IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO CON TERMOGRAFÍA INFRARROJA EN EQUIPOS DE LA PLANTA BAVARIA S.A. CERVECERÍA DE BUCARAMANGA.

JAIME GIOVANNY SUAREZ CARRILLO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2012

IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO CON TERMOGRAFÍA INFRARROJA EN EQUIPOS DE LA PLANTA BAVARIA S.A. CERVECERÍA DE BUCARAMANGA.

JAIME GIOVANNY SUAREZ CARRILLO

Trabajo de Grado para optar el título de Ingeniero Mecánico

Director
JABID QUIROGA MENDEZ
Ingeniero Mecánico

Codirector
CARLOS MORA ESTUPIÑAN
Ingeniero Mecánico
Especialista en gestión activos

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2012

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	13
JUSTIFICACIÓN	15
OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO	16
1. CERVECERIA BUCARAMANAGA BAVARIA S.A.	18
1.1 VISIÓN	18
1.2 MISIÓN	19
2. FUNDAMENTOS DEL MANTENIMIENTO Y TERMOGRAFÍA INFRAROJA	20
2.1 FUNDAMENTOS DEL MANTENIMIENTO	20
2.2 ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO	20
2.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO	23
2.4 IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO (PMP).	26
2.4.1 Definición de un cronograma de inspección	26
2.4.3 Análisis de la condición	27
2.4.4 Corrección de las fallas	28
2.4.5 Ventajas del mantenimiento predictivo	28
2.5 TÉCNICAS PREDICTIVAS	29
2.6 TERMOGRAFÍA INFRARROJA	31
2.6.1 Termografía	31
2.6.2 El infrarrojo en el espectro electromagnético.	32
2.6.3 Radiación infrarroja	35
2.6.4 Características de los sistemas Termográficos.	35

2.7 FUNDAMENTOS DE TRANFERENCIAS DE CALOR. 36
2.7.1 Radiación térmica. 36
2.7.2 Transferencia de calor por radiación. 38
2.7.3 Leyes de radiación de un cuerpo negro. 39
2.7.4 Ley de Stefan Boltzmann. 39
2.7.5 Desviaciones de las condiciones de un cuerpo negro. 40
2.7.6 Transmisión atmosférica. 46
2.7.7 Áreas de aplicación de la termografía infrarroja 47
2.8 LA TEMPERATURA COMO MEDIDA 48
2.9 CAMARA TERMOGRAFICAS 49
2.9.1 Clasificación de las cámaras 50

3. ACTIVIDADES RALIZADAS PARA LA IMPLEMENTACION. 52
3.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS 52
3.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS RECURSOS DISPONIBLES 55
3.3 RUTA Y CRONOGRAMA DE INSPECCIÓN 57
3.4 SISTEMA DE INFORMACIÓN 58
3.5 DATOS TÉCNICOS 59
3.6 TEMPERATURAS MAXIMAS DE OPERACIÓN. 63
3.7 FORMATO DE INFORME PARA EL ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE DATOS 64
3.8 FALLAS POSIBLES A DETECTAR MEDIANTE LA TERMOGRAFÍA 68
3.8.1 Inspecciones Termográficas en instalaciones eléctricas. 68
3.8.2 Inspección termográfica de equipos mecánicos y electromecánicos. 73
3.8.3 Inspección termográfica en cajas reductoras de velocidad. 75
3.8.4 Inspección termográfica en los sistemas de vapor. 76
3.9 FRECUENCIAS DE INSPECCIÓN ASOCIADO A SU MODO DE FALLA A DETECTAR CON LA TERMOGRAFÍA INFRARROJA. 78
3.9.1 Frecuencias de inspección. 78
3.10 ORDENAMIENTO Y ALMACENAMIENTO DE LA INFORMACIÓN 80

4. CRITERIOS PARA LA EVALUACION Y VALORACION DE LA INSPECCIÓN TERMOGRÁFICA DE LOS EQUIPOS. 83
4.1 NORMAS Y PUBLICACIONES TÉCNICAS 84
4.2 INTERNACIONAL ESTÁNDAR ISO 18434 – 1 SUPERVISIÓN DE LAS CONDICIONES Y DIAGNOSTICO DE MAQUINAS - TERMOGRAFÍA. 84
4.2.1 Termografía cuantitativa 85
4.2.2 Termografía cualitativa 85
4.3 TERMOGRAFÍA NIVEL I ADEMINSA COLOMBIA S.A.S. 85
4.4 INTERNATIONAL ELECTRICAL TESTING ASSOCIATION (NETA) 86
4.5 RANGOS DE TEMPERATURA EN FUNCIÓN DE SU PRIORIDAD PARA CAJAS REDUCTORAS SEW. 88
4.6 CLASES DE AISLAMIENTO EN MOTORES ELÉCTRICOS SEGÚN NEMA. (NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION). 89
4.7 GUÍA DE APLICACIONES DE LA TERMOGRAFÍA EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL DE SISTEMAS DE VAPOR 92

5. CONCLUSIONES 93

BIBLIOGRAFIA 95

ANEXOS 97

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Estrategias de mantenimiento.	21
Figura 2. Espectro electro-magnético de la luz.	33
Figura 3. Transmisión atmosférica en longitud de onda.	34
Figura 4. Distribución de la radiación térmica en un cuerpo real.	41
Figura 5. Planilla para informe de los reportes	65
Figura 6. Imagen de un patrón termográfico de un motor de trasmisión.	67
Figura 7. La imagen de fusión térmica muestra un conector recalentado	73
Figura 8. Motor: problema de bobinado interno.	75
Figura 9. Daño en el aislamiento.	78
Figura 10. Menú principal de almacenamiento y manejo de la información.	82

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Diferencias comparativas entre los tipos de mantenimientos.	29
Tabla 2. Modelo hoja de vida para motorreductores.	60
Tabla 3. Modelo hoja de vida para motores eléctricos.	61
Tabla 4. Modelo hoja de vida para dispositivos de tableros eléctricos.	62
Tabla 5. Modelo hoja de vida para sistemas de vapor.	63
Tabla 6. Frecuencias de inspección termográfica tren de transporte.	79
Tabla 7. Acciones sugeridas basadas en incrementos de temperatura.	87
Tabla 8. De rango de temperaturas en función de su prioridad, reductores sew.	89
Tabla 9. Clases de aislamiento según NEMA.	90
Tabla 10. Clase de aislamientos para motores jaula de ardilla.	90
Tabla 11. Rangos de temperatura de equipos eléctricos mecánicos.	91
Tabla 12. Guía de fallas cualitativas a detectar en sistemas de vapor.	92

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A: Frecuencias de inspección.	98
ANEXO B. Temperaturas admisibles de los equipos según el fabricante.	101
ANEXO C. Patrones termográficos de los equipos modelos.	104
ANEXO D. Software sap para la generación de órdenes de trabajo.	113

RESUMEN

TITULO: IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO CON TERMOGRAFÍA INFRARROJA EN EQUIPOS DE LA PLANTA BAVARIA S.A. CERVECERIA DE BUCRAMNAGA*

AUTOR: Jaime Giovanny Suarez Carrillo**

PALABRAS CLAVES: Mantenimiento predictivo, termografía infrarroja, implementación.

DESCRIPCIÓN: En aras de aumentar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos del área de envase de la cervecería de Bucaramanga se implementó un programa de mantenimiento predictivo utilizando termografía infrarroja. Este programa tiene como objetivo corregir una falla sin inferir en el funcionamiento de motores eléctricos, cajas reductoras de velocidad, tableros eléctricos de control y sistemas de vapor, logrando así que la producción de la planta haga sus contribuciones al grupo cervecero.

La implementación se inicio haciendo un reconocimiento y levantamiento de la información de los equipos a introducir en el plan de mantenimiento. Posteriormente se hizo la caracterización de la temperatura admisible de estos equipos según el fabricante para definir los criterios y las normas de valoración de criticidad de las fallas. Por último, se especificaron los recursos disponibles para la ejecución del programa: el personal, los equipos, tiempo disponible, el ordenamiento y manejo de la información para recopilación, análisis y registro de datos.

La hoja de ruta de inspección con el respectivo cronograma se diseño atendiendo las necesidades del departamento de mantenimiento, esto con el fin de contribuir a un procedimiento con operaciones seguras. Se tomaron los patrones termo gráficos con el fin de sacar graficas de tendencias de comportamiento, se diseño una base de datos que contiene planilla de valoración para el análisis, hoja de vida de los equipos, criterios de valoración, importante para tener un buen uso y ordenamiento de la información.

Las frecuencias de inspección de los equipos se elaboraron en conjunto con el especialista y planificador del departamento de mantenimiento, además de la frecuencia se relacionó con el tiempo de duración de la inspección y su tarea asociada a falla posible a detectar por parte del especialista en termografía.

---

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Jabib Quiroga Méndez

ABSTRACT

TITTLE: IMPLEMENTATION OF THE PREDICTIVE MAINTENANCE PLAN WITH INFRARED THERMOGRAPHY IN EQUIPMENT FROM THE BREWERY PLANT OF BAVARIA S.A IN BUCARAMANGA*

AUTHOR: Jaime Giovanny Suarez Carrillo**

KEY WORDS: Predictive maintenance, infrared thermography, implementation.

DESCRIPTION: In the interest of increasing reliability and availability of the equipment of the container area of the brewery from Bucaramanga, a predictive maintenance program was implemented by using infrared thermography; its main objective is to correct a flaw without influencing the performance of electric motors, speed gearboxes, electrical control panels and steam systems, thereby making it possible for the production plant to contribute to the brewer.

The implementation was started by surveying and gathering the information of the equipment to be introduced in the maintenance plan. Subsequently, a characterization of the admissible temperature of the equipments by manufacturers was applied in order to define the appraisal criteria and norms of the criticality of failures. Finally, the available resources for the program execution were specified: the personnel, the equipment, available time, order and management of the information for the collection, analysis and data record.

The inspection roadmap along with its respective schedule were designed to address the needs of the maintenance department with the purpose of contributing to safe operation procedures. Thermo graphic patterns were taken to draw graphics of trend of behavior, it was also designed a database with an appraisal chat for the analysis, equipments registers, appraisal criteria, important elements for a proper use and management of information.

The frequency of inspection for the equipment was elaborated along with the specialist and planner of the maintenance department, while with the help of the thermography specialist the frequency was related to the duration of the inspection and its aim to detect a possible failure.

---

* Degree Work.

** Physical-Mechanical Engineering Faculty, Mechanical Engineering School, Eng. Jabib Quiroga Méndez

INTRODUCCIÓN

La Cervecería de Bucaramanga es una planta de la compañía Bavaria S.A. ampliamente conocida a nivel nacional, que trabaja con criterios de excelencia, innovación tecnológica y altos estándares de seguridad. En el año 2005 se realizo un profundo proceso de repotenciación y modernización de su planta física, instalaciones y equipos.

La cervecería cuenta con un departamento de mantenimiento encargada del óptimo funcionamiento de sus unidades y equipos, el funcionamiento correcto de estos equipos es importante tanto para la productividad, como para la sostenibilidad de la empresa. Como una estrategia de apoyo se ha desarrollado e implementado un plan de mantenimiento predictivo con termografía infrarroja para inspeccionar motores eléctricos, motorreductores, sistemas de vapor y tableros eléctricos, estos equipos se encuentran distribuidos dentro de los procesos del área de envase.

Dentro del área de envase tenemos diferentes procesos que requieren la funcionalidad de los equipos de modo confiable y para tal fin y como una estrategia de apoyo se ha desarrollado e implementado un plan de mantenimiento predictivo con termografía infrarroja para inspeccionar motores eléctricos, motorreductores, sistemas de vapor y tableros eléctricos.

En el proyecto se muestran las etapas y la estructura de la implementación del programa de mantenimiento predictivo, enfocadas a los requerimientos de la empresa, así mismo se presentan las normas y criterios de inspección termográficos en los cuales se basa el técnico inspector de la empresa para poder tener un análisis y un diagnostico de la falla más acertada.

Este plan de mantenimiento está enfocado a en corregir una falla sin inferir en el funcionamiento de un equipo, evitando que afecte o detenga la producción, ya que la operación y productividad de la planta realiza importantes contribuciones a las utilidades de ese grupo cervecero.

JUSTIFICACIÓN

La necesidad de implementar un programa de mantenimiento predictivo en los equipos del área de envase, nace de los objetivos trazados por las políticas de calidad y mejoramiento propuestos por la empresa, estos objetivos fueron planteados por la filosofía del programa general de mantenimiento basado en la confiabilidad.

La termografía infrarroja es Una de las técnicas de inspección más propicia para la detección de fallas y reducción de riesgos para el personal que la práctica, ya que evita el contacto directo con el equipo o instalación.

Una falla en el área de envase, puede ocasionar pérdidas incalculables; si un punto caliente en un equipo no es corregido a tiempo se corre el riesgo de ocasionar la salida del equipo, una parada de planta o en el peor de los casos un accidente al personal, situación que desde luego origina enormes pérdidas para la empresa. Teniendo en cuenta la importancia de todos y cada uno de los equipos para el desempeño de los procesos de envasado, es fundamental garantizar la máxima disponibilidad de los equipos para que operen bajo condiciones adecuadas. Lo que se traduce en definitiva a confiabilidad.

La implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en termografía infrarroja, proporcionará beneficios fácilmente medibles, que justifican el gran esfuerzo y recursos necesarios para ponerlo en marcha.

OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

OBJETIVO GENERAL

Cumplir con la misión de la Escuela de Ingeniería Mecánica en su propósito de formar ingenieros mecánicos con alta calidad humana, ética, política, técnica y científica; la construcción, aplicación y divulgación de conocimiento; en el desarrollo y transferencia de tecnologías a través de la implementación del mantenimiento predictivo en la empresa Bavaria.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un reconocimiento, descripción y caracterización técnica de los equipos de la planta en el área de embotellado tales como motores eléctricos, rodamientos, sistemas de vapor y conexiones eléctricas para determinar la temperatura de cada componente en estado normal de operación

- Basándose en el objetivo anterior desarrollar el cronograma y la ruta de inspección termográfica para los equipos de la planta del área de embotellado tomando el plan de mantenimiento ya existente en la empresa; basándose en la norma ISO en termografía: 18434 - 1: 2008 Supervisión de condición y diagnóstico de máquinas.

- Diseñar un formato para la generación de informes y reportes termográficos empleando como instrumento de medida las cámaras FLUKE Ti 25 y la FLIR 620 para el análisis de condición y corrección de fallas de los equipos.

- Establecer los parámetros requeridos por el mantenimiento RCM (mantenimiento centrado en la confiabilidad), aplicarlos en cada uno de los equipos mencionados y así realizar un sistema de información con Microsoft Office Excel visual Basic que permita determinar cuáles son las tareas de mantenimiento más adecuadas para cada uno de ellos según su estado.

1. CERVECERIA BUCARAMANAGA BAVARIA S.A.

La Cervecería de Bucaramanga es una planta de la compañía Bavaria - Sab Miller, fundada el 1 de diciembre de 1948. Es una cervecería ampliamente conocida a nivel nacional e internacional, que trabaja con criterios de excelencia, innovación tecnológica y altos estándares de seguridad, cuenta con un área de mantenimiento encargada del óptimo funcionamiento de sus Unidades y equipos de planta, que forman parte importante tanto para la productividad, sostenibilidad.

Dentro de la filosofía y políticas de la compañía está la del mejoramiento continuo de los procesos y el aseguramiento de la alta calidad, el pilar de este mejoramiento está basado en una directriz corporativa que se enfoca a la práctica de manufactura de clase mundial.

En estos momentos la planta cuenta con una capacidad instalada de 2.1millones de hectolitros al año.

1.1 VISIÓN

“Ser la compañía más admirada en Colombia y un gran contribuyente a la reputación global de SABMiller.

- Por la efectividad de nuestro mercadeo
- Por la calidad de nuestros productos
- Como la mejor fuente de empleo
- Como el mejor socio
- Por nuestra responsabilidad social”

1.2 MISIÓN

“Crecer en el mercado a un consumo per cápita anual de 60 litros, asegurando el liderazgo de nuestro portafolio de marcas nacionales e internacionales en cada una de las categorías de bebidas y en todos los segmentos del mercado”.

2. FUNDAMENTOS DEL MANTENIMIENTO Y TERMOGRAFÍA INFRAROJA

2.1 FUNDAMENTOS DEL MANTENIMIENTO

Se entiende por mantenimiento a todas las actividades desarrolladas con el fin de conservar las instalaciones y equipos en condiciones de funcionamiento seguro, eficiente y económico El tiempo de parada de máquina siempre ha afectado la capacidad de producción de los activos físicos al reducir la producción, aumentar los costos operacionales, e interferir con el servicio al cliente.[1]

La dependencia por la integridad de los activos físicos cobra ahora una nueva magnitud que va más allá del costo y que se torna una cuestión de supervivencia de las organizaciones. Al mismo tiempo que crece nuestra dependencia de los activos físicos, crece también costo de tenerlos y operarlos. Para asegurar la amortización de la inversión que representan deben funcionar eficientemente siempre que se les necesite.

Por último el costo de mantenimiento aún esta ascendiendo, en términos absolutos y como proporción del gasto total. En algunas industrias representa ahora el segundo ítem más alto, o hasta el más alto costo operativo.[2]

2.2 ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO

El objetivo del mantenimiento es contar con instalaciones en óptimas condiciones en todo momento, para asegurar una disponibilidad total del sistema, lo cual está

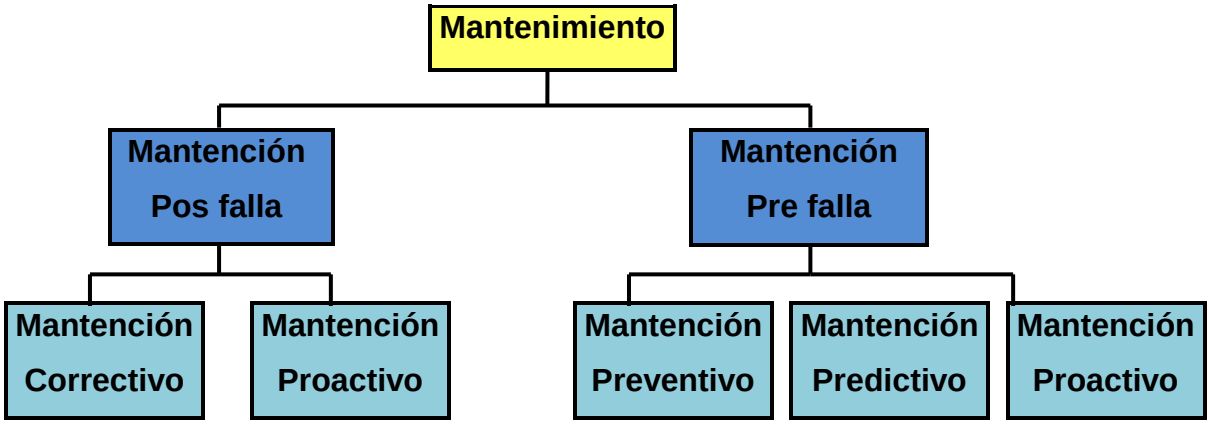
[1] ALBORNOZ Leonardo. Apuntes “Curso de Mantención General” 2004
[2] Internacional TPM Institute, Inc. 1994. “Como desarrollar y utilizar el mantenimiento preventivo y predictivo en su planta”.

basado en la carencia de errores y fallas. Por lo que el mantenimiento debe procurar un desempeño continuo y operando bajo las mejores condiciones técnica, sin importar las condiciones externas (ruido, polvo, humedad, calor, etc.) del ambiente al cual esté sometido el sistema. El mantenimiento además debe estar destinado a:

- Optimizar la producción del sistema
- Reducir los costos por averías
- Disminuir el gasto por nuevos equipos
- Maximizar la vida útil de los equipos

Para lograr éste objetivo se han establecido tipos de mantenimiento. Existen cuatro tipos reconocidos de operaciones de mantenimiento que se muestran en la figura 1, los cuales están en función del momento en el tiempo en que se realizan, el objetivo particular para él están en función del momento en el tiempo en que se realizan, el objetivo particular para el son puestos en marcha y función a los recursos utilizados

Figura 1. Estrategias de mantenimiento.



