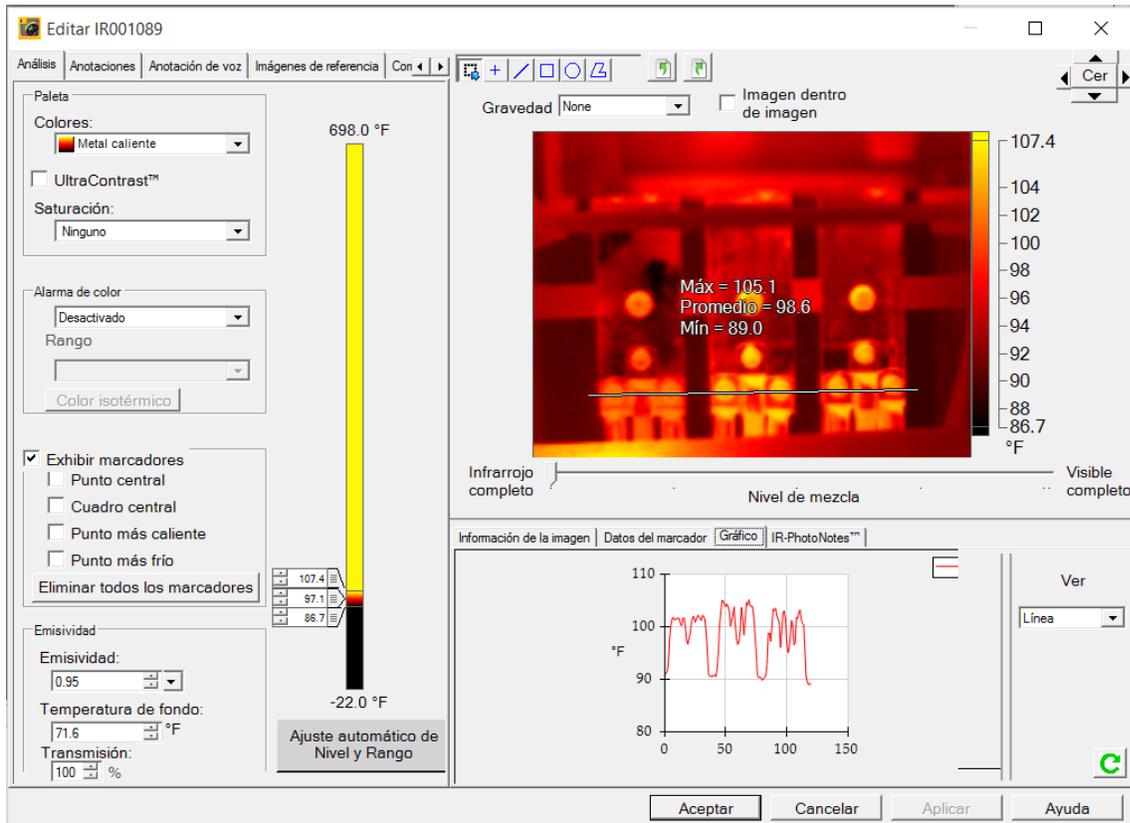
- En el interruptor del chiller y trampas, la segunda línea presenta una anomalía térmica con un diferencial de temperatura alto respecto a las otras dos líneas.
- En el interruptor del muelle y evisceración, la primera línea presenta una anomalía térmica con un diferencial de temperatura alto respecto a las otras dos líneas.
- En el interruptor del área de empaque, la primera línea presenta una anomalía térmica por un diferencial de temperatura más bajo respecto a las otras dos líneas.
- En el interruptor de las máquinas de hielo, se presenta una anomalía térmica en la segunda fase, por un diferencial de temperatura alto, respecto a las otras dos fases.

Además, se presentan dos anomalías térmicas en dos de las trampas de vapor:

- Distribución principal de línea 1 de la planta especialidades.
- Distribución de vapor hacia el horno de línea.

En el caso de las subestaciones, las imágenes térmicas presentan una pequeña diferencia en las temperaturas entre las líneas, en la subestación 1. Esto fue analizado en el programa de Fluke, se observó que la diferencia era de un máximo de dos grados, lo cual puede considerarse normal por tratarse de 1 MW de potencia instalado en dicha subestación.

Figura 20. Imagen de análisis generada por el programa Fluke InsideIR, para interruptor de empaque