Fuente: GONZALES BOHORQUEZ Carlos Ramón. Principios de mantenimiento Universidad industrial de Santander.

Donde las estrategias de mantenimiento se definen como[3] :

a) Mantenimiento Reactivo o Correctivo: En esta estrategia se permite a la máquina funcionar hasta la falla. En ese instante se realiza la reparación o reemplazo de ella.

b) Mantenimiento Preventivo o Basado en Tiempo: En esta estrategia se interviene la máquina periódicamente para inspeccionar y reemplazar componentes, aún cuando la máquina esté operando satisfactoriamente.

c) Mantenimiento Predictivo o Basado en Condición: En esta estrategia de mantenimiento se evalúa la condición mecánica de la máquina y su evolución, mientras ella está funcionando, a través de diversos síntomas que ella emite al exterior. En base a esto se programan las necesidades de mantenimiento cuando se detecta un problema en ella. El aumento de la vida operativa de la máquina a través de una estrategia de mantenimiento predictivo indudablemente disminuye los costos de mantenimiento y aumenta la productividad de la Planta. Sin embargo, en la práctica en muchas empresas no se ha logrado los resultados esperados por falta de personal capacitado en el tema.

d) Mantenimiento Proactivo: En esta estrategia de mantenimiento se identifica y corrige las causas raíz de las fallas de la máquina. Se pretende maximizar su vida útil operativa.

[3] GONZALES BOHORQUEZ, Carlos Ramón. Principios de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander.

2.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO

El mantenimiento predictivo es una estrategia de manteamiento que busca por medio de la medición y el análisis de los diversos síntomas que la maquina emite al exterior para establecer la condición mecánica de la maquina y su evolución en el tiempo. Una de sus grandes ventajas es que se lleva a cabo mientras la máquina está en funcionamiento y sólo se programa su detención cuando se detecta un problema y se desea corregir.

El mantenimiento predictivo se trata de un sistema de advertencia temprana, que indica que algo fuera del estándar definido para la variable está ocurriendo en el equipo, antes de ser oído, visto o sentido. De manera que sin ser una necesidad el tener que parar o desmontar el equipo, se pueden planificar acciones correctivas oportunas.

Hay varios beneficios que se pueden obtener utilizando una estrategia de mantenimiento predictivo, los cuales incluyen:

- La detección de fallas con suficiente antelación, permite evitar problemas mecánicos mayores, que podrían transformarse en fallas de costos altos o potencialmente Catastróficos.
- La detección anticipada de fallas, permite planificar las necesidades de mantenimiento.
- El diagnostico de la condición de la máquina mientras está funcionando, evita detenerla a intervalos regulares de tiempo para inspecciones. La intervención de la máquina se limita a cuando es estrictamente necesario realizar una intervención.
- El mantenimiento predictivo se usa para desarrollar el mejor mantenimiento global al menor costo global.

Un programa eficiente y exacto de mantenimiento predictivo requiere[4]:

- Tecnología: Un correcto programa de mantenimiento predictivo debe emplear el uso de varias tecnologías para así determinar la condición del equipo o de los componentes que conforman estos, mediante la medición y análisis de la tendencia de los parámetros físicos, con el objeto de detectar, analizar y corregir problemas en los equipos antes que se produzca una falla.

- Equipamiento: Una mantención predictiva exacta como cualquier otra tarea, requiere de las herramientas adecuadas para realizar el trabajo. Un ingeniero no puede realizar un programa de mantenimiento predictivo sin contar con técnicas como: análisis de aceites, analizador de vibraciones, analizador termográfico, etc.

- Programas: Hay muchas teorías en programas. Todos los programas y analizadores traen el término de ser amigable con el usuario. Pero lo importante son la eficiencia, destreza y velocidad. Eficiencia se refiere a cuán bien se realiza el trabajo. El programa debe tener destreza en servir al usuario.

- Personal: El personal se puede seleccionar desde varias fuentes como ingenieros, mecánicos, técnicos, etc., la principal características que deben tener es que deben ser altamente motivados y querer hacer el trabajo. Una vez seleccionado el personal ellos deben ser entrenados. Una vez que el personal ha sido entrenado, debe continuar actualizándose a través de cursos avanzados en las nuevas tecnologías y equipos.

Considerando estos requerimientos, las metas que persigue el mantenimiento predictivo son[5]

---

[4] ESTUPIÑÁN P, Edgar. Alcances de la implementación de nuevas técnicas de análisis en los programas de mantenimiento predictivo-proactivo en la industria.
[5] ESTUPIÑÁN P. Edgar. Bases del Análisis de Vibraciones. Universidad de chile 202

Vigilancia de máquinas: Se basa en controlar los cambios de magnitudes que determinan la condición de la máquina y establecer valores de alerta y peligro que definan las acciones a tomar. Una vez definido el sistema de vigilancia por un experto, su aplicación requiere de personal técnico especializado, los cuales deberán entregar soluciones a los problemas que pueden presentar los equipos.

- Protección de máquinas: Pretende evitar una falla catastrófica. Está asociada a la parada automática de la máquina
- Diagnóstico de fallas: Se basa en determinar cuál es el problema específico en la máquina una vez que el sistema de vigilancia lo detecta.
- Pronóstico de vida: Estimar cuánto tiempo más puede trabajar la máquina sin riesgo, una vez diagnosticado un problema en ella.

La necesidad de aumentar la productividad y disminuir los costos de producción a que se ven enfrentadas las plantas industriales para ser competitivas las está forzando a cambiar sus estrategias de mantenimiento hacia uno del tipo predictivo-proactivo. El objetivo es aumentar la disponibilidad de los equipos al menor costo posible y de una manera que sea sustentable en el tiempo. Para ello es necesario controlar las causas que generan las fallas. En los equipos y así evitar que estas se produzcan.

Para lograr este objetivo es fundamental la capacitación del personal de mantenimiento. Las estadísticas a escala mundial muestran que las principales causas por las que no se logran estos objetivos es el déficit de conocimientos de los profesionales en temas fundamentales como son: los principios de funcionamiento de las máquinas, tipos de fallas potenciales a ocurrir, causas que las generan, técnicas para diagnosticarlas y formas de reducirlas o eliminarlas.

Las estadísticas, muestran además, por las mismas razones anteriores, que los recursos que tienen o contratan las empresas en análisis de vibraciones, análisis

de aceite, análisis de impulsos de choque, análisis termográfico, etc., están subutilizados, es decir, se está usando muy poco de las capacidades de estas técnicas. Generalmente sólo se buscan correlaciones estadísticas entre síntomas y fallas que las generan, sin utilizar los grandes potenciales que tiene analizar físicamente el problema.

Sólo conociendo la física del problema se puede corregir y evitar que las fallas ocurran.

2.4 IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO (PMP).

Una vez desarrollada la fase donde se seleccionan y se establecen las técnicas óptimas para la verificación de cada uno de equipos, las mismas son integradas en un programa racional que define la implementación organización de un plan de mantenimiento predictivo[6]. Esta fase comprende:

2.4.1 Definición de un cronograma de inspección

En este paso se diseña una ruta de inspección donde se incluyen las plantas y equipos seleccionados para hacerles el mantenimiento predictivo, definiendo a la vez un cronograma de inspección.

2.4.2 Diseño de un sistema de información:

- Recopilación de datos
- Registro de datos
- Análisis de datos

[6] GARCÍA, Alfonso. Vibraciones mecánicas. Universidad industrial de Santander.

- Redacción y presentación de informes

Además del sistema de información se debe crear un programa de entrenamiento e instrucción para el personal.

La finalidad de este paso es establecer los niveles “normales” de los parámetros para la verificación de la condición, que representen una condición aceptable del equipo. Esto, en realidad puede establecerse únicamente en base a la experiencia y a los datos históricos. Sin embargo, en las etapas iniciales cuando no se dispone de dichos datos, podrán utilizarse como guía las recomendaciones del fabricante y las tablas de índices generales de severidad correspondientes.

Idealmente esta fijación de límites de condición aceptable debe estar respaldada por una norma que establezca criterios para evaluar esas condiciones; de esta manera, adicional a la experiencia y los datos históricos y del fabricante, se contará con un criterio técnico puntual para hacer el diagnóstico de la falla.

Con base en dichos niveles “normales”, se establecen límites de acción que representen un deterioro significativo de la condición y proporcionen una advertencia razonable de la falla inminente.

2.4.3 Análisis de la condición

Se trata de un análisis de la condición del equipo, que a menudo conlleva a la aplicación simultánea de varias técnicas. La finalidad de este paso es confirmar si realmente existe un defecto y llevar a cabo un diagnóstico y pronóstico de la falla, por ejemplo: tipo de falla, ubicación, gravedad y las medidas correctivas requeridas.

2.4.4 Corrección de las fallas

Una vez diagnosticada la falla, será responsabilidad del departamento de mantenimiento organizar las medidas correctivas. En esta etapa es de suma importancia establecer la causa de la condición de falla y corregirla.

Los detalles de la falla corregida deberán ser revertidos al PMP con el fin de confirmar el diagnóstico y/o perfeccionar las capacidades de diagnóstico del programa. Esto indica que siempre se debe hacer una re inspección del equipo para confirmar si se corrigió realmente la falla.

2.4.5 Ventajas del mantenimiento predictivo

Algunas de las ventajas que presenta el mantenimiento predictivo se indican a continuación[7]:

- Reduce los tiempos de parada.
- Permite seguir la evolución de un defecto en el tiempo
- Optimiza la gestión del personal de mantenimiento.
- La verificación del estado de la maquinaria, tanto realizada en forma periódica como de forma accidental, permite confeccionar un archivo histórico del comportamiento mecánico.
- Conocer con exactitud el tiempo límite de actuación que no implique el desarrollo de una falla imprevista.
- Toma de decisiones sobre la parada de una línea de máquinas en momentos críticos.
- Confección de formas internas de funcionamiento o compra de nuevos equipos.
- Permitir el conocimiento del historial de actuaciones, para ser utilizada por el

[7] www.mantenimientomundial.com

mantenimiento correctivo.

- Facilita el análisis de las averías.
- Permite el análisis estadístico del sistema.

A continuación en la tabla 1 se muestran las diferencias entre el mantenimiento predictivo con respecto a los otros tipos de mantenimiento.

Tabla 1. Diferencias comparativas entre los tipos de mantenimientos.

Tipo de mantenimiento	Funcionamiento de las maquinas	Motivo de la intervención	Tarea a realizar	Objetivos de la intervención
Correctivo	Fuera de servicio	falla	Cambio de componentes	Retomar al servicio
Preventivo	Fuera de servicio	Inspección programado	Desarme para inspección y cambio de componente	Garantizar por Determinado Tiempo su funcionamiento
predictivo	En servicio	Control programado	Mediciones	Predecir y detectar fallas a tiempo y programar su corrección

Fuente: Fuente: GOZALES BOHORQUEZ Carlos Ramón. Principios de mantenimiento Universidad industrial de Santander.

2.5 TÉCNICAS PREDICTIVAS

Los últimos avances de la tecnología de la computación y el procesamiento de la información han permitido conformar sistemas de mediciones en línea, que posibilitan recoger información con valor de diagnóstico.

Esta información se caracteriza como señales temporales provenientes de sensores de diferentes tipos (acelerómetros, temperatura, presión, etc.) situados en la superficie e interior de dispositivos y sistemas, que son capaces de dar información sobre su comportamiento dinámico.

Estas señales son procesadas en forma conjunta y mediante algoritmos matemáticos se determinan las posibilidades de ejercer acciones correctivas de la condición de trabajo operacional normal.

Las técnicas predictivas que se pueden encontrar en la industria moderna se muestran a continuación[8].

Técnicas utilizadas en todo tipo de maquinas:

- Análisis de Vibraciones.
- Análisis de Aceite.
- Termografía Infrarroja.
- Ultrasonido.
- Análisis acústico.
- Medición de presión y otros.

Técnicas aplicables a equipos específicos:

- Análisis Ferrográfico de partículas
- Ensayo no destructivo
- Análisis de rayos X
- Resistencia eléctrica (prueba de Megger).
- Ensayo con tinta penetrante.

[8] Internacional TPM Institute, Inc. 1994. “Como desarrollar y utilizar el mantenimiento preventivo y predictivo en su planta”.

La Termografía Infrarroja es una técnica empleada en su contexto de tecnología predictiva que Permite sensar y reproducir (ver) las energía Infrarroja (calor) emitida por los cuerpos, en nuestro caso equipos rotatorios o estáticos, liderando o complementando otras técnicas predictivas.

Este tipo de ensayo no destructivo es una de las técnicas más versátiles para el mantenimiento predictivo y tal vez la más efectiva con relación al costo-beneficio. La Termografía Infrarroja a lo largo de los últimos años ha pasado a jugar un papel fundamental dentro de los ensayos no destructivos orientados a detectar cualquier anomalía o defecto que se manifieste en un cambio de la temperatura superficial de un objeto. Ese cambio se puede originar tanto por un defecto superficial como interno. Detectar ese cambio en las instalaciones industriales es de suma importancia para mantener los equipos en condiciones seguras y confiables.

2.6 TERMOGRAFÍA INFRARROJA

2.6.1 Termografía

La termografía infrarroja como técnica de mantenimiento predictivo permite detectar, sin contacto físico con el equipo bajo análisis, cualquier falla que se manifieste en un cambio de la temperatura de los componentes del equipo, midiendo los niveles de radiación infrarroja.[9]

Es decir que cuando un equipo está fallando, esta falla se manifiesta en una elevación de temperatura en una parte del equipo, como un punto de conexión, un conductor, el aislamiento, los rodamientos, etc. Esta elevación de temperatura, invisible al ojo humano, es posible detectarla a través de una cámara termográfica

[9] Vitoria, Teo. Mantenimiento predictivo de instalaciones eléctricas basado en termografía infrarroja. [Articulo de Internet]. http://www.boletintecnologico.com. julio 2004.

la cual permite apreciar con exactitud cuál es el elemento afectado para hacer el correctivo necesario.

En la técnica de termografía infrarroja a una falla se le conoce como un “punto caliente”, el fundamento de su detección se basa en el sobrecalentamiento que un componente o equipo experimenta cuando se genera un aumento de la temperatura como consecuencia de unas posibles causas a detectar[10]

2.6.2 El infrarrojo en el espectro electromagnético.

La región Infrarroja está localizada entre la región visible y de microondas del espectro electromagnético y abarca la región de 2 a 1000 µm. Debido a que los objetos irradian energía en el infrarrojo, a esta región se le conoce también como la región térmica del espectro. Entre mayor sea la temperatura de un cuerpo, mayor será la energía radiante espectral en todas las longitudes de onda y más corta será la longitud de onda pico o predominante de la emisión.[11]

La mayor parte del espectro de emisión infrarrojo no es útil para los sensores debido a que la radiación es absorbida por agua y dióxido de carbono en la atmósfera. Sin embargo existen tres bandas de longitudes de onda con buena transmisión:

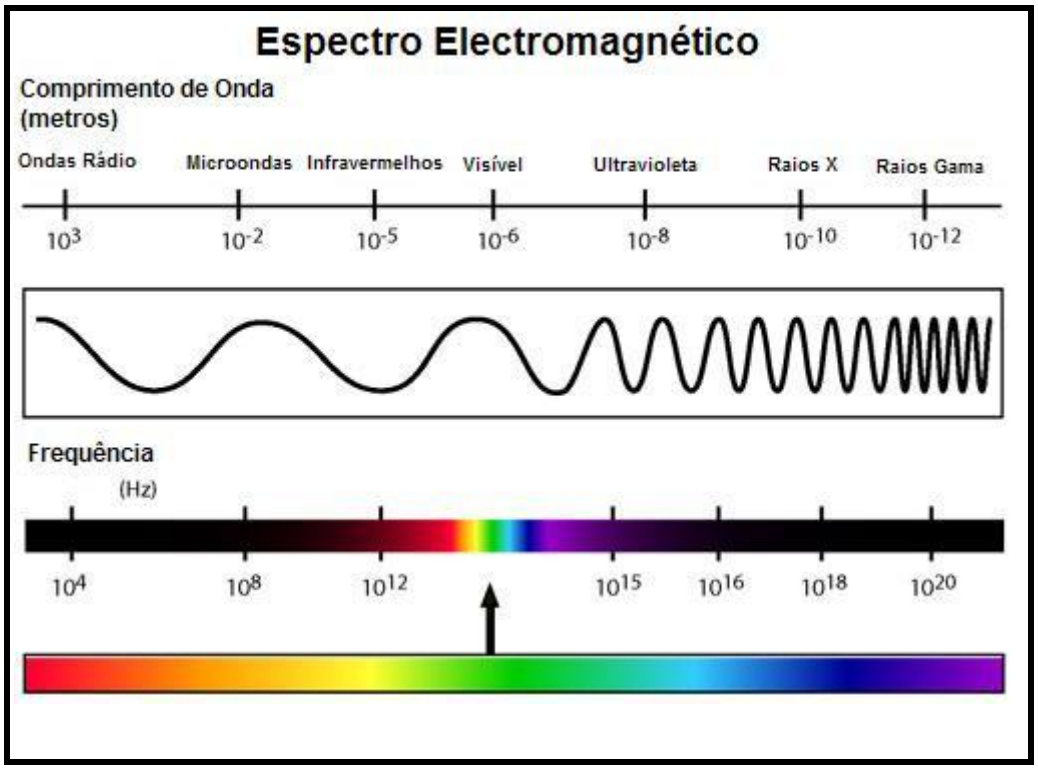
- La banda Infrarroja de longitudes de onda largas (LWIR) que cubre la región de 8-15 µm, con aproximadamente un 100% de transmisión en la banda de 9-12 µm. La banda LWIR ofrece excelente visibilidad para la mayoría de los objetos terrestres.
- La banda Infrarroja de longitudes de onda medias (MWIR) que cubre el rango de 2-6 µm y ofrece también una transmisión cercana al 100%.

[10] REYNA O, Alberto F. termografía nivel I. Ademinsa Colombia S.AS.
[11] REYNA O, Alberto F. termografía nivel I. Ademinsa Colombia S.AS.

- La banda Infrarroja de longitudes de onda cortas (SWIR) que cubre el rango de 0.7 a 2 µm.

A continuación en la figura 2, se muestra el espectro electromagnético y las bandas del infrarrojo:

Figura 2. Espectro electro-magnético de la luz.

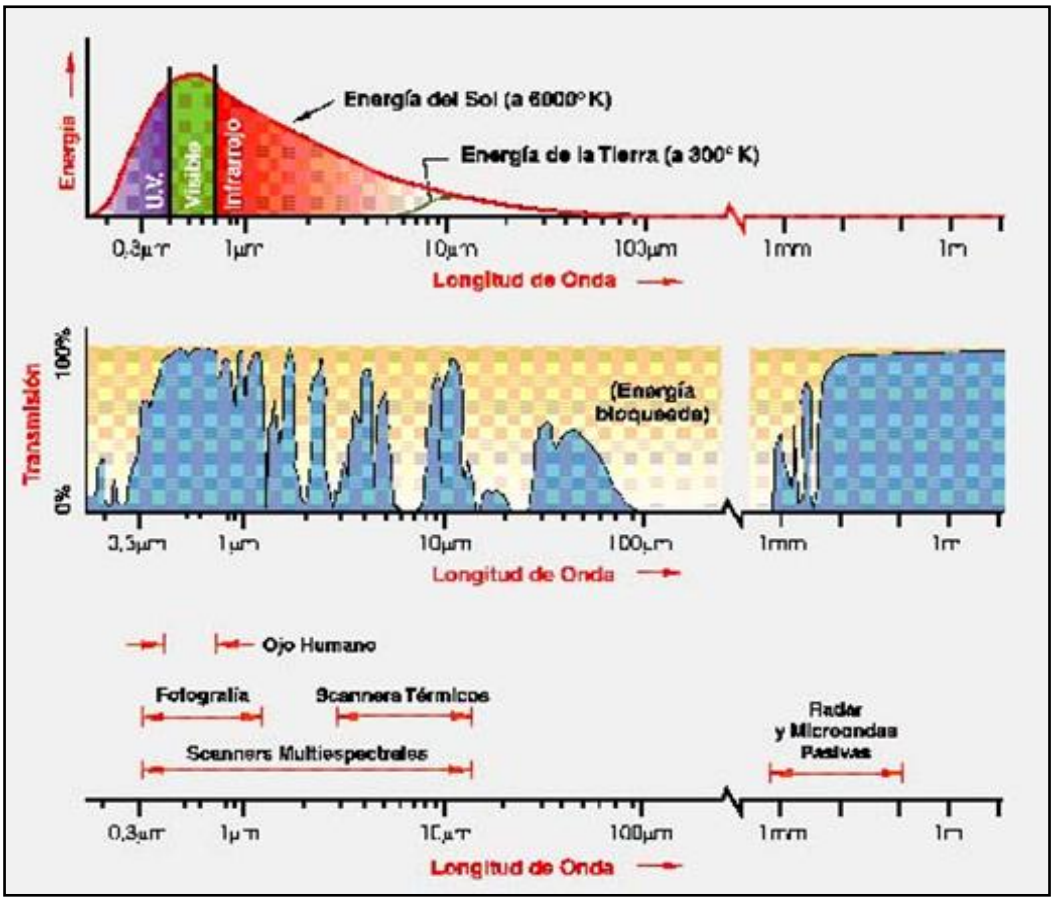


Fuente: biblioteca virtual wikipedia.

La región entre 6 y 8 µm no es utilizable en la atmósfera terrestre puesto que la radiación es absorbida por el vapor de agua y sólo logra cubrir distancias cortas desde la fuente de emisión.

En la figura 3 se muestran las bandas de transmisión atmosférica utilizables en la porción Infrarroja del espectro electromagnético. Las regiones sombreadas representan las bandas más comúnmente utilizadas por los equipos de infrarrojo.

Figura 3. Transmisión atmosférica en longitud de onda.



Fuente:www.academiatesto.com.ar ventanas atmosféricas.

El equipo de infrarrojo se diseña para operar ya sea en la banda de longitudes de onda largas o bien la banda de longitudes de onda medias. La banda de longitudes de onda largas incluye un espectro más amplio de temperaturas bajas, mientras que la banda de longitudes medias incluye un rango de temperaturas mayores. Por lo anterior, para aplicaciones de altas temperaturas un equipo de infrarrojo de longitudes de onda medias es el más apropiado. Para temperaturas relacionadas a muchas aplicaciones de mantenimiento, el equipo de longitudes de onda largas frecuentemente ofrece mayores ventajas.

2.6.3 Radiación infrarroja

Todo equipo y/o elemento emite energía desde su superficie, “Esta energía es generada por la vibración y rotación de moléculas dentro del objeto. Como la emisión infrarroja aumenta con la actividad molecular y la actividad molecular con el calor, esto indica que a mayor temperatura de un objeto su emisión de energía infrarroja será mayor”[12]. Esta energía se emite en forma de ondas electromagnéticas que viajan a la velocidad de la luz a través del aire o por cualquier otro medio de conducción. La transferencia de calor por radiación se rige según la ley de Stefan-Boltzmann que se cita en el siguiente inciso donde se tratan los temas relacionados con transferencia de calor.

2.6.4 Características de los sistemas Termográficos.

Un sistema de Termografía proporciona un medio rápido de adquisición de conocimiento relacionado a los patrones de temperatura (termogramas), que existen en la superficie de un cuerpo. Estos patrones se adquieren en una manera no destructiva por lo que la medición no interfiere con los procesos propios del cuerpo o estructura.

El grado al cual estos patrones proporcionen un conocimiento útil del desempeño térmico del cuerpo o estructura bajo consideración depende de cuan cuidadosa sea la interpretación sobre la base de las leyes de termodinámica de transferencia de calor.

Entre las ventajas tecnológicas que nos proporciona un sistema de Termografía, principalmente un sistema de imágenes Infrarrojas, se encuentran las siguientes:

- Alta resolución en temperaturas: tan fina como 0.1 °C.

[12] REYNA O, Alberto F. termografía nivel I. Ademinsa Colombia S.AS.

- Amplia resolución espacial: se pueden medir temperaturas en áreas tan pequeñas como 100 2 mm hasta en amplias regiones espaciales.
- Medición en un amplio rango de temperaturas: -20 °C hasta 2500°C.
- Incremento de seguridad y velocidad en las inspecciones.
- Incremento en la exactitud para localizar problemas.

La localización de problemas antes de que se presente la falla es de un valor muy importante, algunos de los beneficios de la inspección Infrarroja son[13]:

- Identificación de problemas potenciales asociados a procesos térmicos.
- Reducción de fallas inesperadas y como consecuencia una disminución de reparaciones.
- Extensión del tiempo de vida del equipo.
- Habilidad para planear reparaciones.
- Determinación de la confiabilidad y eficiencia de un sistema.
- Análisis de tendencias en el desarrollo de problemas.
- Mejorar la producción e incrementar la satisfacción del cliente.
- Aseguramiento de calidad de reparaciones y nuevas instalaciones.
- Prevención de accidentes.

2.7 FUNDAMENTOS DE TRANFERENCIAS DE CALOR.

2.7.1 Radiación térmica.

Se llama radiación térmica a la radiación emitida por un cuerpo como consecuencia de su temperatura. Todos los cuerpos emiten energía radiante, siempre que su temperatura este por encima del cero absoluto (0 °K). Cuando la

[13] internacional estándar ISO 18434 – 1 2008 supervisión de condición y diagnostico de maquinas.

temperatura del cuerpo es alta, la radiación emitida cae principalmente dentro del espectro visible, en cambio a bajas temperaturas la radiación cae dentro del rango infrarrojo no visible. Es importante notar que aún a altas temperaturas más del 90% de la radiación térmica emitida es invisible para nosotros, empezando por la parte correspondiente al infrarrojo del espectro electromagnético.

Específicamente estaremos interesados en el rango de 2 a 15 micrómetros de longitudes de onda por dos razones: primera, la mayor parte de la energía emitida por un objeto a temperaturas terrestres es emitida dentro de esta banda espectral de longitudes de onda; segunda, existen ventanas atmosféricas transmisoras en esta banda que permiten la detección de señales sobre rangos de distancia comparativamente grandes.

En términos generales, la forma detallada del espectro de radiación térmica emitida por un cuerpo, depende de la composición del mismo. Sin embargo, experimentalmente se encuentra que solo hay una clase de cuerpos que emiten espectros de características universales; estos son los llamados cuerpos negros. Las propiedades universales de radiación emitida por esta clase de cuerpos los hacen objeto de un interés teórico especial.

La radiación térmica terrestre consiste en primer término de radiación auto emitida por las transiciones de niveles de energía cuántica rotacional y de vibración en las moléculas, y en segundo término de la reflexión de radiación proveniente de otras fuentes de calor.

Los radiadores térmicos son caracterizados por sus eficiencias de emisión de radiación usando tres categorías: cuerpos negros, cuerpos grises y radiadores selectivos. Cada una de estas categorías permitirá analizar a un cuerpo dentro de un cierto margen de exactitud con respecto a sus características reales, al mismo

tiempo que presentará diferentes grados de complejidad en el análisis del espectro de radiación.[14]

2.7.2 Transferencia de calor por radiación.

Es el mecanismo de traspaso de energía entre dos cuerpos con un distinto nivel de energía térmica y por ende de temperatura, situados a una cierta distancia entre sí, pudiendo existir o no un medio físico entre ellos (un sólido, fluido o incluso el vacío total), se realiza mediante el transporte de energía a través de la emisión y absorción de onda electromagnéticas. Por las características del transporte de la energía térmica mediante ondas, produce que este mecanismo adquiera importancia sólo cuando la diferencia de temperatura entre el cuerpo emisor y el cuerpo receptor sea muy alta, de modo que el cuerpo emisor irradie calor y por ende luz en diferentes espectros de onda.

Este proceso es fundamentalmente diferente a la conducción y convección, las sustancias que intercambian calor necesitan estar en contacto. Difiere de los métodos anteriores en varios aspectos:

- No necesita medio de transmisión, es mucho más eficiente en el vacío.
- Ocurre por emisión y absorción electromagnética.
- Ocurre a la velocidad de la luz 3*10 m/s 8.

[14] INCROPERA, F, Dewitt, D**.** fundamentos de transferencia de calor, Cuarta edición, Prentice hall, 1999.

2.7.3 Leyes de radiación de un cuerpo negro.

Las propiedades más generales de la radiación electromagnética, que interactúa con la materia, están sintetizadas en un conjunto simple de reglas llamadas leyes de radiación.

Estas leyes se aplican cuando el cuerpo que emite la radiación es lo que los físicos llaman cuerpo negro. Un cuerpo negro se define como un objeto que absorbe toda la radiación incidente en él a cualquier longitud de onda. Generalmente, las condiciones de cuerpo negro se aplican cuando el cuerpo radiante tiene una interacción muy débil con el medio ambiente que lo rodea y este puede considerarse en estado de equilibrio térmico.

2.7.4 Ley de Stefan Boltzmann.

La radiación que la superficie que se emite, se origina a partir de la energía térmica de la materia limitada por la superficie, y la velocidad a la que libera energía por unidad de área (W/m2) se denomina la *potencia emisiva* superficial *q*. Hay un límite superior para la potencia emisiva, que es establecida por la ley de Stefan-Boltzmann

$$q = \sigma T^4 \qquad (1)$$

La fórmula de Stefan Boltzmann, establece que la cantidad total de energía radiada por un Cuerpo negro es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta. Gráficamente representa el área bajo la curva de Planck para una temperatura determinada.

Donde:

T = Temperatura absoluta (K) de la superficie

σ = Constante de Stefan Boltzmann = $5.67*10^{-8}(w/m^2*k^4)$

Dicha superficie se llama radiador ideal o cuerpo negro:

El flujo de calor emitido por una superficie real es menor que el de un cuerpo negro a la misma temperatura y está dado por:

$$q = \varepsilon\sigma T^4 \qquad (2)$$

Donde:

ε = Propiedad radiactiva de la superficie denominada emisividad.

Con valores en el rango 0 ≤ε ≤1, esta propiedad proporciona una medida de la eficiencia con que una superficie emite energía en relación con un cuerpo negro. Esto depende marcadamente del material de la superficie y del acabado[15]

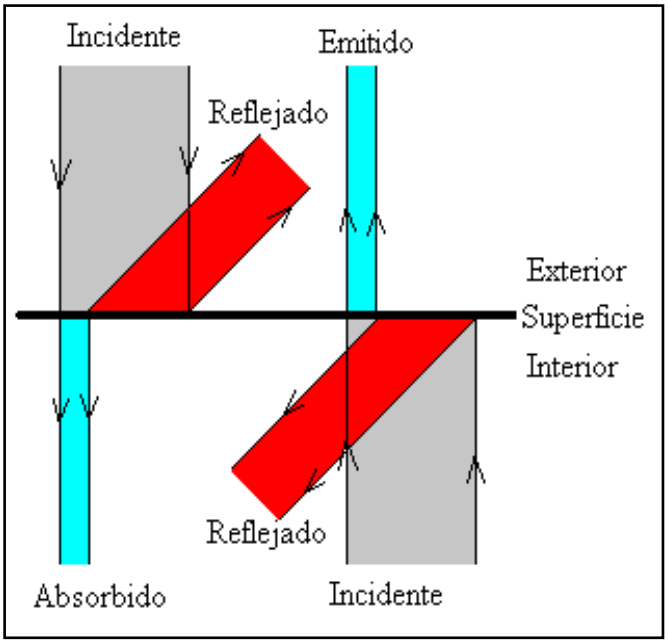
2.7.5 Desviaciones de las condiciones de un cuerpo negro.

Los cuerpos reales no son cuerpos negros, sólo bajo ciertas condiciones especiales se puede aproximar sus características a propiedades de un Cuerpo negro. Por tal motivo, en la mayoría de las mediciones de temperatura que se realicen a través de radiación térmica, se deben tener en cuenta estas desviaciones para obtener resultados correctos. Para ello se definirán algunos términos que tomen en cuenta estas condiciones.

[15] INCROPERA, F, Dewitt, D**.** fundamentos de transferencia de calor, Cuarta edición, Prentice hall, 1999.

Para un Cuerpo real (no negro) con su emisividad, la radiación incidente en una superficie puede ser absorbida, transmitida o reflejada, como se aprecia en la figura 4.

Figura 4. Distribución de la radiación térmica en un cuerpo real.



Fuente: www.sc.ehu.es mecánica cuántica.

Existen tres fenómenos que impiden a los cuerpos reales comportarse como Cuerpo negro, Estos son:

1. Una fracción de la radiación incidente puede ser absorbida α .
2. Una fracción de la radiación incidente puede ser reflejada τ .
3. Una fracción de la radiación incidente puede ser transmitida δ .

Para la conservación de la energía y para una misma longitud de onda (λ) la suma de los tres coeficientes es:

$$\alpha + \delta + \tau = 1 \qquad (3)$$

Para la mayoría de los sólidos, la transmitancia es cero y de este modo estos cuerpos son “opacos” δ = 0 a la radiación térmica o Infrarroja.

La ecuación (3) para un cuerpo opaco seria entonces:

$$\alpha + \tau + 1 \tag{4}$$

Para un absorbente ideal se tiene:

$$\alpha = 1 \tag{5}$$

Un absorbente ideal es denominado Cuerpo negro. Un Cuerpo negro, no refleja ni transmite radiación Infrarroja. Para trabajar con cuerpos reales en relación a un Cuerpo negro, es necesario agregar un factor, llamado emisividad espectral. La emisividad espectral se define como la razón o porcentaje de la energía radiante emitida de un objeto con respecto a un Cuerpo negro a la misma temperatura y longitud de onda. Matemáticamente queda expresado como:

$$\varepsilon_{(\lambda,T)} = \frac{q_{cuerporeal}(\lambda,T)}{q_{cuerponegro}(\lambda,T)} \tag{6}$$

Esta función no solo depende de la temperatura y la longitud de onda, sino también de la dirección de observación con respecto a la superficie. En forma general, la emisividad espectral varia con la longitud de onda, para los objetos sólidos, de manera poco significativa, pero de manera importante para las sustancias liquidas y gaseosas. Los materiales y los tratamientos de las superficies presentan emisividades que están comprendidas entre 0,1 y 0,95. Una superficie muy pulida (espejo) tiene una emisividad del rango de 0,1, mientras que

una superficie oxidada o pintada tiene una emisividad mucho más alta. Las pinturas, independientes de su color en el espectro visible tienen una emisividad superior a 0,9 en el espectro infrarrojo. La piel humana tiene una emisividad próxima a 1.

Para efectos de este estudio, clasificaremos los cuerpos, con relación a la emisividad en:

- Cuerpo negro o radiante Planck, para el cual $\varepsilon(\lambda) = \varepsilon = 1$.
- Cuerpo gris, para el cual $\varepsilon < 1$.
- Radiador selectivo, donde ε varía con la longitud de onda (λ); este es el caso más próximo a la realidad.

Si un objeto absorbe toda la radiación que incide en él, se le denomina Cuerpo negro. Si un objeto absorbe parte de la radiación que incide en él (en todas las longitudes de onda), entonces se denomina cuerpo Gris. Si un objeto absorbe porciones variables de la radiación que incide en él (en diferentes longitudes de onda), entonces se denomina radiador selectivo.

Kirchoff´s observó que a una temperatura dada, la razón entre la energía radiante (q´) y la absorción (α), es una constante para todos los materiales y que esta es igual a la energía radiante (q) de un Cuerpo negro a esta temperatura. La formula de la ley queda como:

$$q = \frac{q'}{a} \qquad (7)$$

Considerando la emisividad para un cuerpo emisor gris, la potencia emisiva total, de acuerdo a Stefan Boltzmann queda como:

$$q' = q * a \tag{8}$$

Considerando la emisividad para un cuerpo emisor gris, la potencia emisiva total, de acuerdo a Stefan Boltzmann queda como:

$$q' = \sigma T^4 \tag{9}$$

Relacionando con la ley de Kirchoff, se tiene:

$$\sigma T^4 = \sigma T^4 \tag{10}$$

Por lo tanto se tiene:

$$\varepsilon = \sigma \tag{11}$$

Entonces, la emisividad de algunos materiales a una temperatura dada y a una longitud de onda dada, es numéricamente igual a su coeficiente de absorción. Para un material opaco:
(δ = 0), se tiene:

$$\varepsilon + \tau = 1 \tag{12}$$

$$\alpha + \tau = 1 \tag{13}$$

$$\alpha - \tau = 1 \tag{14}$$

Esto quiere decir que un cuerpo no negro, emite proporcionalmente menor energía que un Cuerpo negro a la misma temperatura. Por lo tanto, la energía radiante

emitida total es proporcional al valor de la emisividad del material. En el anexo A se presenta una tabla de emisividades de distintos materiales.

En la práctica la casi totalidad de las superficies a inspeccionar en las inspecciones termográficas, son superficies que tienen una transmisión de energía (δ) nula (opacos).

Considerando las relaciones anteriores, la energía radiante que capta el equipo termográfico de un cuerpo opaco, es la sumatoria de la energía radiante emitida más la energía radiante reflejada.

$$q = q_{\varepsilon} + q_{r} \tag{15}$$

Donde:

q_{ε} = Energía emitida.

q_{r} = Energía reflejada.

Dentro de los factores que afectan la emisividad, tenemos:

- Rugosidad Superficial: Superficies rugosas o corroídas, son mejores radiadores.
- Tipo de material: Materiales no metálicos opacos, generalmente tienen mayor emisividad que materiales brillantes o lustrosos.
- Otros: Temperatura, longitud de onda.

2.7.6 Transmisión atmosférica.

La radiación térmica se atenúa cuando viaja a través de la atmósfera terrestre por los procesos de absorción y dispersión por moléculas de gas, lluvia, neblina, y suspensiones tales como humo y smog. Las siguientes moléculas, en orden de importancia, absorben radiación en las bandas espectrales del infrarrojo centradas en las longitudes de onda indicadas

- Agua 2.7, 3.2, 6.3 mm.
- Dióxido de Carbono 2.7, 4.3, 15 mm.
- Ozono 4.8, 9.6, 14.2 mm.
- Oxido Nítrico 4.7, 7.8 mm.
- Metano 3.2, 7.8 mm.

La absorción molecular es la fuente de extinción más grande excepto en suspensiones densas, y el vapor de agua, dióxido de carbono y ozono son los compuestos químicos que más absorben la radiación Infrarroja.

Al realizar mediciones es importante tomar en consideración el medio a través del cual se propagan las ondas electromagnéticas para obtener resultados satisfactorios. a distancias no mayores a unos centenares de metros, entre objeto y sensor, no existe absorción atmosférica significativa de la radiación térmica en las ventanas transmisoras del infrarrojo.

Para distancias mayores a 1 Km. existen ecuaciones que permiten cuantificar la atenuación de la atmósfera sobre la radiación térmica emitida por un cuerpo[16].

[16] REYNA O, Alberto F. termografía nivel I. Ademinsa Colombia S.AS.

2.7.7 Áreas de aplicación de la termografía infrarroja

La Termografía tiene un sin número de aplicaciones y por lo tanto es muy difícil mencionar y describir a cada una de ellas[17]. Los sistemas de imágenes Infrarrojas pueden detectar los incrementos de temperatura, por lo cual éstos pueden ser aplicados a una amplia variedad de áreas.