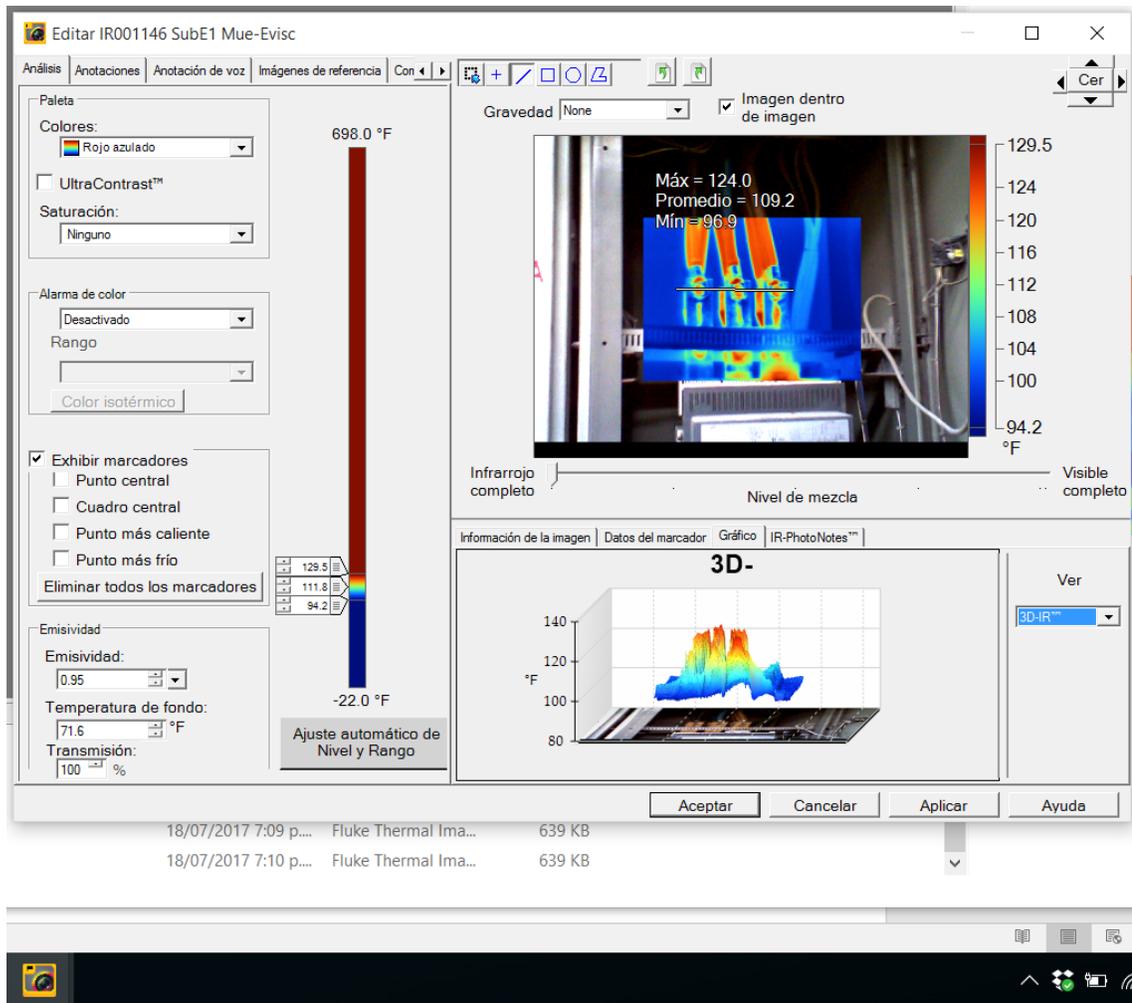
Fuente: elaboración propia.

Para las transferencias eléctricas principales, las imágenes térmicas no presentan anomalías térmicas significativas, ya que se puede observar en las gráficas que hay diferencias pequeñas de temperatura entre las líneas.

El gráfico en tres dimensiones que se observa debajo de la imagen térmica de la transferencia principal del área de muelle y eviscerado, representa las temperaturas en toda la línea trazada como marcador en el programa. En este diagrama puede observarse que las temperaturas son similares, existe una

pequeña diferencia, pero no puede tomarse como anomalía, ya que se considera que, bajo esas condiciones, las líneas se encuentran balanceadas.

Figura 21. Imagen de análisis generada por el programa Fluke InsideIR, para interruptor de muelle y eviscerado



Fuente: elaboración propia.

4.5. Propuesta inicial para una frecuencia del monitoreo de condición por termografía infrarroja

Una vez se tenga un análisis termográfico de referencia para los equipos de interés, puede proponerse una frecuencia para analizar los equipos. Los criterios para establecer la frecuencia inicial pueden variar por horas de trabajo del equipo, por necesidad de atención de acuerdo a la criticidad, de acuerdo al indicador de tiempo medio entre fallas, o bien, estableciendo un tiempo corto de monitoreo, que permita observar los cambios ocurridos en los termogramas, para luego establecer un tiempo óptimo para el monitoreo de condición.

En el caso de la planta, al no tener indicador de tiempo medio entre fallas y no contar con referencias de tiempos de intervención para los equipos y tableros eléctricos monitoreados, se estableció arbitrariamente, una frecuencia quincenal para la realización de los monitoreos de condición por termografía infrarroja, debido a que en el análisis termográfico de referencia no se observaron anomalías térmicas y se cree que una anomalía térmica no puede ocasionarse en 15 días, sino que tomaría más tiempo su desarrollo.

Con lo anteriormente expuesto, se debe dejar claro que es una frecuencia arbitraria y que uno de los fines de este estudio es realizar termografías de forma rutinaria y quincenal, para determinar si durante ese tiempo, se desarrolla una falla, representada en un cambio significativo de las temperaturas que muestra el termograma.

Los resultados de la termografía que se ejecute, depende en gran medida de la habilidad del termógrafo, por lo tanto es preferible que todas las veces sea el mismo termógrafo quien realice la toma de los termogramas, para lograr que

la información sea lo más uniforme posible, aunque de igual manera debe considerarse una probabilidad de error del factor humano.