Debido a que la Termografía no implica ningún contacto entre el cuerpo bajo observación y el equipo de prueba, ésta puede ser utilizada durante operación normal del cuerpo o sistema. En términos generales, los equipos a inspeccionar son:

Equipos eléctricos.

- Líneas de transmisión y distribución.
- Subestaciones y centro de control de motores (CCM).
- Bandejas y tendidos de cables.
- Estaciones generadoras.
- Cubículos de control.
- Equipos refractarios e inversores.
- Transformadores.

Equipos mecánicos y electromecánicos.

- Rodamientos.
- Correas transportadoras y de transmisión.
- Líneas de vapor y trampas (aéreas y subterráneas).
- Válvulas.

[17] AGEMA. (Infrarred systems) Suecia 1991. “medición de temperatura y equipos de medida

- Aislamiento de calderas y equipos de proceso.
- Refractarios.
- Intercambiadores de calor.
- Hornos rotatorios (cal, cemento, otros).
- Acoplamientos, alineamiento.

Edificios y estructuras.

- Techos.
- Aislación de edificios.
- Estanques de almacenamiento.

2.8 LA TEMPERATURA COMO MEDIDA

La temperatura es el principal parámetro observable que puede indicar la condición de funcionamiento del equipo. El calor es un subproducto del trabajo realizado por un sistema, mecánico, eléctrico o Térmico.

LA temperatura puede ser expresada ya sea en términos absolutos o relativos .existes dos escalas absolutas, la Rankin (sistema ingles) y la Kelvin (sistema métrico); pero poco a poco se está unificando ambas al sistema métrico. Así mismo, hay dos correspondientes escalas relativas, la Fahrenheit (sistema ingles) y la escala Celsius o Centígrada (sistema métrico) el cero absoluto es la temperatura a la cual, ningún movimiento molecular tiene lugar. Esto se expresa como cero grado Kelvin o cero grado Rankine. La temperatura relativa esta expresada en grados Celsius o grados Fahrenheit (°C ó °F). [18]

[18] REYNA O, Alberto F. termografía nivel I. Ademinsa Colombia S.AS.

2.9 CAMARA TERMOGRAFICAS

Son equipos sofisticados que miden la emisión natural de radiación infrarroja procedente de un objeto y generan una imagen térmica.

Las cámaras de termografía modernas son portátiles y de fácil manejo. Al no necesitar contacto físico con el sistema, las inspecciones pueden realizarse a pleno funcionamiento sin pérdida o reducción de productividad.

Encontrar un problema con una cámara infrarroja puede no ser suficiente en muchas ocasiones. De hecho, una imagen infrarroja por si sola, sin medida precisa de temperatura, dice muy poco del estado de una conexión eléctrica o de un componente mecánico desgastado.

Muchos elementos eléctricos tienen una temperatura de trabajo habitual significativamente superior a la temperatura ambiente.

Una importante ventaja que tienen estos sistemas, es la velocidad de respuesta sobre los termómetros de contacto. La energía medida viaja desde el cuerpo o superficie a sensar al sensor a la velocidad de la luz. La respuesta de estos instrumentos es del orden de los milisegundos o microsegundos. La imagen producida es presentada en la pantalla de la cámara como una imagen en colores, donde cada color representar un nivel térmico en la superficie.

Hoy en día, las cámaras termográficas cuentan con herramientas de análisis avanzado como: selección de rangos, paletas, aplicación de perfiles térmicos, almacenamientos de imágenes, almacenamiento de voz, etc.

2.9.1 Clasificación de las cámaras

Usualmente las cámaras termográficas se clasifican en[19]:

a. Cámaras infrarrojas con detectores criogenizados: Los detectores están contenidos en un estuche sellado al vacío y enfriado muchos grados bajo cero Celsius por un voluminoso y costoso equipo criogénico. Esto aumenta enormemente su sensibilidad con respecto a los detectores al ambiente, debido a su gran diferencia de temperatura con respecto al cuerpo emisor detectado. Si el detector no fuera enfriado criogénicamente, la temperatura ambiental del detector interferiría las lecturas de temperatura recibidas por el detector. Las desventajas de los detectores criogenizados son:

   - Su alto consumo de energía para enfriar.
   - El alto costo para fabricar y sellar al vacío los estuches.
   - Varios minutos para enfriar el sensor del detector a la temperatura óptima de operación.

b. Cámaras infrarrojas con detectores al ambiente: Estos operan a la temperatura ambiental.

   Los más modernos usan sensores que funcionan cambiando las propiedades eléctricas del material del cuerpo emisor. Estos cambios (de corriente, voltaje o resistencia) son medidos y comparados a los valores de temperatura de operación del sensor. Los sensores pueden estabilizarse a una temperatura de operación, por arriba de los cero Celsius, para reducir las interferencias de percepción de imagen, y es por eso que no requiere equipos de enfriamiento. Las ventajas de estos detectores son:

   - Su menor costo con respecto a los criogenizados.

[19] www.wikipedia.org

- Menor tamaño.
- Pero sus desventajas:
- Mucho menos sensibilidad y menos resolución que los criogenizados.

c. Cámaras infrarrojas activas: Emiten radiación infrarroja con un reflector integrado a la cámara o ubicado en otro sitio. El haz infrarrojo alumbra el cuerpo detectado; y el alumbramiento es emitido por el cuerpo para ser percibido por la cámara e interpretado en una imagen monocromática.

   El reflector tiene un filtro para prevenir que la cámara sea interferida por la observación de la luz visible. Si el reflector tiene mayor alcance mayor será el tamaño y el peso de su filtro y, mayor será el tamaño de la batería por que aumenta su consumo de energía. Por eso la mayoría de las cámaras activas portátiles tienen un reflector con alcance de 100 metros, pero algunos fabricantes exageran el alcance de las cámaras a varios cientos de metros.

d. Cámaras infrarrojas pasivas: Carecen de reflectores, y perciben la radiación infrarroja tal cual emitida por un cuerpo.

   No enfocan cuerpos a la misma temperatura del detector, por eso se enfrían criogénicamente a temperaturas de -200 °C. Algunas de estas cámaras pueden tener sensibilidad a temperaturas de 0,01 °C. Estas cámaras se usan rastrear gente en áreas donde es difícil verlos (tinieblas, humo o niebla), encontrar rastros recientes de alguien que ha dejado un lugar, seguir un coche en particular, ver rastros de humedad en ciertas superficies.

3. ACTIVIDADES RALIZADAS PARA LA IMPLEMENTACION.

3.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS

La selección de los equipos a incluir en el plan de mantenimiento predictivo mediante la técnica de la termografía se realizo en base a:

- Índices de mantención confiabilidad y disponibilidad, así se determino incluir los equipos que hacen parte de la producción, estos se clasificaron como; tableros eléctricos, motores eléctricos, rodamientos y sistemas de vapor, que en este caso corresponde al área de embotellado.
- Equipos en los que se pueden inspeccionar y detectar alguna falla por aumento de la temperatura o por una distribución anormal de ésta.
- Equipos y componentes que no se encontraban monitoreados desde la sala de control y que por lo tanto sus índices de temperatura eran desconocidos por el técnico.

Después de tener definidos los tópicos anteriores y todos los factores necesarios para evaluar, se determinaron y clasificaron 185 equipos a incluir en el plan de mantenimiento predictivo, los equipos seleccionados se encuentran distribuidos en los siguientes procesos del área de envase:

Depaletizadora:

- Motorreductor horizontal
- Depaletizadora: motorreductor vertical

Tren de trasporte:

- Motorreductor

Desempacadora:

- Motor principal

Lavadora de cajas:

- Motor bomba zona de alta presión
- Motor Zona baja presión
- Motor trasporte

Lavadora de botellas 3 y 4:

- Motor principal
- Reductor transmisión
- Motor extractor
- Motor ventilador
- Motor mallas
- Bomba de enjuague

Inspector de botellas vacías:

- Motor rueda estrella
- Motor rechazo
- Motor extractor

Llenadora de botellas 3 y 4:

- Motor principal
- Motor bomba de vacio

Pasteurizadora:

- Motor bomba centrifuga de agua – soda
- Motor bomba sistema hidráulico

Etiquetadora 3 y 4:

- Motor principal
- Bomba de aceite

Empacadora:

- Motor principal

Paletizadora:

- Servo motorreductor horizontal
- Servomotor vertical

Tableros eléctricos

- Breaker principal
- Conector de potencia
- Plc
- Fuentes de alimentación
- Transformador de control
- Contactores
- Interfaces
- Borneras
- Arrancadores suaves
- Relés de control
- Variador de velocidad

Sistemas de vapor

- Válvula globo
- Válvula control de presión
- Trampas de vapor

3.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS RECURSOS DISPONIBLES

Antes de diseñar la ruta y el cronograma del recorrido de las subestaciones es preciso identificar y definir los recursos con los que se cuenta para implementar y ejecutar el programa de mantenimiento, a saber: el personal, los equipos, el *software* y el tiempo disponible para la ejecución del programa. Con esta actividad se concreta la fase de diseño del programa de mantenimiento.

Recurso humano

Actualmente se cuenta con termógrafos capacitados y certificación en termografía nivel I, avalados por un especialista de nivel III en **Termografía** de la ASNT (American Society for Nondestructive Testing), ellos están dedicados exclusivamente a la ejecución del programa de mantenimiento y se ha destinado a dos técnicos especialistas del área eléctrica a realizan las actividades de inspecciones termográficas.

Equipos

Dentro del equipo de instrumentación del área de mantenimiento se cuenta con dos cámaras termográficas necesarias para la toma de datos y que se componen de las siguientes especificaciones técnicas:

CAMARA FLIR T 620

Fuente: www.flir.com

Formato de imagen: JPEG
Resolución: 640x480 pixeles
Precisión: ±2 °c o 2% de lectura
Medición e intervalos de temperatura: (-40 °c a +150 °c),
(+100 °c a 650 °c) y opcional; (+ 300 °c a 2000 °c).
Corrección de medición: emisividad, temperatura reflejada, transmisión de óptica y transmisión atmosférica.

CAMARA FLUKE TI 25

Fuente: www.fluke.com

Formato de imagen: JPGE, BMP, GIF
Resolución: 640x480 pixeles
Precisión: ±2 °c o 2% de lectura:
Medición e intervalos de temperatura: -20 °c a +350 °c
Corrección de medición: emisividad.

Tiempo

El tiempo para la ejecución e iniciación del programa, así como los intervalos de tiempo y frecuencias de inspección de los equipos se estipulo con el ingeniero planificador de mantenimiento y se reviso con el ingeniero especialista en gestión de activos.

3.3 RUTA Y CRONOGRAMA DE INSPECCIÓN

Una vez Realizada la etapa de diseño del plan, la segunda etapa es la implementación. En esta etapa se definieron tres aspectos importantes:

- Ruta de termografía
- Programa de entrenamiento e instrucción para el personal
- Sistema de manejo de la información

Hoja de ruta

En esta ruta se define la frecuencia con la que se van hacer las inspecciones y el cronograma general para realizar el recorrido. Basados en los siguientes criterios se diseño la ruta de termografía:

Desarrollo:

a) Preparación de elementos de inspección:

- Equipo de medición Termográfica
- Medidor digital de temperatura y humedad ambiente.
- Casco y gafas de seguridad

b) Inspección visual y mecánica:

- Retirar todo tipo de cubiertas necesarias antes de realizar la inspección.
- Inspeccionar la condición física, eléctrica y mecánica.
- Inspeccionar visualmente el alineamiento.
- Inspeccionar visualmente corrosión y fugas de aceites

c) Equipos que se inspeccionaran:

- Todos los equipos incluidos en éste plan de mantenimiento predictivo según la orden de trabajo generada por el software de la empresa.

d) Inspección de parámetros de funcionamiento:

- Temperatura admisible de equipos y sus componentes haciendo comparaciones según criterios de valoración cuantitativos y cualitativos.
- Verificación por medio de la cámara la existencias de puntos sobrecalentados debido a posibles fallas de funcionamiento y deterioros.

e) Análisis de condición

- Posibles fallas a detectar
- Hacer un diagnostico y pronostico de fallas
- Establecer prioridades de atención según el tipo de anomalía de la falla.

f) Corrección de fallas

- En esta etapa es de suma importancia establecer la causa de la condición de falla y corregirla.

3.4 SISTEMA DE INFORMACIÓN

Dentro de la implementación del programa de mantenimiento predictivo fue fundamental crear un sistema de información que facilito un desempeño óptimo de las actividades.

Para este sistema se definieron aspectos fundamentales como:

- Datos técnicos de los todos los equipos a inspeccionar
- Temperaturas máximas de operación de todos los equipos según el fabricante.
- Formato de informe para el análisis y presentación de datos
- Un estudio de fallas posibles a detectar.
- Frecuencias de inspección asociado a su modo de falla a detectar con la termografía.

3.5 DATOS TÉCNICOS

Dentro del sistema de la fijación y revisión de datos es de gran importancia la hoja de vida de los equipos y componentes debido a que tenemos una información más organizada para poder hacer un buen seguimiento de estos.

Los datos técnicos que se elaboraron para todos los equipos y se resumen de la siguiente forma:

- **Motorreductores de tren de trasporte:** se tiene una cantidad total 129 motorreductores, distribuidos en la línea de transporte de envase, de los cuales se clasificaron 9 modelos según la nomenclatura del fabricante SEW EURODRIVER:

La Clasificación de los modelos se hizo con el levantamiento de la información, estos son:

- SA67DT90SA
- SA57DT90SA
- SA77DT90SA
- SA67DT80N4
- SA47DT80N4
- SA77DT90L4
- SA77DV100LS4
- SA57DT80N4
- SA67DT90L4

El siguiente formato es un modelo de los datos técnicos que se tabularon para cada uno de los modelos que además aplica para otros equipos localizados en los procesos de desempacado, lavado de botellas y depaletizado.

Tabla 2. Modelo hoja de vida para motorreductores.

SISTEMA DE TRANSPORTE: MOTORREDUCTOR SA67DT90S4

Empresa:	**BAVARIA BUCARAMANGA**		
Área:	**LINEA 2**		
Reductor:			Código:
Marca:			**SEW EURODRIVE**
Referencia:			**SA67**
Número de serie:			**561318485.4.19**
Potencia:			**1.1 KW/1,47 Hp**
Relación:			**65.63/1**
Revoluciones E/S			**1650/25 RPM**
Torque:			**480 Nm**
Factor de servicio:			**1.4**
Posición de Montaje:			**M1**
Lubricación:			**ISO VG 680**
Volumen Aceite:			**1.00 Ltrs**
Motor:			CODIGO.
Marca:			**SEW EURODRIVE**
Referencia:			**DT90S4**
Revoluciones(rpm):			**1650 RPM**
Potencia:			**1.1 KW/1,47 Hp**
Tensión (V):			**220/440 V**
Corriente (Amp):			**4.8/2.4 A**
Aislamiento:			**F**
Protección:			**IP-55**
Factor de Potencia:			**0.77**
FRECUENCIA:			**60 HZ**

Fuente: el autor.

- **Motores eléctricos:** para los motores eléctricos se tiene un total de la cantidad de 55, de los cuales se sub clasificaron en motores con electro freno, bombas centrifugas, ventiladores y servomotores. Estos motores se encuentran distribuidos en los diferentes procesos del área de envase. A continuación una hoja de vida para una bomba de baja presión.

Tabla 3. Modelo hoja de vida para motores eléctricos.

PASTEURIZADORA: BOMBA CENTRIFUGA AGUA + SODA	
Empresa:	**BAVARIA BUCARAMANGA**
Área:	**LINEA 2**
Motor:	CODIGO.
Marca:	**KSB**
Referencia:	**ETABLOC GNF 125-200/556 G7**
Revoluciones(rpm):	**1160 RPM**
Potencia:	**6.33 KW/ 8.6 HP**
Tensión (V):	**220/440**
Corriente (Amp):	**12 AMP**
Caudal:	**200 m3/h**
FRECUENCIA:	**60 HZ**

Fuente: el autor.

- **Tableros eléctricos:** son armarios que se compone de equipos de control eléctrico y de potencia, estos elementos son importantes para la protección y seguridad del los equipo, el sistema y proceso general. Existen 14 tableros de control y potencia que administran cada proceso.

  Los tableros se componen de 9 dispositivos anteriormente mencionados. A continuación una hoja de vida para un contactor:

Tabla 4. Modelo hoja de vida para dispositivos de tableros eléctricos.

TABLEROS ELÉCTRICOS: CONTACTORES TEMECANIQUE					
Empresa:	BAVARIA BUCARAMNAGA				
Área:	**LINEA 2**				
Marca:			**TELEMECANIQUE TESYS**		
Referencia:			**LC1-D258**		
Corriente asignada de empleo:			**25 A**	En AC-3, 60 °C	
Corriente asignada de empleo:			**40 A**	En AC-3, 60 °C	
Numero de Polos			**4**		
Tensión nominal de empleo:			**11 KW en AC-3**		
Potencia asignada de empleo:			**315/ 440 V**		
Limites de frecuencia:			**(25 - 400) HZ**		

Fuente: el autor.

- **Sistema de vapor:** para los sistemas de vapor solo se hizo referencia a tuberías y válvulas del sistema de transporte de vapor. Ya que el vapor se utiliza en el quipo de pasteurizado y el lavado de botellas.

A continuación la hoja de vida de una válvula de control:

Tabla 5. Modelo hoja de vida para sistemas de vapor.

SISTEMAS DE VAPOR: VÁLVULA CONTROL DE PRESIÓN	
Empresa:	BAVARIA BUCARAMNAGA
Área:	LINEA 2
Marca:	SAMSON
Referencia:	SERIE 250
Tipo:	VALVULA DE PASO RECTO 3251 - 1
Tipo de accionamiento por :	POSICIONADOR DE SEÑAL TIPO 3730 - 2
Material	ACERO AL CARBONO DIN WN 1.0619
Normas de fabricación:	BS1738, ANSI nB16.34 y API 600
Presión max:	144 BAR a 400 °C
Normas de fabricación:	ANSI, ASME Y ASTM

Fuente: el autor.

3.6 TEMPERATURAS MAXIMAS DE OPERACIÓN.

Los parámetros de temperatura para los equipos se basaron según las especificaciones del fabricante, esta caracterización técnica tiene por objeto dar un límite de temperatura que pueden alcanzar los equipos en funcionamiento ya que es de gran importancia al momento de la inspección.

En los motores eléctricos las temperaturas máximas que pueden alcanzar esta dada por el fabricante según los tipos de materiales y aislamientos, en los motorreductores su temperatura que puede alcanzar esta en función de la clase de aceite lubricante necesario para evitar la fricción de los engranajes, para los dispositivos electrónicos su temperatura es variable según el tipo de dispositivo, la

noma NETA (Asociación Internacional de Pruebas Eléctricas) nos da unos criterios para valorarlos.

Las válvulas de los sistemas de vapor alcanzan temperaturas elevadas y los fabricantes especifican la temperatura basándose en los materiales de que se componen.

En el anexo B se muestran la clasificación de los equipos con su respectiva temperatura según las especificación del catalogo del fabricante.

3.7 FORMATO DE INFORME PARA EL ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE DATOS

Para generar los reportes de los análisis termográficos, se diseñó una plantilla en Microsoft Office; Excel, atendiendo a las recomendaciones de los ingenieros de la planta y de la norma ISO en termografía 18434 - 1: 2008 supervisión de la condición y diagnostico de maquinas.

En la siguiente figura se muestra el modelo de la planilla de informe creado para el análisis termográfico.

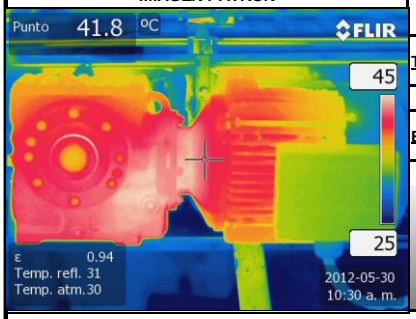
Figura 5. Planilla para informe de los reportes

BAVARIA S.A.

ANÁLISIS TERMOGRÁFICO

NOMBRE DEL EQUIPO: Motorreductor línea de transporte 2

IMAGEN PATRON



REPORTE Nº: 1	**FECHA : 30-05-2012**

TEMPERATURA MAX ADMISIBLE : 40 (°C)

EMISIVIDAD : 0.94

FLIR T620

CODIGO DE UBICACIÓN DEL COMPONENTE :001

IMAGEN VISIBLE

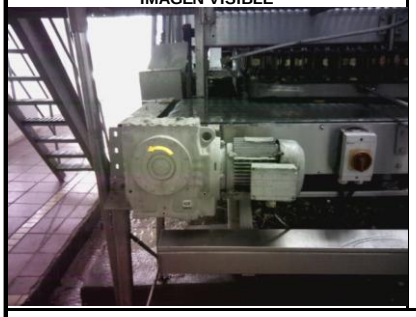
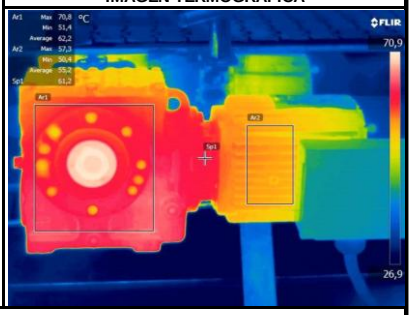


IMAGEN TERMOGRÁFICA



Temperatura en grados centigados (°C).

TEMPERATURA AMBIENTE:	30	**DESCRIPCIÓN DE LA IMAGEN**
TEMPERATURA REFLEJADA:	31	Se observa un sobrecalentamiento en la caja reductora de un delta de temperatura de 30.9 (°C).
TEMPERATURA MAX ADMISIBLE:	40	**CAUSA PROBABLE**
TEMPERATURA PUNTO CALIENTE:	70.9	Mala lubricacíon y/o fugas de aceite, daños en sellos.
DIFERENCIA DE TEMPERATURAS:	**30.9**	**PRIORIDAD** A

RECOMENDACIONES

Se recomienda suspender el funcionamiento del motorreductor inmediatamente y revisar la caja reductora con el especialista en lubricacíon, revisar posibles daños generados por el sobrecalentamiento (desgaste en dientes). Revisar ajustes en el motor.

PREPARADO POR: OSCAR BAEZ (asistenete tecnico del area de envase.)

COMENTARIOS:

PRIORIDAD A : ANOMALÍA GRAVE QUE REQUIERE ATENCIÓ INMEDIATA.

PRIORIDAD B : ANOMALÍA SERIA QUE NECESITA ATENCIÓN TAN PRONTO COMO SEA POSIBLE.

PRIORIDAD C: ANOMALÍA QUE REQUIERE MONITOREO Y COMPROBACIÓN , SE REPARA CUANDO SEA CONVENIENTE.

Fuente: el autor – datos tomados de un equipo de la planta.

La planilla se comprende de partes importantes para su generación, estas son:

1. Título del reporte, nombre del equipo, numero de reporte, fecha de creación,
2. Imagen patrón que contiene una imagen termográfica la cual nos da una idea general del comportamiento en estado normal de funcionamiento,
3. Imagen visual. Es una fotografía tomada con la función de imágenes visuales de la cámara termográfica.
4. Imagen termográfica la cual nos permite hacer una observación y un análisis cuantitativo y cualitativo para el análisis de la falla.
5. Herramientas de análisis. En el análisis se han incluido la emisividad y datos de temperaturas como: ambiente, reflejada, admisible, de punto caliente y un delta de temperatura que es la diferencia entre la máxima admisible y la de punto caliente.
6. Descripción de de la imagen termográfica. En esta parte se hacen los comentarios relacionados con la falla encontrada y en lo posible se especifica la ubicación exacta de ésta.
7. Causas probables de sobrecalentamientos: el termógrafo diagnostica las causas posibles asociándola a su modo de falla.
8. Prioridades que dentro los criterios de valoración se debe especificar en la gravedad de la anomalía, estos se clasifican en :

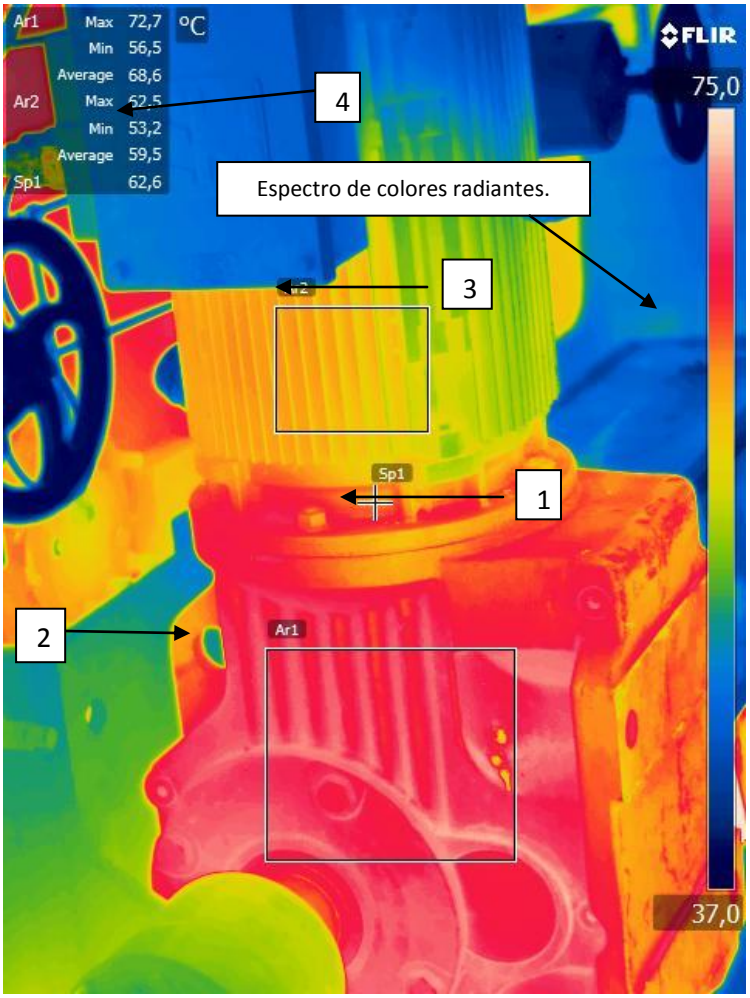
   Prioridad A: anomalía grave que requiere atención inmediata.

   Prioridad B: anomalía seria que requiere atención tan pronto como sea posible

   Prioridad C: Anomalía que requiere monitoreo y comprobación, repara cuando sea conveniente.
9. Recomendaciones. El termógrafo evalúa la criticidad de la falla y hace las recomendaciones técnicas necesarias para el mantenimiento correctivo basándose en los criterios y las normas.

PATRONES TERMOGRAFICOS

Figura 6. Imagen de un patrón termográfico de un motor de trasmisión.



Fuente: el autor

Se tomaron los patrones de comportamientos térmico infrarrojo para los equipos que son modelo para todos los demás equipos similares, estos modelos se escogieron basándose en que existe otros equipo que funcionan en las mismas condiciones, pero que además cumple con los mismos datos técnicos de de fabrica. Lo patrones se hicieron bajo condiciones de carga máxima y verificando que su temperatura cumpla con los límites admisibles del fabricante. Ver anexo B.

El software de la cámara nos permite hacer unos encuadres que hacen parte del interés del termografista los cuales se enumeran:

1) Sp1 es el punto de temperatura ajustado por la cámara
2) Ar 1 es un encuadre de la superficie en esa región; en este caso la del motor para localizar las temperaturas máxima, mínima y un promedio.
3) Ar 2 es un encuadre de la superficie en esa región; en este caso la caja reductora de velocidad para localizar las temperaturas máxima, mínima y un promedio.
4) En la parte superior izquierda nos muestra todos los valores que están censados en los encuadres, además podemos diferenciar los el espectro de colores radiantes con la franja derecha vertical.

3.8 FALLAS POSIBLES A DETECTAR MEDIANTE LA TERMOGRAFÍA

A continuación se describen algunas de las aplicaciones más comunes de la termografía en plantas industriales.

3.8.1 Inspecciones Termográficas en instalaciones eléctricas.

Las aplicaciones eléctricas, representan la primera y principal aplicación de la termografía infrarroja, los componentes eléctricos de alta y baja tensión son candidatos naturales para el uso de esta técnica.

La gran mayoría de las fallas en sistemas eléctricos tienen relación con el incremento de la resistencia eléctrica, producto de malas conexiones, sobrecargas, cortocircuitos, etc.

Gracias a la termografía infrarroja, los riesgos de golpes eléctricos se reducen al mínimo, puesto que no es necesario el contacto para realizar una medición de temperatura. Su principal función es encontrar puntos calientes o fríos que representen una anormalidad.

Para la termografía toda superficie en que la temperatura supere o esté por debajo de la normal de operación, es denominada excepción. Generalmente se asocia una excepción a un alza de temperatura.

Dentro de las causas más comunes en las que se producen incrementos de la temperatura en sistemas eléctricos, están:

- alta resistencia eléctrica,
- corto circuitos,
- corrientes inductivas y tierras energizadas.
- Es posible encontrar también temperaturas inferiores a las normales de operación, con esto es posible determinar: circuitos abiertos, componentes inoperativos, etc.

En las instalaciones eléctricas, la detección de un componente defectuoso se basa principalmente en la elevación anormal de su temperatura, en función del aumento de resistencia óhmica debido a la oxidación, corrosión o falta de contacto. En los inicios el problema se manifiesta con una pequeña alza de temperatura, la cual con el paso del tiempo o con un incremento en la carga circulante, alcanza niveles de temperatura que pueden reflejarse en un acelerado envejecimiento del componente.

Cuando se alcanzan niveles de temperaturas demasiado altos, con respecto a los niveles de temperatura normales, es muy probable que se produzca un daño irreversible al componente y al sistema completo, incluso no es exagerado pensar

en un daño catastrófico (incendio, explosiones, etc.). A esto se debe sumar que existe una valiosa pérdida de producción.

El aumento de la resistencia produce por efecto Joule el calentamiento de los componentes, de esta forma, los componente defectuoso aparecen en la imagen térmica como un punto caliente comparado con el ambiente o bien componentes similares en buen estado.

La potencia disipada por un componente de acuerdo a la ley de Joule es:

$$P = IR^2$$

Donde:

P = potencia disipada

I = intensidad de corriente que recircula

R = resistencia eléctrica

La ley de Joule establece que la potencia disipada en un elemento, es igual al cuadrado de la corriente multiplicado por la resistencia. Considerando la corriente relativamente constante, es la resistencia la que influirá directamente en un cambio en la potencia disipada. En las instalaciones eléctricas el aumento de la resistencia de debe generalmente a:

- Conexiones sueltas
- Conexiones sucias
- Conexiones corroídas y/o sulfatadas
- Mal contacto en la conexión
- Adelgazamiento del conductor (corte de hebras en cables)

En otras ocasiones el aumento en la potencia disipada se produce por un aumento en la corriente circulante a causa de:

- Sobrecargas
- Desequilibrio de fases
- Cortocircuitos

Un punto caliente detectado por un termograma en un componente eléctrico, puede ser ocasionado por una o más de las siguientes razones: [20]

a) Reflexiones.
b) absorción de la luz solar.
c) Carga.
d) Variaciones de emisividad.
e) Calor inductivo por corrientes parasitas.

a) Reflexiones: Algunos componentes tienen superficies metálicas brillantes con buena capacidad de reflexión. Especialmente en días despejados ocurren reflexiones solares, las cuales también pueden ser causadas por objetos adyacentes que reflejan en las superficies brillantes. Por lo que se recomienda llevar a cabo las inspecciones con el sol entrando o en la noche.

b) Absorción de la luz solar: Una superficie con un alto factor de emisividad, reacciona en forma muy diferente a la radiación solar. Además de aparecer, algunas reflexiones solares, la superficie también será calentada por el sol.

c) Carga: En los sistemas trifásicos, es difícil comparar las tres fases unas con otras, por ejemplo cables, interruptores, etc. Una carga nivelada por fase puede resultar en una muestra uniforme de temperatura para las tres fases. Puede sospecharse una falla si la temperatura de una de las fases difiere considerablemente de las otras dos restantes.

[20] AGEMA. (Infrarred systems) Suecia 1991. “medición de temperatura y equipos de medida”.

d) Variaciones de emisividad: Donde las superficies de un conductor de carga que tiene diferentes emisividades, el termograma se verá como si dicho conductor tuviera sobrecalentamientos en varios puntos. Pero como una baja emisividad significa alta reflectividad, puede ser un objeto caliente.

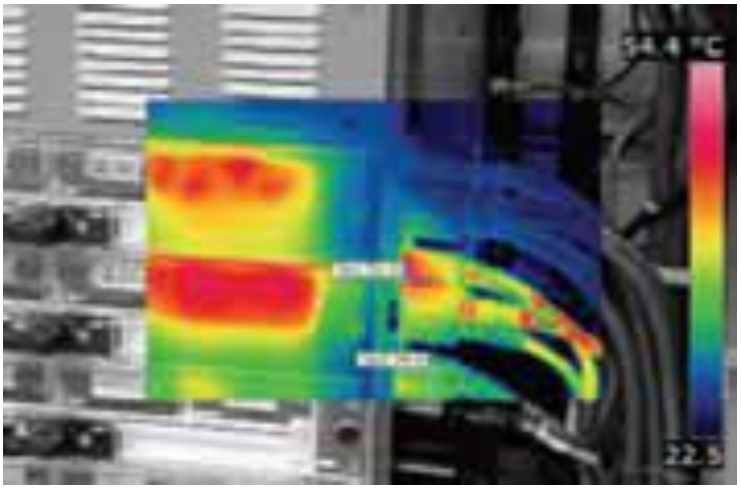
e) Aumento de la resistencia: Los sobrecalentamientos no ocasionados por alguna de las razones mencionadas anteriormente, pueden tener varios orígenes. Los más comunes se describen a continuación:

- Baja presión de contacto: puede ocurrir cuando se monta una junta, o por causa de deterioro del material, por ejemplo disminución de resortes, deterioro en los filetes de pernos y tuercas, excesivamente apretados durante el montaje. Con el incremento de la carga y la temperatura, se excede el límite elástico del material y la tensión disminuye.
- Oxidación de las superficies de contacto: consiste en un aumento progresivo de la resistencia, la cual puede incluso estar presente desde la etapa misma del montaje.
- Los nuevos materiales conductivos usados en las instalaciones eléctricas, tales como el aluminio, son usualmente afectados por corrosión galvánica que también provoca un aumento de la resistencia. La corrosión galvánica es causada por la humedad y el oxigeno, afectando las superficies de contacto. Los materiales no inertes son corroídos con decrecimiento de la presión de contacto como consecuencia. La corrosión galvánica es común en juntas de conductores de cobre y aluminio.
- Otra causa del incremento de la resistencia pueden ser la falla de material o construcción impropia de juntas.

A continuación un ejemplo de una aplicación: Además de conexiones sueltas, los sistemas eléctricos sufren desequilibrios de carga, corrosión y aumentos de impedancia de corriente. Las inspecciones térmicas permiten localizar

rápidamente puntos calientes, determinar la gravedad del problema y calcular el tiempo en el que se debe reparar el equipo.

Figura 7. La imagen de fusión térmica muestra un conector recalentado



Fuente: www.flir.com

3.8.2 Inspección termográfica de equipos mecánicos y electromecánicos.

Los problemas más comunes en equipos mecánicos y electromecánicos, están relacionados a problemas eléctricos ya descritos, fricción entre superficies, sobre esfuerzos, problemas de aislación, defectos de montajes y otros menos comunes.[21]

Con la termografía Podemos localizar elementos con mala lubricación, calentamiento en cojinetes, detección de problemas de fricción, desalineamiento, calentamiento de escobillas, daños en de bobinados, rotores, etc.
A continuación se detallan los más frecuentes:

- Flujo de aire insuficiente puede detener el motor durante un corto período de tiempo sin afectar al funcionamiento general de la planta, detenga el motor el tiempo que sea necesario para limpiar las parrillas de admisión de aire y

[21] www.fluke.com

planifique una limpieza más profunda en el motor para la próxima parada de la planta que tenga prevista.

- Desequilibrio de tensión o sobrecarga Suele ser la causa más habitual de sobrecalentamiento. Una conexión defectuosa en un conmutador, en una de las protecciones o la caja de conexiones del motor, pueden localizarse a través de una cámara termográfica y confirmarse utilizando un multímetro, una pinza amperimétrica o un analizador de calidad eléctrica.

- Falla inminente de un rodamiento Cuando las imágenes térmicas le muestran un rodamiento sobrecalentado, elabore una orden de mantenimiento para sustituir o lubricar el alojamiento. En el caso de que se trate de una reparación costosa o que requiera la mano de obra de un especialista, puede ayudarse de un análisis de vibraciones para determinar la acción más adecuada para este problema.

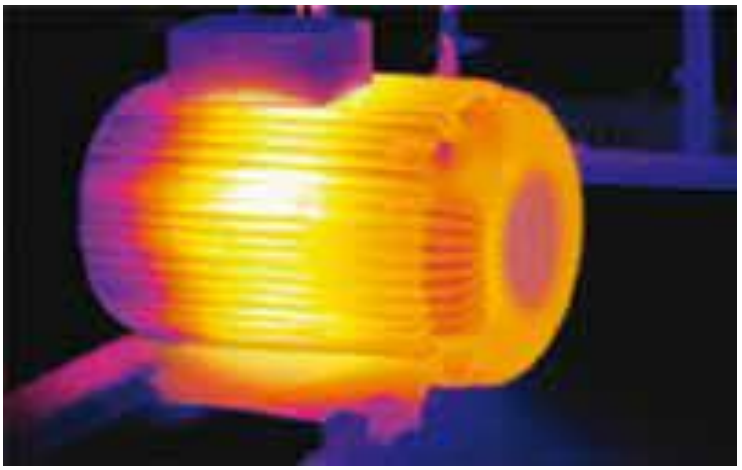
- Mala alineación del eje En la mayoría de los casos, los análisis de vibraciones le confirmarán si el problema radica en una mala alineación del acoplamiento del eje. Si se puede detener el motor, puede utilizar los dispositivos de alineación por láser para corregir esta alineación errónea. Cuando localice un problema de este tipo mediante una cámara termográfica, utilice el software para crear un informe con los resultados obtenidos, en el que se incluyan una imagen térmica y otra digital del equipo. Es la mejor forma de reportar los problemas que haya encontrado y de informar de las reparaciones que se deben realizar.

- Fallo del aislamiento. El bobinado de un motor puede comprobarse utilizando un comprobador de aislamiento. Si se encuentran fallos en el aislamiento, elabore una orden de trabajo para que el motor se sustituya a la mayor brevedad posible.

A continuación un ejemplo de una aplicación: Cuando los componentes mecánicos se desgastan y pierden eficiencia suelen disipar más calor. Como resultado, los equipos o sistemas defectuosos aumentan rápidamente su temperatura antes de averiarse.

Ejemplo:

Figura 8. Motor: problema de bobinado interno.



Fuente: www.flir.com

3.8.3 Inspección termográfica en cajas reductoras de velocidad.

En las cajas reductoras se genera calor por el roce propio del contacto que se produce entre los dientes de los engranajes por el rozamiento que se produce en los rodamientos que soportan cada eje y por la agitación del lubricante.

La capacidad de disipación del calor generado por la caja reductora está caracterizada por la potencia térmica, término definido por los fabricantes como la potencia mecánica máxima que se puede transmitir en forma continúa sin que se produzca un sobrecalentamiento de ésta.