4.6. Análisis de información térmica de cuatro meses

Los monitoreos de condición por termografía, realizados durante cuatro meses, presentan termogramas similares en cada caso; al tratarse de los tableros eléctricos, las diferencias son imperceptibles durante cada estudio realizado.

Los termogramas de referencia son comparados con las imágenes térmicas de cada quincena, de acuerdo a lo planificado. De estos resultados pueden observarse las diferencias existentes de acuerdo a la evolución de cada seccionador en el tiempo, es decir, si existe una diferencia en la temperatura que la cámara haya logrado captar en la imagen y que represente una anomalía térmica que fue desarrollándose en el transcurso del tiempo del monitoreo actual.

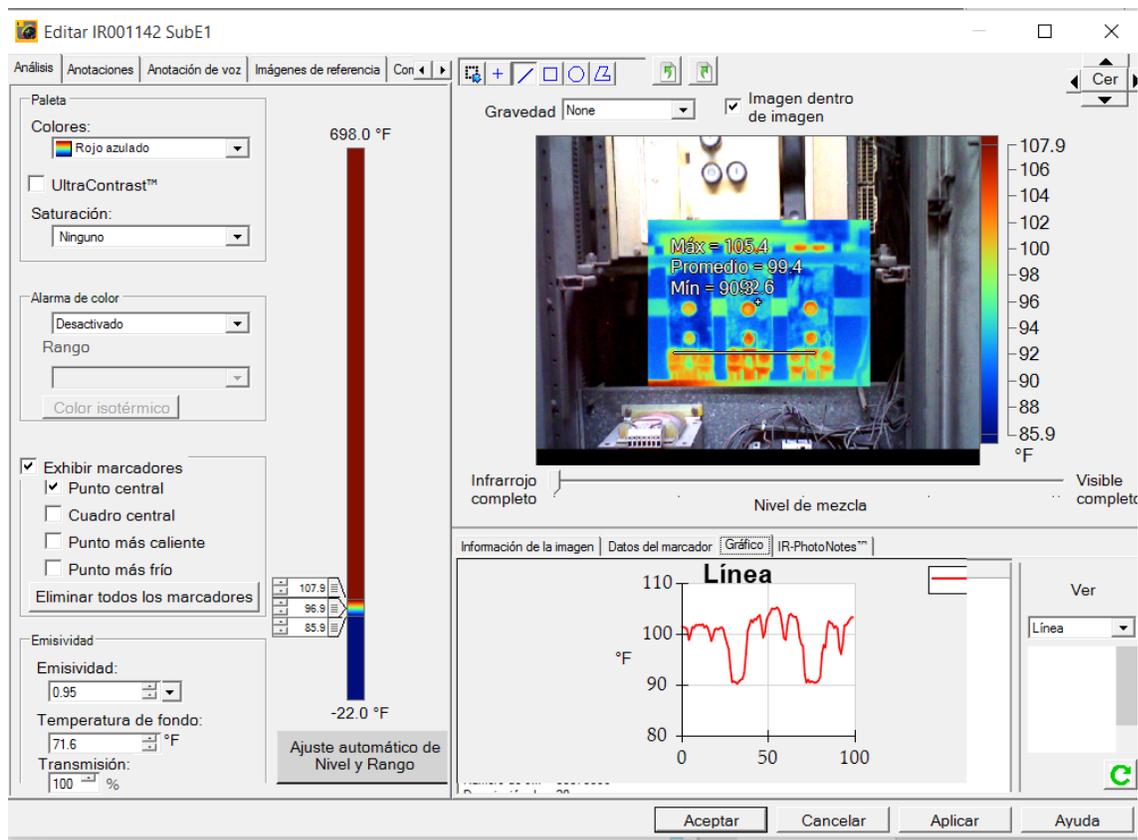
Si al inicio, en los termogramas de referencia no podía observarse ningún cambio de temperatura entre las líneas por ejemplo, y al final del tiempo de ensayo ya puede observarse que durante el tiempo se ha ido desarrollando la falla, a tal punto que, ocasiona pérdidas en formas de calor, entonces, el cambio es significativo, porque la cámara infrarroja interpreta como anomalía térmica estas pérdidas de energía en forma de calor.

Partiendo del caso de los tableros eléctricos, se observa que los termogramas no presentan diferencias significativas en el comparativo con los termogramas de referencia, ya que las imágenes térmicas obtenidas durante los cuatro meses monitoreados se observan con diferenciales de temperatura dentro de los mismos rangos que se observaron al principio.

Algunos de los resultados se presentan a continuación:

En la subestación eléctrica 1, se tiene el resultado de la semana 4 con un diferencial de temperatura que se considera normal por tratarse de contactos eléctricos que experimenta diferentes cargas y que, por lo tanto, pueden presentar ciertas diferencias que se consideran normales.

Figura 22. Imagen de análisis generada por el programa Fluke InsideIR, para subestación 1



Fuente: elaboración propia.