La temperatura máxima que puede alcanzar las cajas reductoras está limitada principalmente por las características del **lubricante,** particularmente por su viscosidad y por las recomendaciones del fabricante. Algunos especialistas en termografía han establecido reglas generales sobre las diferencias de temperaturas admisibles (ΔT) de los rodamientos de algunos tipos de equipo específicos que utilizan unas determinadas técnicas de lubricación específicas (grasa, aceite, etc.).

- Ejes desalineados: Ruedas excéntricas, ejes flectados, juego excesivo entre dientes, desgaste de dientes; estas fallas provocan un contacto entre los dientes en forma inadecuada, lo cual provoca una generación de calor excesiva, por consiguiente, esto se transforman en un aumento de la temperatura del lubricante, que se visualiza como un aumento total de la temperatura en la caja reductora.
- Soporte o rodamientos dañados: Cuando se tiene un soporte dañado se, este genera calor en forma localizada en la caja reductora y se puede identificar en forma rápida, siempre y cuando la temperatura alcanzada por el lubricante no sea mayor que la del descanso dañado.
- Lubricación: Una selección inadecuada puede provocar el calentamiento de la caja reductora por un exceso o falta de viscosidad, o por la cantidad de lubricante utilizado, provocando que la pérdida de potencia sea disipada como calor.

3.8.4 Inspección termográfica en los sistemas de vapor.

Normalmente se debe analizar la imagen térmica cuando la temperatura es bastante significativa, Busque un problema de generación de la falla: válvula cerrada, bloqueos de tuberías, oxidación, corrosión etc.

Un indicador claro de la mala operación en el sistema de vapor, se tiene cuando dentro de la línea de distribución existe exceso de condensado o un vapor de “baja calidad”, es decir, con cierta humedad o en ocasiones ácido.

Otro indicador de un mal funcionamiento del sistema de distribución es el desgaste y daño interno derivados de la propia operación, así como, los golpes de ariete, lo cuales se presentan comúnmente bajo estas circunstancias y pueden afectar al proceso productivo.

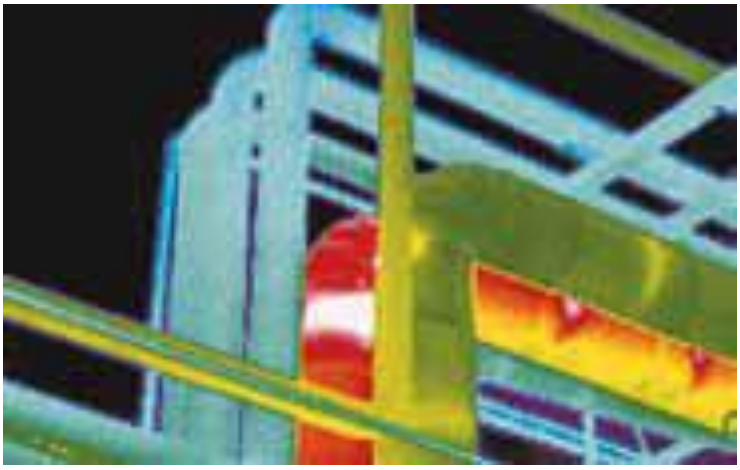
En el siguiente capítulo se especifican criterios cualitativos para detectar las fallas a detectar para componentes como tuberías, válvulas y trampas de vapor.

A continuación un ejemplo de una aplicación: La inspección del estado del material de aislamiento que rodea las tuberías puede ser vital. Las pérdidas de calor por un aislamiento defectuoso se detectan con mucha claridad en la termografía, lo que permite reparar rápidamente el aislamiento y evitar importante pérdidas de energía u otros daños.

Las válvulas de proceso son otro buen ejemplo de equipamiento de tuberías que se suele inspeccionar con cámaras termográficas. Además de para la detección de fugas.

Ejemplo:

Figura 9. Daño en el aislamiento.



Fuente:www.flir.om

3.9 FRECUENCIAS DE INSPECCIÓN ASOCIADO A SU MODO DE FALLA A DETECTAR CON LA TERMOGRAFÍA INFRARROJA.

3.9.1 Frecuencias de inspección.

Lo más conveniente en la implementación de un PMP es que la frecuencia de inspección y la ruta se definan atendiendo a la criticidad de los equipos; sin embargo, como se mencionó en la identificación de los equipos, para este caso en particular este aspecto no influyó en el diseño de la ruta porque el programa está destinado a hacer mantenimiento predictivo a todos los equipos de el área de envase.

Debido a lo anteriormente expuesto y como una forma para calcular de manera formal la frecuencia de las inspecciones predictivas, tomando en cuenta la relación riesgo costo – beneficio, y justificando así, las decisiones del gerente del área de

mantenimiento, en lo concerniente a las frecuencias se determinaron según las estrategias del mantenimiento basado en la confiabilidad que se maneja en la planta, las frecuencias fueron elaboradas en conjunto con el ingeniero planificador encargado. Estas frecuencias fueron propuestas para un periodo de prueba, quedando expuesta a cambios con el objeto de poder controlar la rapidez del aumento de fallas, si así lo requiere.

Una vez se tienen la frecuencias, son alimentadas al programa de alimentación SAP (software para la administración del mantenimiento programando) para la generación de las órdenes de trabajo según las fechas establecidas.

A continuación la tabla modelo de frecuencias para la lavadora de botellas. Ver frecuencias completas en el anexo A.

Tabla 6. Frecuencias de inspección termográfica tren de transporte.

MOTORES-REDUCTORES, BOMBAS				
DENOMINACION	PLAN DE MTTO	ESTRATEGIA	FRECUENCIA	TIEMPO
LAVADORA DE BOTELLAS	9839	SEMANAL	C/4 SEMANAS	4 HORAS

TAREA ASOCIADA
MOTOR PRINCIPAL -(REALIZAR TERMOGRAFÍA) SE DEBE VERIFICAR POR MEDIO DE LA CAMARA TERMOGRÁFICA LA EXISTENCIA DE PUNTOS CALIENTES DEBIDO VENTILACIÓN INSUFICIENTE EN CARACASA, CAJA DE CONEXIÓN A BORNES. PARA EL REDUCTOR TAMBIÉN VERIFICAR PUNTOS CALIENTES EN RODAMIENTOS Y CARCASA DEBIDO A MALA LUBRICACION Y FUGAS DE ACEITE, SOBRECALENTAMEINTO DEBIDO A DESALINEAMIENTO EN ACOPLE DEL EJE DE TRANSMICIÓN. REDUCTORES TRANSMICIÓN PRINCIPAL- VERIFICAR SOBRECALENTAMEINETO DEBEDIDO DEFICIENTE LUBRICACÍON. MOTORES SOPLADORES - VERIFICAR PUNTOS CALIENTES EN CARCASA, CAJA DE CONEXIÓN A BORNES. MOTOREDUCTORES MALLAS - VERIFICAR PUNTOS CALEINTES EN CARCASA DEL MOTOR, PUNTOS CALIENTES EN CAJA REDUCTORA DEBIDO A FUGAS DE ACEITE O MALA LUBRICACIÓN. BOMBA DE ENJUAGES - VERIFICAR LA EXISTENCIA DE PUNTOS CALIENTES EN CARACAS, COJNETES, CAJA DE CONEXION A BORNES, EJE DE ACOPLAMIENTO.

Fuente: el autor.

3.10 ORDENAMIENTO Y ALMACENAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

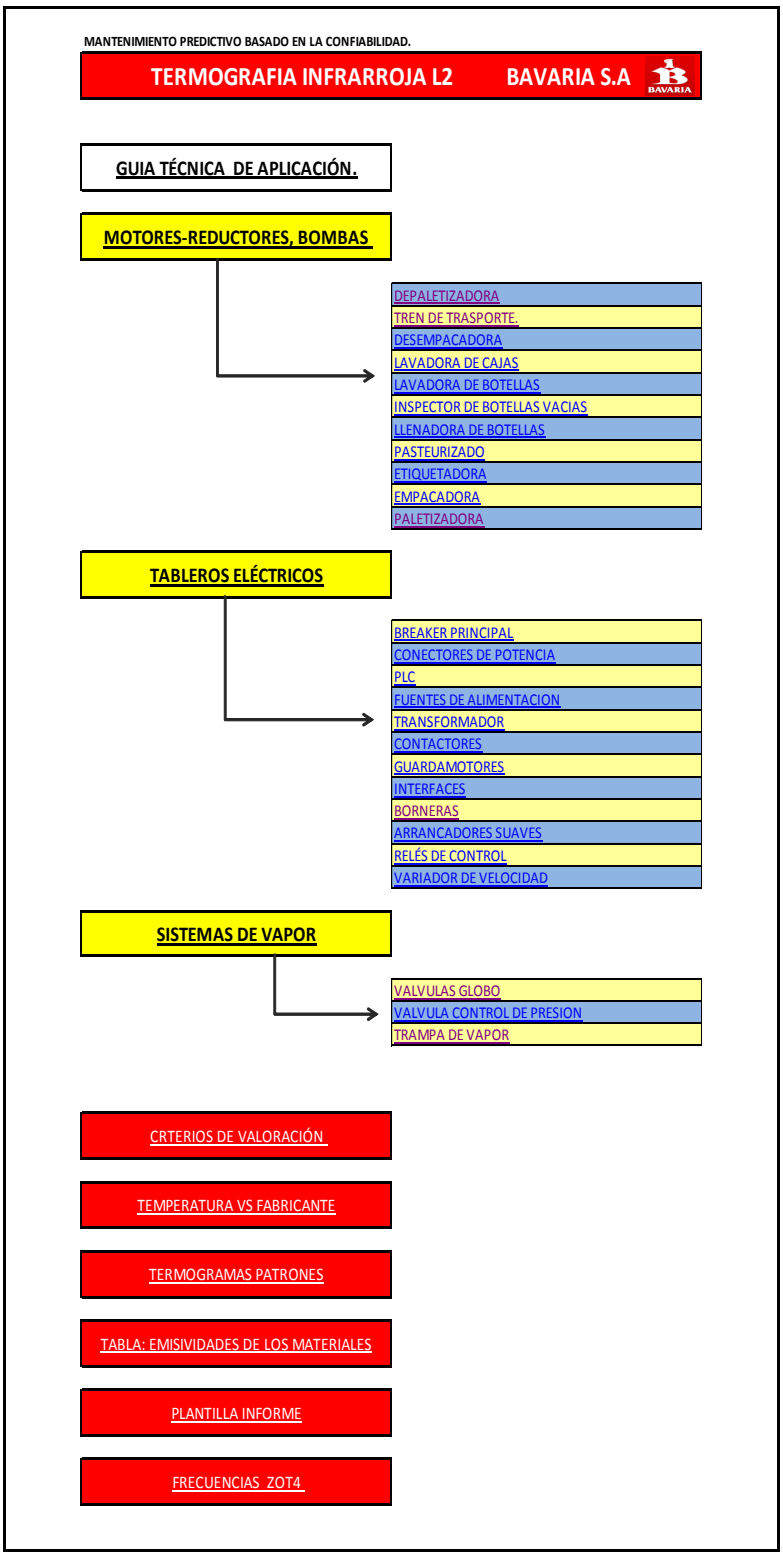
Para la fijación, revisión y almacenamiento de los datos se creó un menú, con el objetivo de que la información esté organizada y almacenada para la persona que requiera consultarla, para tal fin, los resultados del levantamiento de la información se ordeno y se dispuso con hipervínculos en un sistema de información de consulta oficial en un libro de Microsoft office Excel 2007. Este menú se muestra en la figura 9 y consta de:

- Una Guía técnica de aplicación de la termografía en la industria.
- Una clasificación de los equipos con sus respectivos modelos y datos técnicos de; motores eléctricos – reductores, bombas centrifugas, tableros eléctricos y sistemas de vapor.
- Los criterios de valoración cuantitativo y cualitativo basado en las publicaciones y las normas técnicas.
- Las Temperatura máximas admisibles que pueden alcanzar los equipos en funcionamientos según los fabricantes.
- Termogramas patrones de todos los equipos es sus condiciones normales de funcionamiento. ver anexo B
- Una tabla general de los materiales con su respectiva emisividad. Ver anexo B

- Una planilla base para el análisis y generación de los informes.
- Las tablas de frecuencias de inspección asociado a su modo de falla a detectar con termografía infrarroja.

Con esta actividad se busca que el grupo de operaciones y mantenimiento tenga acceso directo en el sitio de trabajo a la información del levantamiento. Con esto se aumenta considerablemente la efectividad y seguridad de las operaciones ya que está respaldada por información ordenada y confiable, evitando intervenir equivocadamente algún equipo o perder tiempo identificando su ubicación dentro de la planta.

Figura 10. Menú principal de almacenamiento y manejo de la información.



Fuente: el autor.

4. CRITERIOS PARA LA EVALUACION Y VALORACION DE LA INSPECCIÓN TERMOGRÁFICA DE LOS EQUIPOS.

Se denomina excepción termográfica a la distribución de temperatura de un equipo (superficie monitoreada), fuera de los rangos definidos como normales para éste.

Existen diferentes estándares publicados que pueden ser usados como referencias o guías para la determinación de la severidad del defecto encontrado y la correspondiente acción correctiva.

Para evaluar la criticidad de las fallas a verificar por medio de la cámara termográfica en los equipos, se han desarrollado procedimientos que cuantifican y cualifican el estado de los equipos y sus componentes inspeccionados. Uno de estos criterios de evaluación de las excepciones termográficas es a través de la diferencia de temperatura (ΔT) que existe, entre la temperatura monitoreada y la temperatura normal o referencia (temperatura ambiente, equipos de iguales características, o sometidos a las mismas condiciones, etc.). Por lo tanto tenemos:

$$\Delta T = T_{monitoreada} - T_{normal}$$

Existen otros criterios estándares o normas que nos sirven para el análisis y la valoración cuantitativa y cualitativa de las fallas.

4.1 NORMAS Y PUBLICACIONES TÉCNICAS

Para la determinación y revisión de datos y límites de condición aceptable en la implementación del mantenimiento predictivo se destacaron cuatro factores importantes, la experiencia del personal de mantenimiento, los datos históricos tales como patrones termográficos, recomendaciones del fabricante y por ultimo acoger los criterios técnicos de alguna norma reconocida o publicación técnica en base a los cuales se pueda hacer un diagnóstico más puntual de la severidad de la falla.

4.2 INTERNACIONAL ESTÁNDAR ISO 18434 – 1 SUPERVISIÓN DE LAS CONDICIONES Y DIAGNOSTICO DE MAQUINAS - TERMOGRAFÍA.

Esta norma proporciona una tendencia a la aplicación de la termografía infrarroja (IRT) para el monitoreo de condición de la maquinaria y del diagnostico, donde se incluyen maquinas eléctricas, válvulas, equipos de intercambiador de calor. Además se introducen la terminología en lo que respecta a la monitorización de estado y diagnostico de las maquinas, se describen los tipos de procedimientos incluidas las normas de seguridad con sus meritos. La norma Brinda orientación sobre el establecimiento de criterios de evaluación de la gravedad de las anomalías, datos y criterios de evaluación y de información; que nos proporciona los procedimientos para la determinación y compensación de temperatura aparente reflejada y emisividad.

Según la norma existen dos técnicas para practicar termografía comparativa:

4.2.1 Termografía cuantitativa

En esta práctica se debe Tener en cuenta: la emisividad, reflectividad, transitividad para hacer un buen pronóstico de la falla, lo relevante es asignar prioridades.

4.2.2 Termografía cualitativa

Es la práctica de medir las temperaturas Comparando un componente similar bajo las mismas condiciones de operación (Patrones térmicos o perfiles) y encontrar la anomalía en rodamientos, equipos eléctricos conexiones, fugas, intercambiadores y válvulas.[22]

4.3 TERMOGRAFÍA NIVEL I ADEMINSA COLOMBIA S.A.S.

Es un curso de capacitación y certificación en termografía nivel I y está avalado por un especialista de nivel III en **Termografía** de la ASNT (American Society for Nondestructive Testing).

Dentro de su publicación tenemos aspectos relevantes a mencionar que son factores que afectan una buena medida de la temperatura por medio de la termografía infrarroja ya que superficies diferentes tiene diferentes propiedades de radiación que se mencionan a continuación:

- Material: diferentes materiales tienen diferentes emisividades.
- Estructura superficial: la geometría del objetos algunas veces un factor importante.

[22] internacional estándar ISO 18434 – 1 2008 supervisión de condición y diagnostico de maquinas.

- Angulo: el Angulo de visión influye sobre la emisividad efectiva de una superficie.
- Longitud de onda: las emisividades de superficies idénticas pueden no ser las mismas para las cámaras de longitud de onda larga o corta.
- Temperatura: variaciones grandes de temperatura a veces afectan a la emisividad de la superficie

Una de las causas de una mala interpretación es probablemente la forma en que el color puede afectar la absorción de la luz visible. Esto significa que si un cierto color tiene la capacidad de absorber más luz solar que otro, irradiara más en el infrarrojo. Pero no es porque la emisividad sea necesariamente diferente para los citados colores. Algunas veces hay confusión causa - efecto si tenemos un cierto tipo de pintura, esto no tiene nada que ver con la emisividad, la causa es el cambio en la composición del material.

4.4 INTERNATIONAL ELECTRICAL TESTING ASSOCIATION (NETA)

La norma NETA (Asociación Internacional de Pruebas Eléctricas) proporciona los criterios mostrados en tabla 2 de clasificación de fallas eléctricas, en la cual se compara la temperatura del punto de interés con la temperatura ambiente ó con la temperatura de un punto similar en buenas condiciones.

Tabla 7. Acciones sugeridas basadas en incrementos de temperatura.

Clasificación de fallas eléctricas según **NETA** (International Electric Testing Association) • O/A: Por encima de la temperatura ambiente • O/S: Por encima de la temperatura de un punto similar			
Nivel	Diferencia de Temperatura	Clasificación	Acción
1	1°C - 10°C O/A ó 1 °C a 3°C O/S	Baja	En observación / Puede Esperar.
2	11°C - 20°C O/A ó 4°C a 15°C O/S	Media	Realizar mantenimiento en la próxima parada disponible.
3	21°C - 40 °C O/A ó >15 °C O/S	Alta	Reparar tan pronto como sea posible.
4	>40 °C O/A ó >15 °C O/S	Critica	Reparar inmediatamente

Fuente: NETA. Inspecciones con termografía.

Definición de las prioridades:

- Investigar: Los gradientes de temperatura de 1°C a 3°C indican posible deficiencia y es necesaria realizar una investigación.
- Deficiencia: Los gradientes de temperatura de 4° a 15°C indican deficiencia; la reparación debe ser realizada tan pronto como sea posible.
- Primordial: Los gradientes de temperatura mayores que 16 °C indican una deficiencia importante; la reparación debe ser realizada inmediatamente.

Sin embargo, como apoyo a estos criterios de diagnóstico es conveniente tomar nota del nivel de carga del circuito, y del balance de corrientes en sistemas trifásicos.

Según esta norma, el reporte de termografía debe incluir lo siguiente:

1. Descripción del equipo a ser inspeccionado.
2. Discrepancias.
3. Diferencia de temperatura entre el área concerniente y el área de referencia.
4. Causa probable de la diferencia de temperatura.
5. Áreas inspeccionadas. Identificar las áreas y equipos inaccesibles y/o no observables.
6. Identificar las condiciones de carga en el momento de la inspección.
7. Tomar fotografías y/o termogramas del área deficiente.
8. Acción recomendada.

4.5 RANGOS DE TEMPERATURA EN FUNCIÓN DE SU PRIORIDAD PARA CAJAS REDUCTORAS SEW.

La capacidad de disipación de calor generado por una caja reductora esta caracterizado por la potencia térmica, termino definido por lo fabricantes como la potencia mecánica máxima que se puede transmitir en forma continua sin que se produzca sobrecalentamiento de está.

La temperatura máxima que puede alcanzar las cajas reductoras está limitada principalmente por las características del **lubricante** particularmente por su viscosidad y por las recomendaciones del fabricante.

Para nuestros reductores sew tendremos en cuenta la siguiente tabla:

Tabla 8. Rango de temperaturas en función de su prioridad, reductores sew.

Cajas reductoras **SEW.** • Prioridad A: anomalía grave que requiere atención inmediata. • Prioridad B: anomalía seria que necesita atención tan pronto como sea posible. • Prioridad C**:** anomalía que requiere monitoreo y comparación, se repara cuando sea conveniente	
Prioridad	Diferencia de temperatura
A	Más de 61 °C
B	De 56 a 60 °C
C	De 40 a 55 °C

Fuente: el autor.

4.6 CLASES DE AISLAMIENTO EN MOTORES ELÉCTRICOS SEGÚN NEMA. (NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION).

En el caso de los motores eléctricos la temperatura máxima, está dada en términos de mayor temperatura interna que puede alcanzar el sistema de aislación y cuando opera a una temperatura ambiente de 40 °C. La tabla 9 muestra en forma resumida la temperatura máxima permitida para cada clase de aislamiento basado en una temperatura ambiente de 40°C.

Tabla 9. Clases de aislamiento según NEMA.

Temperatura	clase
A	105 °C.
E	120 °C.
B	130 °C.
F	155 °C.
H	180 °C.
N	200 °C.

Fuente: NEMA. (National Electrical Manufacturers Association*)*

La vida esperada del motor se reduce a la mitad al operar una temperatura 10 ºC por arriba del máximo permisible. Además Las temperaturas medidas mediante termografía en los motores eléctricos son externas y se consideran un 20 % menor que las internas.

La clase más comunes en motores de inducción jaula de ardilla son:

Tabla 10. Clase de aislamientos para motores jaula de ardilla.

Clase	Aumento máximo permisible sobre 40 °C	Temperatura máxima del punto más caliente
B	90 °C.	130 °C.
F	115 °C.	155 °C.

Fuente: NEMA. (National Electrical Manufacturers Association*)*

Otra clasificación son los rangos de temperaturas y asignación de prioridades de reparación de los equipos operando al 100% de su carga nominal. Se considera de baja tensión a los equipos que operan bajo los 1000 volts y de alta tensión sobre ese voltaje.

Para equipos eléctricos y mecánicos Este criterio de evaluación es a través de la diferencia de temperatura que existe, entre la temperatura monitoreada y la temperatura normal o referencia (temperatura ambiente, equipos de iguales características, o sometidos a las mismas condiciones, etc.). Esta pauta está basada en conocimientos y experiencias en mantención predictiva [23]

Tabla 11. Rangos de temperatura de equipos eléctricos mecánicos.

Rangos de temperatura de equipos al 100% de carga.			
Rangos de T° y de prioridad de reparación equipos de baja tensión		Rangos de T° y de prioridad de repara de equipos alta tensión	
Rutina	Menos del 15 °C	Rutina	Menos de 20 °C
Intermedia	De 15.1 a 23 °C	Intermedia	De 20.1 a 30 °C
Seria	De 23.1 a 30 °C	seria	De 30.1 a 40 °C
Emergencia	Más de 30.1 °C	Emergencia	Mas 40 °C

Fuente: AGEMA (infrarred systems) medición de temperatura y equipos de medida.

Definición de las prioridades:

- Rutina: Poca probabilidad de falla inmediata, no representa falla incipiente, parar en la próxima parada de planta.
- Intermedia: Reparar dentro de 2 a 4 semanas, inspeccionar falla física, observar cambios de carga, cambiar componentes fallados.
- Seria: Reparar dentro de 1 a 2 días, reemplazar componente fallado, inspeccionar los componentes vecinos, analizar la causa de falla.
- Emergencia: Reparar inmediatamente, reemplazar componente fallado, inspección de todos los componentes vecinos, analizar la falla.

[23] AGEMA. (Infrarred systems) Suecia 1991. “medición de temperatura y equipos de medida”.

4.7 GUÍA DE APLICACIONES DE LA TERMOGRAFÍA EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL DE SISTEMAS DE VAPOR

El método tradicional para inspeccionar y verificar el funcionamiento de los sistemas de vapor por medio de termografía infrarroja según la guía de aplicación FLUKE se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 12. Guía de fallas cualitativas a detectar en sistemas de vapor.

Componentes	Fallas cualitativas a detectar
Tuberías	Deterioro y/o defecto del aislamiento Fugas Oxidación y/o corrosión Bloqueos u obstrucciones
Válvulas	Fugas por lado empaquetaduras Fugas por lado brida Oxidación y/o corrosión Conexiones defectuosas Válvula del control (defectos en actuadores o posicionadores, resortes y diafragma)
Trampas de vapor	Si el vapor no llega a la trampa se debe a: cierre incompleto de válvulas, cierre lento en presencia del vapor (mala operación en el sistema de distribución de vaporo o calidad baja del vapor). Si una imagen térmica muestra una temperatura de entrada elevada y una temperatura de salida baja **(<100°C),** le indica que el colector está funcionando correctamente, verifique en posición abierta y cerrada.

Fuente: www.fluke.es

5. CONCLUSIONES

- Con la realización de este proyecto, se consiguió complementar el programa de mantenimiento preventivo para evitar caer en excesos o deficiencias, que causan pérdidas productivas debido a las paradas de planta y/o fallos en el equipo. Este tipo de mantenimiento que fue implementado es dinámico y garantiza intervenciones precisas y a tiempo.

- Para el desarrollo del plan de mantenimiento predictivo fue muy importante conocer claramente las características del sistema y el entorno de los equipos hacia los cuales iba dirigido. Esto permitió tener una visión más concreta de las actividades que se desarrollaron en las fases de implementación y ejecución del programa. Esto explica la necesidad de realizar un levantamiento de la información para la fijación de datos límites en condiciones aceptables, y así poder aplicar los criterios de valoración termográfica.

- A pesar de contar con criterios técnicos, el diagnóstico de la criticidad de una falla debe estar respaldado por la experiencia del personal, para este fin la empresa ordeno un curso de capacitación y certificación en termografía nivel 1 avalado por un especialista de nivel III en **Termografía** de la ASNT (American Society for Nondestructive Testing).

- Los patrones termográficos se tomaron cuando los equipos se encontraban funcionando al máximo de carga, cabe anotar que los patrones se aceptan únicamente si no sobrepasan temperaturas máximas de funcionamientos establecidas por el fabricante y el los especialistas encargados de la parte de lubricación para el caso de los reductores.

Estos patrones nos sirven de base históricos para analizar y comparar comportamientos y distribuciones de temperatura con equipos similares.

- Debido a que no se existe una base de datos de fallas ocurridas por año en cada uno de los diferentes equipos, las frecuencias de inspección termográfica se determinaron según las estrategias del mantenimiento basado en la confiabilidad que se maneja en la planta, estas frecuencias fueron elaboradas por ingeniero planificador encargado.

- Uno de las experiencias más valiosa fue haber adquirido y compartido conocimiento con personal que tiene una vasta tiene un gran recorrido en la industria en la industria, ya que es un aporte a mí la formación profesional, fortaleciendo aspectos importantes como el trabajo en interdisciplinario y la capacidad de enfrentar proyectos reales.

BIBLIOGRAFIA

AVILA E, Rubén. Fundamentos de Mantenimiento. Guías económicas, técnicas y administrativas. México; Limusa Noriega Editores. 1995.

GARCIA, Alfonso. Vibraciones mecánicas Módulo I. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander; 1995.

GONZÁLEZ, Carlos Ramón. Conferencias Ingeniería de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2001.

INCROPERA, F, Dewitt, D. fundamentos de transferencia de calor, Cuarta edición, Prentice hall, 1999.

ISO (International Standarization Orgranization). Supervision de Condicion Y Diagnostico de Maquinas – termografía. : 18434 - 1: 2008

MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento centrado en la confiabilidad. segunda edición, Carolina Alarcon, 2004

MICROSOFT PRESS. Visual Basic 6.0**.** Manual del programador. Madrid: Mc Graw Hill, 1997.

NETA (Internacional Electrical Testing Association). Asociacion internacional de pruebas eléctricas: Isnpecciones con termografia. 1999.

REYNA O, Alberto F. Termografía nivel I, nivel III en **Termografía** de la ASNT (American Society for Nondestructive Testing),

RUBIO, Francisco. Una introducción al estudio de la temperatura y a la transferencia de calor, primera edición, editorial limusa, 1987.

SAAVEDRA, P., Estupiñán, E. Impacto del mantenimiento proactivo en la productividad. [Artículo de Internet]. http://www.Monografías.com.

ANEXOS

ANEXO A: Frecuencias de inspección.

SISTEMAS ELECTRICOS					
DENOMINACION	PLAN DE MTTO	EASTRATEGIA	FRECUENCIA	TIEMPO	TAREA
TRANSPORTE DE BOTELLAS	9900	SEMANAL	C/13 SEMANAS	4 HORAS	TABLEROS DE CONTROL Y POTENCIA - (REALIZAR TERMOGRAFIA) SE DEBE VERIFICAR POR MEDIO DE LA CAMARA TERMOGRAFICA LA EXISTENCIA DE PUNTOS CALIENTES DEBIDO A TORNILLERIAS SUELTAS O MALOS AJUSTES EN GENERAL.
DESEMPACADORA	9860	SEMANAL	C/13 SEMANAS	2 HORAS	TABLERO CONTROL Y POTENCIA - (REALIZAR TERMOGRAFIA) SE DEBE VERIFICAR POR MEDIO DE LA CAMARA TERMOGRAFICA LA EXISTENCIA DE PUNTOS CALIENTES A CONTACTORES, GUARDAMOTORES, VARIADORES, INDUCTANCIAS, RESISTENCIAS, TERMICO, TRANSFORMADORES, BORNERAS, CABLEADO Y DEMAS PUNTOS Y PARTES DE POTENCIA, DEBIDO A TORNILLERIAS SUELTAS O MALOS AJUSTES EN GENERAL, ADEMAS VERIFIQUE QUE EL SISTEMA DE CONTROL Y POTENCIA SE ENCUENTRE LIMPIO Y ORDENADO.
PALETIZADORA	13987	SEMANAL	C/13 SEMANAS	2 HORAS	TABLERO DE CONTROL Y POTENCIA - (REALIZAR TERMOGRAFIA) SE DEBE VERIFICAR POR MEDIO DE LA CAMARA TERMOGRAFICA LA EXISTENCIA DE PUNTOS CALIENTES A CONTACTORES, GUARDAMOTORES, VARIADORES, INDUCTANCIAS, RESISTENCIAS, TERMICO, TRANSFORMADORES, BORNERAS, CABLEADO Y DEMAS PUNTOS Y PARTES DE POTENCIA, DEBIDO A TORNILLERIAS SUELTAS O MALOS AJUSTES EN GENERAL, ADEMAS VERIFIQUE QUE EL SISTEMA DE POTENCIA SE ENCUENTRE LIMPIO Y ORDENADO.
LAVADORA DE CAJAS	9935	SEMANAL	C/13 SEMANAS	1 HORAS	TABLERO DE CONTROL Y POTENCIA - (REALIZAR TERMOGRAFIA) SE DEBE VERIFICAR POR MEDIO DE LA CAMARA TERMOGRAFICA LA EXISTENCIA DE PUNTOS CALIENTES DEBIDO A TORNILLERIAS SUELTAS O MALOS AJUSTES EN GENERAL.
LAVADORA DE BOTELLAS	9839	SEMANAL	C/13 SEMANAS	4 HORAS	TABLERO DE CONTROL Y POTENCIA - (REALIZAR TERMOGRAFIA) SE DEBE VERIFICAR POR MEDIO DE LA CAMARA TERMOGRAFICA LA EXISTENCIA DE PUNTOS CALIENTES DEBIDO A TORNILLERIAS SUELTAS O MALOS AJUSTES EN GENERAL.
EMPACADORA	14221	SEMANAL	C/13 SEMANAS	3 HORAS	TABLERO CONTROL Y POTENCIA - (REALIZAR TERMOGRAFIA) SE DEBE VERIFICAR POR MEDIO DE LA CAMARA TERMOGRAFICA LA EXISTENCIA DE PUNTOS CALIENTES A CONTACTORES, GUARDAMOTORES, VARIADORES, INDUCTANCIAS, RESISTENCIAS, TERMICO, TRANSFORMADORES, BORNERAS, CABLEADO Y DEMAS PUNTOS Y PARTES DE POTENCIA, DEBIDO A TORNILLERIAS SUELTAS O MALOS AJUSTES EN GENERAL, ADEMAS VERIFIQUE QUE EL SISTEMA DE POTENCIA SE ENCUENTRE LIMPIO Y ORDENADO.
DEPALETIZADORA	9857	SEMANAL	C/13 SEMANAS	4 HORAS	SISTEMA DE CONTROL Y POTENCIA - (REALIZAR TERMOGRAFIA) SE DEBE VERIFICAR POR MEDIO DE LA CAMARA TERMOGRAFICA LA EXISTENCIA DE PUNTOS CALIENTES A CONTACTORES, GUARDAMOTORES, VARIADORES, INDUCTANCIAS, RESISTENCIAS, TERMICO, TRANSFORMADORES, BORNERAS, CABLEADO Y DEMAS PUNTOS Y PARTES DE POTENCIA, DEBIDO A TORNILLERIAS SUELTAS O MALOS AJUSTES EN GENERAL, ADEMAS VERIFIQUE QUE EL SISTEMA DE POTENCIA SE ENCUENTRE LIMPIO Y ORDENADO.
PASTEURIZADORA	9883	SEMANAL	C/13 SEMANAS	2 HORAS	TABLERO CONTROL Y POTENCIA - (REALIZAR TERMOGRAFIA) SE DEBE VERIFICAR POR MEDIO DE LA CAMARA TERMOGRAFICA LA EXISTENCIA DE PUNTOS CALIENTES A CONTACTORES, GUARDAMOTORES, VARIADORES, INDUCTANCIAS, RESISTENCIAS, TERMICO, TRANSFORMADORES, BORNERAS, CABLEADO Y DEMAS PUNTOS Y PARTES DE POTENCIA, DEBIDO A TORNILLERIAS SUELTAS O MALOS AJUSTES EN GENERAL, ADEMAS VERIFIQUE QUE EL SISTEMA DE CONTROL Y POTENCIA SE ENCUENTRE LIMPIO Y ORDENADO.
LLENADORA 4	13943	SEMANAL	C/13 SEMANAS	2 HORAS	SE DEBE REALIZAR TERMOGRAFIA AL TABLERO DE POTENCIA Y CONTROL DE LA LLENADORA 4, INICIALMENTE SE DEBE VERIFICAR LA TEMPERATURA AMBIENTE DEL TABLERO CON LA AYUDA DEL TERMOHIGOMETRO, LUEGO VERIFICAR LA EXISTENCIA DE PUNTOS CALIENTES EN TOTALIZADOR, TRANSFORMADOR, BREAKERS, GUARDAMOTORES, CONTACTORES, FUENTES DE ALIMENTACION, BREAKERS, ETS, INTERFASES, MODULOS, REPETIDORES, CONTACTORES, INTERFACES, Y DEMAS ELEMENTOS DE POTENCIA Y CONTROL "UN PUNTO CALIENTE DEBE SER 40 GRADOS SUPERIOR A LA TEMPERATURA AMBIENTE".
LLENADORA 3	9873	SEMANAL	C/13 SEMANAS	2 HORAS	SE DEBE REALIZAR TERMOGRAFIA AL TABLERO DE POTENCIA Y CONTROL DE LA LLENADORA 3, INICIALMENTE SE DEBE VERIFICAR LA TEMPERATURA AMBIENTE DEL TABLERO CON LA AYUDA DEL TERMOHIGOMETRO, LUEGO VERIFICAR LA EXISTENCIA DE PUNTOS CALIENTES EN TOTALIZADOR, TRANSFORMADOR, BREAKERS, GUARDAMOTORES, CONTACTORES, FUENTES DE ALIMENTACION, BREAKERS, ETS, INTERFASES, MODULOS, REPETIDORES, CONTACTORES, INTERFACES, Y DEMAS ELEMENTOS DE POTENCIA Y CONTROL "UN PUNTO CALIENTE DEBE SER 40 GRADOS SUPERIOR A LA TEMPERATURA AMBIENTE".
CBM INSP CAJAS FUNCIONANDO TRIMESTRAL	12388	SEMANAL	C/13 SEMANAS	1HORAS	TABLERO POTENCIA Y CONTROL (REALIZAR TERMOGRAFIA) SE DEBE INCIALMENTE VERIFICAR LA TEMPERATURA AMBIENTE DEL TABLERO DE POTENCIA Y CONTROL POR MEDIO DEL TERMOHIGOMETRO, LUEGO VERIFICAR LA EXISTENCIA DE PUNTOS CALIENTES (40 GRADOS SUPERIOR A LA TEMPERATURA AMBIENTE) A CONTACTORES, GUARDAMOTORES, VARIADORES, INDUCTANCIAS, RESISTENCIAS, TERMICO, TRANSFORMADORES, BORNERAS, INTERFASES, FUENTES PLC, CABLEADO Y DEMAS PUNTOS Y PARTES DE POTENCIA Y CONTROL.
ETIQUETADORA 4	14097	SEMANAL	C/8 SEMANAS	4HORAS	MOTOR PRINCIPAL - (VERIFICAR ESTADO) SE DEBE REALIZAR TERMOGRAFIA MOTOR BOMBA LUBRICACION ACEITE - 440 V - (VERIFICAR ESTADO) SE DEBE REALIZAR TERMOGRAFIA MOTOR SISTEMA ELEVACION - (VERIFICAR ESTADO) SE DEBE REALIZAR TERMOGRAFIA TABLERO DE FUERZA - (VERIFICAR ESTADO) SE DEBE REALIZAR TEMOGRAFIA, PARA VERIFICAR TODOS LOS PUNTOS CALIENTES EXISTENTES
ETIQUETADORA 3	9901	SEMANAL	C/8 SEMANAS	4HORAS	MOTOR PRINCIPAL - (VERIFICAR ESTADO) SE DEBE REALIZAR TERMOGRAFIA Y COMPROBAR AMPERAJE TABLERO DE FUERZA - (VERIFICAR ESTADO) SE DEBE REALIZAR TEMOGRAFIA, PARA VERIFICAR TODOS LOS PUNTOS CALIENTES EXISTENTES
INSPECTOR DE BOTELLAS VACIAS 3	9862	SEMANAL	C/26SEMANAS	8HORAS	CONTROL DE FASE - (REALIZAR TERMOGRAFIA) SE DEBE VERIFICAR POR MEDIO DE LA CAMARA TERMOGRAFICA LA EXISTENCIA DE PUNTOS CALIENTES DEBIDO A TORNILLERIAS SUELTAS, MALOS AJUSTES EN GENERAL Y/O CONTACTOS DETERIORADOS EN LA ETAPA CONTROL DE FASE. TRANSFORMADORES - (REALIZAR TERMOGRAFIA VERIFICAR TODOS LOS TRANSFORMADORES NO SE EXCEDA A 70°C. POTENCIA DE LAMPARAS Y ESTROBOS - (REALIZAR TERMOGRAFIA) SE DEBE VERIFICAR SOBRECALENTAMIENTOS DEBIDO A TORNILLERIAS SUELTAS, MALOS AJUSTES EN GENERAL Y/O CONTACTOS DETERIORADOS DEL SISTEMA DE POTENCIA DE LAMPARAS Y ESTROBOS. PROTECCION TERMICA - (REALIZAR TERMOGRAFIA) SE DEBE VERIFICAR SOBRECALENTAMIENTO DEBIDO A TORNILLERIAS SUELTAS, MALOS AJUSTES EN GENERAL Y/O CONTACTOS DETERIORADOS EN LOS RELEVOS K1 Y K2, ADEMAS A LOS TERMOSTATOS. MOTORES - (REALIZAR TERMOGRAFIA) SE DEBE VERIFICAR SOBRECALENTAMIENTO EN LA BORNERA Y LA TEMPERATURA DE LOS MOTORES. INSPECCION Y CONTROL PRINCIPAL - (REALIZAR TERMOGRAFIA) SE DEBE VERICAR SOBRECALENTAMIENTO DEBIDO A MALOS AJUSTES EN GENERAL, CONECTORES DETERIORADOS Y/O SOLDADURAS SUELTAS DE LAS TARJETAS DE INSPECCION Y CONTROL PRINCIPAL. CABEZAL - (REALIZAR TERMOGRAFIA) SE DEBE VERIFICAR SOBRECALENTAMIENTO DEBIDO A MALOS AJUSTES EN GENERAL, CONECTORES DETERIORADOS Y/O SOLDADURAS SUELTAS DE LAS TARJETAS UBICADAS EN EL CABEZAL. PARED EXTERNA - (REALIZAR TERMOGRAFIA) SE DEBE VERIFICAR SOBRECALENTAMIENTOS DEBIDO A MALOS AJUSTES EN GENERAL, CONECTORES DETERIORADOS Y/O SOLDADURAS SUELTAS DE LA TARJETA.
INSPECTOR DE BOTELLAS VACIAS 4	9862	SEMANAL	C/26SEMANAS	8HORAS	CONTROL DE FASE - (REALIZAR TERMOGRAFIA) SE DEBE VERIFICAR POR MEDIO DE LA CAMARA TERMOGRAFICA LA EXISTENCIA DE PUNTOS CALIENTES DEBIDO A TORNILLERIAS SUELTAS, MALOS AJUSTES EN GENERAL Y/O CONTACTOS DETERIORADOS EN LA ETAPA CONTROL DE FASE. TRANSFORMADORES - (REALIZAR TERMOGRAFIA VERIFICAR TODOS LOS TRANSFORMADORES NO SE EXCEDA A 70°C. POTENCIA DE LAMPARAS Y ESTROBOS - (REALIZAR TERMOGRAFIA) SE DEBE VERIFICAR SOBRECALENTAMIENTOS DEBIDO A TORNILLERIAS SUELTAS, MALOS AJUSTES EN GENERAL Y/O CONTACTOS DETERIORADOS DEL SISTEMA DE POTENCIA DE LAMPARAS Y ESTROBOS. PROTECCION TERMICA - (REALIZAR TERMOGRAFIA) SE DEBE VERIFICAR SOBRECALENTAMIENTO DEBIDO A TORNILLERIAS SUELTAS, MALOS AJUSTES EN GENERAL Y/O CONTACTOS DETERIORADOS EN LOS RELEVOS K1 Y K2, ADEMAS A LOS TERMOSTATOS. MOTORES - (REALIZAR TERMOGRAFIA) SE DEBE VERIFICAR SOBRECALENTAMIENTO EN LA BORNERA Y LA TEMPERATURA DE LOS MOTORES. INSPECCION Y CONTROL PRINCIPAL - (REALIZAR TERMOGRAFIA) SE DEBE VERICAR SOBRECALENTAMIENTO DEBIDO A MALOS AJUSTES EN GENERAL, CONECTORES DETERIORADOS Y/O SOLDADURAS SUELTAS DE LAS TARJETAS DE INSPECCION Y CONTROL PRINCIPAL. CABEZAL - (REALIZAR TERMOGRAFIA) SE DEBE VERIFICAR SOBRECALENTAMIENTO DEBIDO A MALOS AJUSTES EN GENERAL, CONECTORES DETERIORADOS Y/O SOLDADURAS SUELTAS DE LAS TARJETAS UBICADAS EN EL CABEZAL. PARED EXTERNA - (REALIZAR TERMOGRAFIA) SE DEBE VERIFICAR SOBRECALENTAMIENTOS DEBIDO A MALOS AJUSTES EN GENERAL, CONECTORES DETERIORADOS Y/O SOLDADURAS SUELTAS DE LA TARJETA.