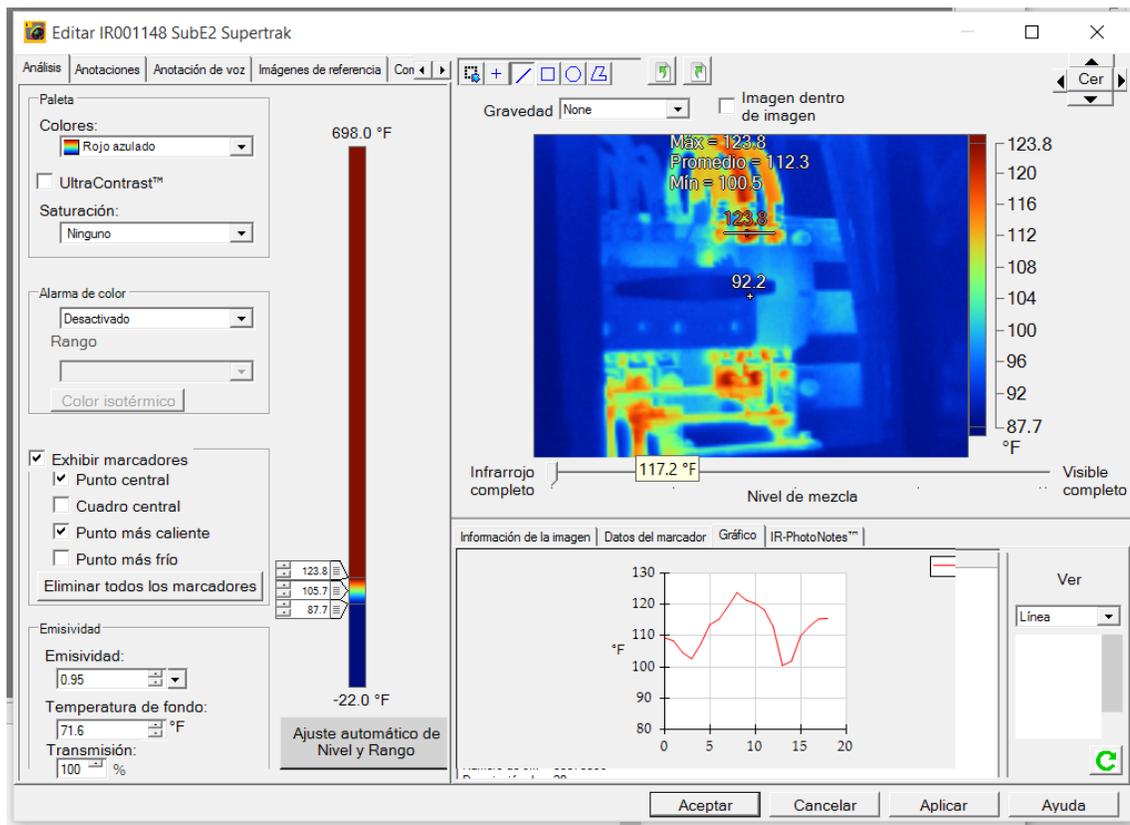
Y en la semana 8 cuando el ejercicio finaliza, presenta resultados similares en sus valores de temperatura entre las tres líneas.

Otro resultado relevante se encontró durante la quinta inspección, en el tablero principal que va hacia el túnel de congelado de la planta de beneficio, en

esta termografía se detecta una anomalía térmica por un diferencial de temperatura en una de las líneas, con respecto a las otras dos.

La línea 1 presenta una temperatura de 112°C, la línea 3 una temperatura de 113°C y la línea 2 una temperatura de 123°C, valor que ya se considera una anomalía térmica, pues los desbalances de carga pueden hacer que las líneas tengan diferenciales de temperatura, pero con valores de 10°C ya se debe poner atención, porque quizá se deba a algún factor de falla que esté generando pérdidas en forma de calor.

Figura 23. Imagen de análisis generada por el programa Fluke InsideIR, para interruptor del tunel

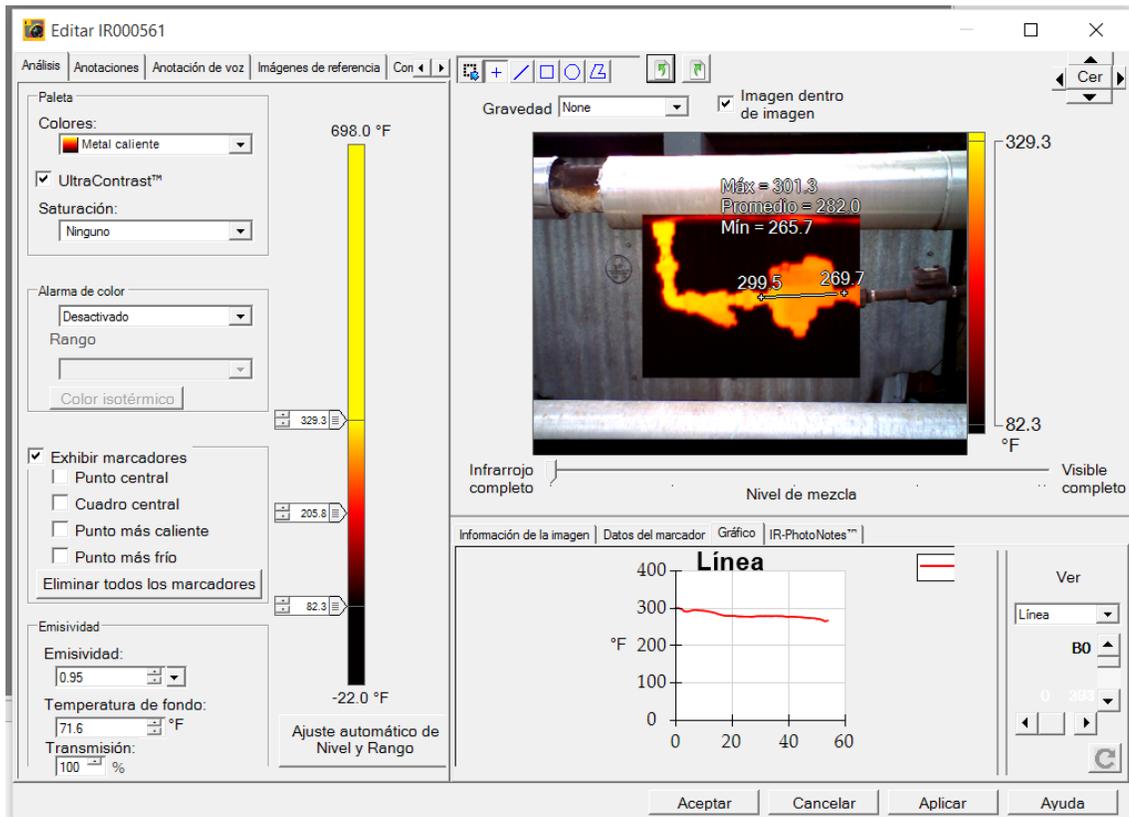


Fuente: elaboración propia.

En este caso específico se realizó una inspección de fin de semana, luego de presentado este reporte y se realizó un reapriete de tornillos de las tres líneas, luego de tal intervención, la próxima inspección de termografía ya presentaba valores aceptables con diferenciales de temperatura entre las líneas de 2 grados centígrados.

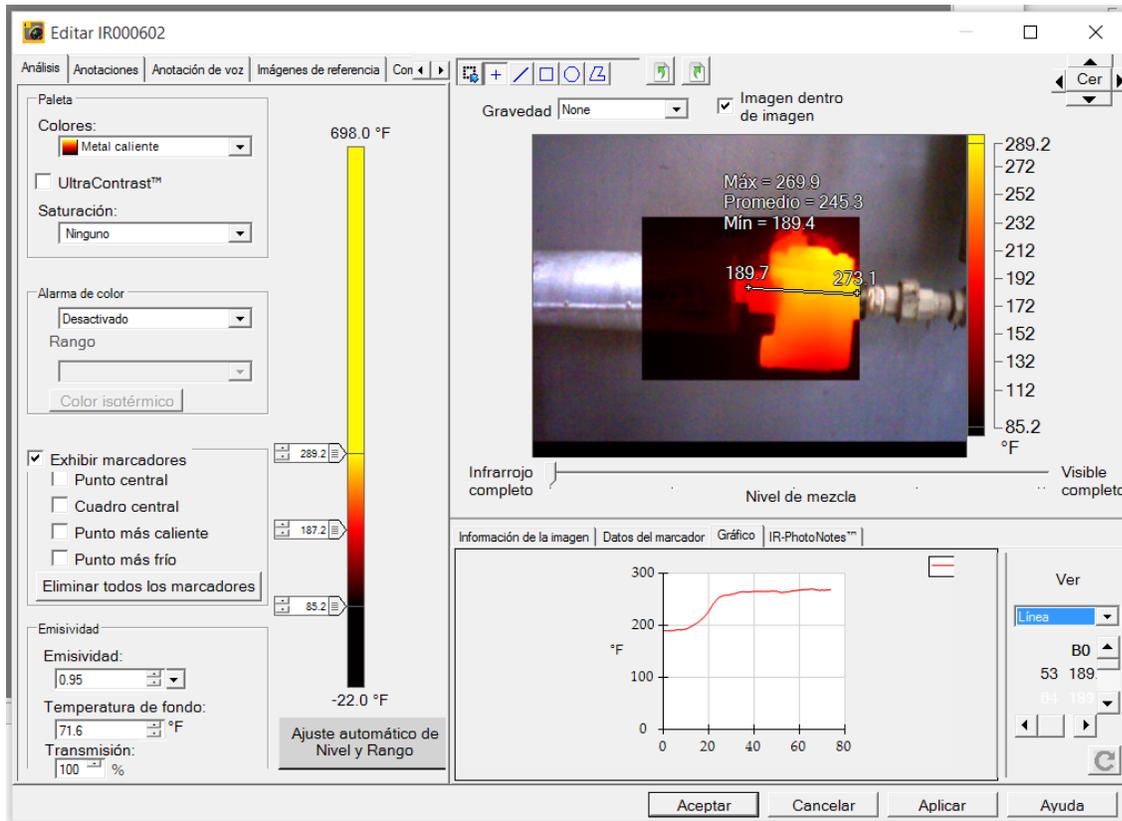
En el caso de las trampas de vapor, se presentan varios casos en los cuales la condición al inicio presentaba una imagen térmica con una trampa de vapor mecánica de balde invertido, con diferencial de temperatura entre la entrada y la salida de 30°C, lo cual es una condición normal en la operación de esta trampa de vapor utilizada en la aplicación de dos hornos de cocimiento. En el marcador de línea colocado en la imagen se observa el descenso de la temperatura entre la entrada y salida de la trampa de vapor, es decir, del vapor vivo y el condensado.

Figura 24. Imagen de análisis generada por el programa Fluke InsideIR, para trampa de vapor de línea 1 de planta de especialidades



Fuente: elaboración propia,.

Figura 25. Imagen de análisis generada por el programa Fluke InsideIR, para trampa de vapor del horno lineal



Fuente: elaboración propia.

Un hallazgo encontrado en la inspección de las trampas de vapor, fue que luego de la inspección de referencia, cuando todas las trampas presentaban un correcto funcionamiento, en la sexta inspección por termografía infrarroja se encontró una trampa de vapor que presentaba anomalía térmica.

4.7. Propuesta de la frecuencia óptima para el monitoreo de condición por termografía infrarroja

De acuerdo con los resultados obtenidos de los análisis de termografía realizados, se pueden establecer frecuencias óptimas de monitoreo de condición por termografía infrarroja, de la siguiente manera:

Para tableros eléctricos de las transferencias principales, la frecuencia óptima de monitoreo, se establecerá en cuatro meses, pues se ha considerado que, si en ese tiempo no se presentó ninguna anomalía térmica, los monitoreos pueden establecerse con esa frecuencia mínima, pues el desarrollo de una falla tomará un tiempo mayor.

En el caso de las trampas de vapor, se encontró que las mismas tienen frecuencias de monitoreo semanal, pero que no presentan daño alguno de una semana a otra, por lo cual, es posible verificar su estado cada cuatro semanas sin que presente anomalía térmica que deba preocupar al investigador. Esto debido a que durante el monitoreo realizado, en cuatro meses se presentó una anomalía térmica en la sexta semana. Esta frecuencia de monitoreo puede ajustarse si después de varias rutinas se establece que no se han desarrollado anomalías nuevas. Pudo haber sido una falla de la trampa de vapor en particular.

4.8. Análisis costo-beneficio de la propuesta

Para este análisis se debe considerar que la empresa debe hacer una inversión en capacitación una sola vez. La cual será incluida en el cálculo para efectos de plantear el escenario pesimista inicial. Por otro lado, los costos de la falla se toman de los estimados por la planta para una falla de consecuencias críticas con ocurrencia ocasional, donde actualmente se encuentran clasificados

los tableros de transferencia eléctrica. No se estiman costos de paradas programadas, porque la termografía se realiza a plena carga, es decir, con todos los equipos de planta en funcionamiento normal.

Tabla II. **Análisis costo-beneficio para monitoreo de condición por termografía infrarroja en transferencias eléctricas**

TRANSFERENCIAS PRINCIPALES			
		(Q)	(Q)
Costo de la falla (rango en Q)	15 600 78 000		
Costo promedio de la falla		46 800	
Beneficio al no presentarse la falla (Q)			46 800
Costo del monitoreo			
Tiempo de monitoreo (horas)	3		
Tiempo del reporte (horas)	5		
Sueldo por hora del termógrafo (Q)	41,67		
Frecuencia de la termografía (meses)	4		
Costo mensual	83,33		
Costo anual		1 000	
Costo de capacitación			
Costo del curso (Q)	11 700		
Costo de viáticos al colaborador (Q)	1 560		
Costo total, una vez		13 260	
Costo total anual del monitoreo			14 260
Beneficio neto			32 540

Fuente: elaboración propia.

Suponiendo que se presentara una falla anual como se estima en una ocurrencia ocasional, los resultados presentan un beneficio anual de Q 32 540,00 para el primer año. Se debe tomar en cuenta que el gasto de capacitación solo se requiere una vez, por lo tanto, los siguientes años, solamente tendrían un costo anual Q1 000,00 por monitoreo de condición por termografía infrarroja.

Para el caso de las trampas de vapor, no se toma en cuenta la capacitación, pues ya se tomó en cuenta en el costo de las transferencias eléctricas principales. Por otro lado, la criticidad de este equipo es menor y por lo tanto, los beneficios estimados son menores. Si el monitoreo de trampas se iniciara sin el monitoreo de las transferencias eléctricas, la planta no obtendría beneficio si certifica a su termógrafo el primer año.

Tabla III. **Análisis costo-beneficio para monitoreo de condición por termografía infrarroja en trampas de vapor**

TRAMPAS DE VAPOR		(Q)	(Q)
Costo de la falla (rango en Q)	3 900 15 600		
Costo promedio de la falla		9 750	
Beneficio al no presentarse la falla			9 750
Costo del monitoreo			
Tiempo de monitoreo (horas)	1		
Tiempo del reporte (horas)	2		
Sueldo por hora del termógrafo (Q)	41,67		
Frecuencia de la termografía (meses)	1		
Costo mensual	125,01		
Costo anual		1 500	
Costo de capacitación			
Costo del curso (Q)	0		
Costo de viáticos al colaborador (Q)	0		
Costo total, una vez (Q)		0	
Costo total anual del monitoreo			1 500
Beneficio neto			8 250

Fuente: elaboración propia

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Discusión de resultados relevantes

Los resultados obtenidos de este estudio demuestran que, en la mayoría de los casos para las transferencias eléctricas principales, un tiempo de cuatro meses, no es suficiente para que se desarrolle alguna falla que pueda presentar una anomalía térmica. Para las trampas de vapor el resultado de anomalía térmica fue encontrado solamente en una de las trampas de vapor a las seis semanas de monitoreos constantes, por ello se recomendó un monitoreo mensual. Sin embargo, ambos monitoreos son susceptibles de ajustes.

Ninguno de los monitoreos propuestos pretende ser un referente único sobre la frecuencia óptima para este tipo de monitoreos de condición. La idea es transmitir la metodología para el desarrollo de otros monitoreos en los equipos que se consideren críticos por su valor estratégico para la empresa o bien, por cumplir una condición importante para el negocio.

Una vez desarrollada la metodología se debe evaluar el costo-beneficio de la implementación, el cual dependerá de las variables específicas del negocio; así pues, se espera que el resultado sea favorable para la empresa puesto que se está usando técnicas predictivas y no reactivas. Pero se debe tomar en cuenta que si un equipo no es “suficientemente importante o crítico”, el costo-beneficio podría ser negativo y eso no significa que no deba implementarse, puesto que si se trata de un equipo con valor estratégico, se puede inclinar la balanza hacia la implementación, pero estando claros que el objetivo no es de costo-beneficio.

En este caso, aún con los monitoreos recomendados, la empresa lograría un beneficio de Q40 790,00 anuales. Esto para el primer año, los siguientes años el costo se reduce por no incluir la capacitación del termógrafo y el beneficio aumenta a Q54 050,00 anuales. Esto significa para la planta un costo-beneficio positivo en la implementación del sistema de monitoreo por medio de termografía infrarroja, considerando los beneficios promedio derivados de la no ocurrencia de fallas que ocasionen paros del proceso productivo.

Se plantearon los cálculos con el costo promedio de una falla para presentar un escenario conservador, si se toma en cuenta que la severidad de la falla puede ocasionar mayores costos, mayor es el beneficio que se puede proyectar. De igual forma pueden plantearse distintos escenarios con estos mismos datos, pero lo cierto es que se tiene un costo-beneficio positivo que anima a la implementación del monitoreo.

Presentado a la dirección de mantenimiento de la planta avícola, el resultado no tiene inconveniente en recibir la aceptación, por considerar que los beneficios fueron tomados de acuerdo a los parámetros estimados por la planta y por lo tanto, la implementación del monitoreo de condición por medio de termografía infrarroja se considera factible y de mucho beneficio para la planta.

Todos los procesos pueden realizar una evaluación similar a la planteada en el procedimiento expuesto en este trabajo, para obtener resultados únicos para su proceso, tanto en el caso de la frecuencia óptima de monitoreo como en el análisis costo-beneficio.

Lo importante del resultado final es que plantea la posibilidad de cambiarse de un enfoque reactivo hacia uno proactivo en las tareas de mantenimiento sin necesariamente pensar en un aumento de los costos, ya que el resultado

demuestra que puede incluso haber un beneficio en la implementación de un monitoreo de condición por termografía infrarroja, como técnica proactiva.

Tomando en cuenta que cada proceso es particular y sus variables son distintas a otro proceso, la evaluación es necesaria y los resultados pueden ser muy distintos incluso para equipos parecidos usados en distintas condiciones o para distintos procesos. Entonces, la gestión de mantenimiento sigue siendo importante, pero desde una perspectiva proactiva que predice la fallas en lugar de convertirse en un experto para repararlas.

La evaluación del costo-beneficio de este cambio de perspectivas es parte de las tareas del gestor de mantenimiento, así como la determinación de la criticidad de los equipos y el costo de la ocurrencia de las fallas de los mismos, para obtener análisis objetivos en sus evaluaciones. Y cuando se trate de un equipo de valor estratégico donde la proactividad en su mantenimiento se justifique por esta condición, se debe tener claro y documentado, para evitar confusiones y malas interpretaciones sobre la aplicación de las técnicas predictivas de mantenimiento.

Si bien es cierto, la termografía es una ciencia que ha sido utilizada en varias áreas, incluso en el ámbito médico donde soporta diagnósticos de ciertas patologías, los resultados solo son exitosos si se cumplen los protocolos durante las toma de imágenes térmicas. Esto ha hecho llevado a la institución Infrared Training Center a certificar a los termógrafos, pero realmente, es poca la investigación específica que se puede encontrar en aplicaciones de plantas industriales.

Por otro lado, las condiciones específicas de cada proceso productivo, incluso si se trata de la misma industria, como la avícola, llevaría a resultados diferentes en cierta medida. Por ello es importante la sistematización planteada

en este trabajo de investigación, por un lado, muestre el resultado favorable o no del costo-beneficio de implementarlo para cierto equipo, y por otro lado, sirva como aporte para nuevas investigaciones en procesos de la misma industria o bien de otras industrias. Si bien el resultado es importante porque comprueba la factibilidad de la implementación, lo más importante es el procedimiento, porque puede permitir otras implementaciones.

CONCLUSIONES

1. Se definieron los equipos críticos y se clasificaron de acuerdo a la frecuencia de falla y la severidad de las fallas, según tabla I, agregando un rango de costo de las fallas de acuerdo a los recursos que pierde la planta por un paro del proceso productivo.
2. Se elaboró el informe de termogramas de referencia para los equipos críticos definidos: trampas de vapor y transferencias eléctricas principales, según se muestra en figuras 5-14; estableciéndolo como comparativo para los termogramas tomados posteriormente, según el programa y sobre los cuales se pudo detectar fallas por medio de anomalías térmicas.
3. Se estableció una frecuencia óptima de cuatro meses para las transferencias eléctricas principales y de un mes para las trampas de vapor; con costo-beneficio positivo de Q40 790,00 para el primer año en 2017 y Q54 050,00 para los siguientes años, con la implementación del monitoreo de condición por medio de termografía infrarroja.
4. Se realizó el programa de monitoreo de condición a través de termografía infrarroja, para equipos críticos de planta, transferencias eléctricas principales y trampas de vapor principales hacia las líneas de proceso de la planta, según resultados analizados en figuras 15-25.

RECOMENDACIONES

1. Se debe identificar áreas de oportunidad y llevar un control estricto del monitoreo de condición, para ajustar las frecuencias de acuerdo a la experiencia.
2. Es necesario integrar nuevos equipos críticos al monitoreo de condición, incluso en el sistema donde se registra el mantenimiento preventivo, para no permitir que las frecuencias se descuiden. Esto asegurará la ejecución del programa de monitoreo establecido.
3. Desarrollar un plan de capacitación para las personas involucradas del departamento de mantenimiento, de tal forma que pueda tenerse varios técnicos con la capacidad de llevar a cabo el monitoreo, bajo la supervisión del termógrafo. Esto disminuiría el costo del monitoreo cuando se amplíe.
4. Extender el monitoreo de condición a algunos motores importantes por sus tiempos de mantenibilidad y difícil acceso. Establecer sus frecuencias óptimas para intervenirlos en el momento adecuado. Esto tendría un costo marginal para la planta con beneficios a evaluar por medio de indicadores de disponibilidad y mantenibilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aguilar, J.R., y Torres, R., y Magaña, D. (2010). *Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad*. Recuperado de <http://docplayer.es/1404386-Jose-r-aguilar-otero-rocio-torres-arcique-diana-magana-jimenez.html>
2. Balageas, D. L. (2007). Termografía infrarroja: una técnica multifacética para la evaluación no destructiva (END). Buenos Aires, Argentina: IV Conferencia Panamericana de END. Recuperado de <http://www.ndt.net/article/panndt2007/papers/128.pdf>
3. Cabrera, L. F. (2008). *La confiabilidad integral del activo. Ingeniería Mecánica*. Recuperado de <http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=a6aa4692-d316-4e70-9cd8-b9db3e54ab80%40sessionmgr11&vid=19&hid=9>
4. Hung, A. (2009). Mantenimiento centrado en confiabilidad como estrategia para apoyar los indicadores de disponibilidad y paradas forzadas en la Planta Oscar A. Machado EDC. *Revista de Ingeniería Energética*. Semana (30). Recuperado de <http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=a6aa4692-d316-4e709cd8b9db3e54ab80%40sessionmgr11&vid=18&hid=9>

5. Infrared Training Center. (2013). *Manual para el curso de Termografía Nivel 1 con certificación ISO 18436-7:2008*. Curso llevado a cabo por Infrared Training Center en San Salvador, El Salvador.
6. Martín, C. S., Estupiñan, E., y Martín, E. (enero-abril 2010). Metodología para la detección y diagnóstico de fallas localizadas en sistemas de engranajes y rodamientos. *Ingeniare – Revista Chilena de Ingeniería*, (18). Recuperado de <http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=a6aa4692-d316-4e70-9cd8-b9db3e54ab80%40sessionmgr11&vid=16&hid=9>
7. Mendoza, R. (octubre-diciembre 2000). El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional. *Ingeniería Mecánica*, (3). Recuperado de <http://web.ebscohost.com/ehost/detail?vid=19&hid=9&sid=a6aa4692-d316-4e70-9cdb9db3e54ab80%40sessionmgr11&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#db=zbh&AN=32652789>
8. Niebel, B. W., y Freivalds, A. (2004). *Ingeniería industrial: métodos, estándares y diseño del trabajo*. D.F., México: Alfaomega.
9. Orrego, J. C. (septiembre 2009). Creando una cultura para la gestión de mantenimiento. *Mantenimiento en Latinoamérica*, (1), p. 6.
10. Parra, C. A. y Crespo, A. (2015). *Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos*. Sevilla, España: Ingeman. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/201219041/Ingenieria-de-Mantenimiento-y-Fiabilidad-aplicada-en-Gestion-de-Activos-Cap-1-y-2-Parra-Crespo>

11. Puertas, J. L. (2012). *Gestión de conservación industrial* (presentación curso de administración del mantenimiento). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
12. Rivas, D. (2006). *Diseño de la ficha de inspección y su periodicidad, para el mantenimiento preventivo de las trampas de vapor, e implementación del software "Steam Trap Management System" para el mantenimiento de éstas* (tesis de pregrado). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.
13. Sexto, L.F. (2005). Confiabilidad integral del activo. *Centro de Estudio de Innovación y Mantenimiento (CEIM/CUJAE)*. Cuba. Recuperado de <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/CONFIABILIDAD-MM.pdf>
14. Arata, A. (2009). *Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales*. Santiago de Chile: RIL editores.
15. Zambrano, S. (mayo 2013). La sistematización de la gestión de mantenimiento en un proceso productivo y la confiabilidad operativa. *Mantenimiento en Latinoamérica*, (5), p. 27.