MOTORES-REDUCTORES, BOMBAS					
DENOMINACION	PLAN DE MTTO	ESTRATEGIA	FRECUENCIA	TIEMPO	TAREA ASOCIADA
TRANSPORTE DE BOTELLAS	9900	SEMANAL	C/ 8 SEMANAS	8 HORAS	MOTORREDUCTORES - (REALIZAR TERMOGRAFÍA) SE DEBE VERIFICAR POR MEDIO DE LA CAMARA TERMOGRAFICA LA EXISTENCIA DE PUNTOS CALIENTES POR A FRICCIÓN EN RODAMIENTOS Y ENGRANAJES INTERNOS DEBIDO A DEFICIENTE LUBRICACION Y FUGAS DE ACEITE. MOTORES ELÉCTRICOS - (REALIZAR TERMOGRAFÍA) SE DEBE VERIFICAR POR MEDIO DE LA CAMARA TERMOGRAFICA EL SOBRECALENTAMIENTO DE LA CARCASA (ESTATOR), COJINETES. CAJA DE CONEXIÓN A BORNES.
DESEMPACADORA	9860	SEMANAL	C/4 SEMANAS	2 HORAS	MOTORREDUCTORES - (REALIZAR TERMOGRAFÍA) SE DEBE VERIFICAR POR MEDIO DE LA CAMARA TERMOGRAFICA LA EXISTENCIA DE PUNTOS CALIENTES DEBIDO A FRICCIÓN EN RODAMIENTOS Y ENGRANAJES INTERNOS DEBIDO A DEFICIENTE LUBRICACIÓN Y FUGAS DE ACEITE. SE DEBE VERIFICAFR POR MEDIO DE LA CAMARA TERMOGRAFÍCA EL SOBRECALENTAMIENTO DEL MOTOR: CARCASA, COJINETES. CAJA DE CONEXION A BORNES, ESCOBILLAS Y ESTATOR.
PALETIZADORA	13987	SEMANAL	C/ 4 SEMANAS	1 HORA	MOTOR -SERVO (REALIZAR TERMOGRAFÍA) SE DEBE VERIFICAR POR MEDIO DE LA CAMARA TERMOGRAFICA LA EXISTENCIA DE PUNTOS CALIENTES DEBIDO A SOBRECARGAS, VENTILACIÓN INSUFICIENTE EN CARACASA, DAÑOS EN RODAMIENTOS, CONEXIONES DE ALIMENTACIÓN Y BORNES. VERIDFICAR SISTEMA DE CONEXIÓN ENCHUFABLE DEL SERVO.
LAVADORA DE CAJAS	9935	SEMANAL	C/ 6 SEMANAS	2 HORAS	MOTOR - BOMBA DE ENJAUGUE (REALIZAR TERMOGRAFÍA) SE DEBE VERIFICAR POR MEDIO DE LA CAMARA TERMOGRÁFICA LA EXISTENCIA DE PUNTOS CALIENTES EN CARACASA, COJINETES , CAJA DE CONEXIÓN A BORNES. EJE DE ACOPLAMIENTO. RODADIEMTOS O COJINETES. MOTORREDUCTORES - VERIFICAR PUNTOS CALIENTES DEBIDO A FRICCION EN RODAMIENTOS Y ENGRANAJES INTERNOS DEBIDO A MALA LUBRICACION Y FUGAS DE ACEITE.
LAVADORA DE BOTELLAS	9839	SEMANAL	C/4 SEMANAS	4 HORAS	MOTOR PRINCIPAL -(REALIZAR TERMOGRAFÍA) SE DEBE VERIFICAR POR MEDIO DE LA CAMARA TERMOGRÁFICA LA EXISTENCIA DE PUNTOS CALIENTES DEBIDO VENTILACIÓN INSUFICIENTE EN CARACASA, CAJA DE CONEXIÓN A BORNES. PARA EL REDUCTOR TAMBIÉN VERIFICAR PUNTOS CALIENTES EN RODAMIENTOS Y CARCASA DEBIDO A MALA LUBRICACION Y FUGAS DE ACEITE, SOBRECALENTAMEINTO DEBIDO A DESALINEAMIENTO EN ACOPLE DEL EJE DE TRANSMICIÓN. REDUCTORES TRANSMICIÓN PRINCIPAL- VERIFICAR SOBRECALENTAMEINETO DEBEDIDO DEFICIENTE LUBRICACÍON. MOTORES SOPLADORES - VERIFICAR PUNTOS CALIENTES EN CARCASA, CAJA DE CONEXIÓN A BORNES. MOTOREDUCTORES MALLAS - VERIFICAR PUNTOS CALEINTES EN CARCASA DEL MOTOR, PUNTOS CALIENTES EN CAJA REDUCTORA DEBIDO A FUGAS DE ACEITE O MALA LUBRICACIÓN. BOMBA DE ENJUAGES - VERIFICAR LA EXISTENCIA DE PUNTOS CALIENTES EN CARACAS, COJNETES, CAJA DE CONEXION A BORNES, EJE DE ACOPLAMIENTO.
EMPACADORA	14221	SEMANAL	C/4 SEMANAS	2 HORAS	MOTORREDUCTORES - (REALIZAR TERMOGRAFIA) SE DEBE VERIFICAR POR MEDIO DE LA CAMARA TERMOGRAFICA LA EXISTENCIA DE PUNTOS CALIENTES DEBIDO A FRICCION EN RODAMIENTOS Y ENGRANAJES INTERNOS DEBIDO A MALA LUBRICACION Y FUGAS DE ACEITE. SE DEBE VERIFICAFR POR MEDIO DE LA CAMARA TERMOGRAFICA EL SOBRECALENTAMIENTO DEL MOTOR: CARCASA, COJINETES. CAJA DE CONEXION A BORNES, ESCOBILLAS Y ESTATOR.
DEPALETIZADORA	9857	SEMANAL	C/4 SEMANAS	1 HORA	MOTOR- (REALIZAR TERMOGRAFIA) SE DEBE VERIFICAR POR MEDIO DE LA CAMARA TERMOGRAFICA LA EXISTENCIA DE PUNTOSCALIENTES DEBIDO A SOBRECARGAS, VENTILACIÓN INSUFICIENTE EN CARACASA DAÑOS EN RODAMIENTOS, CONEXIONES DE ALIMENTACION Y BORNES. VERIDFICAR CAJA DE CONEXION, VERIFICAR SISTEMA DE CONTROL DEL FRENO Y AISLAMIENTO DE LA BOBINA.
PASTEURIZADORA	9883	SEMANAL	C/4 SEMANAS	3 HORAS	MOTOR - BOMBA CENTRIFUGA DE BAJA PRESION (REALIZAR TERMOGRAFIA) SE DEBE VERIFICAR POR MEDIO DE LA CAMARA TERMOGRAFICA LA EXISTENCIA DE PUNTOS CALIENTES EN CARCASA, COJINETES , CAJA DE CONEXIÓN A BORNES. EJE DE ACOPLAMIENTO. RODADIEMTOS O COJINETES. MOTOR -BOMBA HIDRAULICA VERIFICAR PUNTOS CALIENTES EN CARCASA, COJONETES, ACOPLAMIENTO. PARA LA BOMBA HIDRAULICA VERIFIQUE CALENTAMIENTO POR POSIBLES FUGAS.
LLENADORA 4	13943	SEMANAL	C/8 SEMANAS	1 HORA	MOTORES PRINCIPAL - (REALIZA TERMOGRAFIA) SE DEBE VERIFICAR POR MEDIO DE LA CAMARA TERMOGRAFICA EL SOBRECALENTAMIENTO DE LA CARCASA (ESTATOR), COJINETES. CAJA DE CONEXION A BORNES. BOMBA DE VACIO - (RETIRARA GUARDAS DE SEGURIDAD) Y VERIFICAR PUNTOS CALIENTES. MOTOR ELEVADOR TOLVA TAPAS- VERIFICAR PUNTOS CALIENTES. BOMBA DEL CIP-VERIFICAR PUNTOS CALEINTES EN CARCASA Y ACOPLES.
LLENADORA 3	9873	SEMANAL	C/8 SEMANAS	1 HORA	MOTORES PRINCIPAL - (REALIZA TERMOGRAFIA) SE DEBE VERIFICAR POR MEDIO DE LA CAMARA TERMOGRAFICA EL SOBRECALENTAMIENTO DE LA CARCASA (ESTATOR), COJINETES. CAJA DE CONEXION A BORNES. BOMBA DE VACIO - (RETIRARA GUARDAS DE SEGURIDAD) Y VERIFICAR PUNTOS CALIENTES. MOTOR ELEVADOR TOLVA TAPAS- VERIFICAR PUNTOS CALIENTES EN CARCASA Y ACOPLES.
ETIQUETADORA 4	14097	SEMANAL	C/8 SEMANAS	1 HORA	MOTOR PRINCIPAL - (REALIZAR TERMOGRAFÍA) SE DEBE VERIFICAR POR MEDIO DE LA CAMARA TERMOGRAFICA LA EXISTENCIA DE PUNTOSCALIENTES DEBIDO A VENTILACIÓN INSUFICIENTE EN CARACASA, VERIFICAR CAJA DE CONEXIÓN A BORNES. PARA EL REDUCTOR - TAMBIÉN VERIFICAR PUNTOS CALIENTES DEBIDO A POSIBLES FUGAS O MALA LUBRICACIÓN.
ETIQUETADORA 3	9901	SEMANAL	C/8 SEMANAS	1 HORA	MOTOR PRINCIPAL - (REALIZAR TERMOGRAFÍA) SE DEBE VERIFICAR POR MEDIO DE LA CAMARA TERMOGRAFICA LA EXISTENCIA DE PUNTOSCALIENTES DEBIDO VENTILACIÓN INSUFICIENTE EN CARACASA, CAJA DE CONEXIÓN A BORNES. PARA EL REDUCTOR - TAMBIÉN VERIFICAR PUNTOS CALIENTES DEBIDO A POSIBLES FUGAS O DEFICIENTE LUBRICACIÓN.
INSPECTOR DE BOTELLAS VACIAS 3	9862	SEMANAL	C/4 SEMANAS	1 HORA	MOTOR DE RECHAZO, MOTOR RUEDA ESTRELA- - (REALIZAR TERMOGRAFÍA) SE DEBE VERIFICAR POR MEDIO DE LA CAMARA TERMOGRÁFICA LA EXISTENCIA DE PUNTOS CALIENTES DEBIDO VENTILACIÓN INSUFICIENTE EN CARACASA, DESEQUILIBRIO DE TENSION, COJINETES DE BOLAS EN MAL ESTADO, LUBRICACION DEFECTUOSA EN ENGRANAJES. MOTOR EXTRACTOR- EVITAR TEMPERATURA REFLEJADA EN LA PRACTICA TERMOGARFÍCA DEBIDO A SU GUARDA DE PROTECCIÓN VERIFICAR PUNTOS CALIENTES EXISTENTES.
INSPECTOR DE BOTELLAS VACIAS 4	9862	SEMANAL	C/4 SEMANAS	1 HORA	MOTOR DE RECHAZO, MOTOR RUEDA ESTRELA- - (REALIZAR TERMOGRAFIA) SE DEBE VERIFICAR POR MEDIO DE LA CAMARA TERMOGRAFICA LA EXISTENCIA DE PUNTOSCALIENTES DEBIDO VENTILACIÓN INSUFICIENTE EN CARACASA , DESEQUILIBRIO DE TENSION, COJINETES DE BOLAS EN MAL ESTADO, LUBRICACION DEFECTUOSA EN ENGRANAJES. MOTOR EXTRACTOR- EVITAR TEMPERATURA REFLEJADA EN LA PRACTICA TERMOGARFÍCA DEBIDO A SU GUARDA DE PROTECCIÓN VERIFICAR PUNTOS CALIENTES EXISTENTES

SISTEMAS DE VAPOR					
DENOMINACION	PLAN DE MTTO	ESTRATEGIA	FRECUENCIA	TIEMPO	TAREA ASOCIADA
TUVERIAS	9882	SEMANAL	C/ 8 SEMANAS	2 HORAS	SISTEMAS DE VAPOR - (REALIZAR TERMOGRAFIA) SE DEBE VERIFICAR POR MEDIO DE LA CAMARA TERMOGRAFICA LA EXISTENCIA DE PUNTOS CALIENTES DEBIDO A DETERIORO Y/O DEFECTO DEL AISLAMIENTO, FUGAS OXIDACIÓN Y/O CORROSIÓN, BLOQUEOS U OBSTRUCCIONES.
VALVULAS	9883	SEMANA	C/ 4 SEMANAS	1HORAS	SISTEMAS DE VAPOR - (REALIZAR TERMOGRAFIA) SE DEBE VERIFICAR POR MEDIO DE LA CAMARA TERMOGRAFICA LA EXISTENCIA DE PUNTOS CALIENTES DEBIDO A FUGAS POR EL LADO DE LAS EMPAQUETADURAS, FUGAS PORL EL LADO DE BRIDAS, OXIDACIÓN Y/O CORROSIÓN, CONEXIONES DEFECTUOSAS, VÁLVULA DEL CONTROL (DEFECTOS EN ACTUADORES O POSICIONADORES, RESORTES Y DIAFRAGMA).
TRAMPAS DE VAPOR	9839	SEMANA	C/ 4 SEMANAS	2HORAS	SISTEMAS DE VAPOR - (REALIZAR TERMOGRAFIA) SE DEBE VERIFICAR POR MEDIO DE LA CAMARA TERMOGRAFICA LA EXISTENCIA DE PUNTOS CALIENTES DEBIDO A SI EL VAPOR NO LLEGA A LA TRAMPA SE DEBE A: CIERRE INCOMPLETO DE VÁLVULAS, CIERRE LENTO EN PRESENCIA DEL VAPOR (MALA OPERACIÓN EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE VAPORO O CALIDAD BAJA DEL VAPOR). SI UNA IMAGEN TÉRMICA MUESTRA UNA TEMPERATURA DE ENTRADA ELEVADA Y UNA TEMPERATURA DE SALIDA BAJA (<100°C), LE INDICA QUE EL COLECTOR ESTÁ FUNCIONANDO CORRECTAMENTE, VERIFIQUE EN POSICIÓN ABIERTA Y CERRADA.

ANEXO B. Temperaturas admisibles de los equipos según el fabricante.

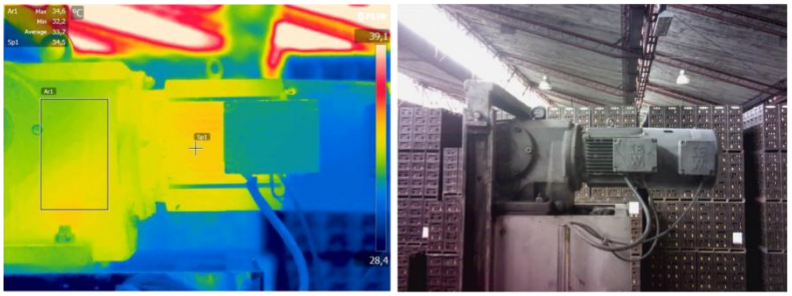
SISTEMAS ELÉCTRICOS			
Proceso	**Equipo/Fabricante**	**Temperatura max admisible en funcionamiento (°C)**	**Catálogo**
Depaletizadora	motoreductor con freno: elevador, brazo./ Sew	90 motor T°. reductor Func de lubricante.	Catalogos\SEW_EURODRIVE catalogo completo.pdf
Tren de transporte	Motoreductores/Sew	40	Catalogos\Mo
Desempacadora	Motores/ Sew	90	Catalogos\Mo
Lavadora de cajas	Motor/ Alston Motor/ Sew	60 90	Catalogos\Als
Lavadora de botellas	Motor ppal/ sew Reductor/ flender Motor extractor/ siemens Motores sopladores/siemens Motores mallas/ sew bombas de enjuague/uselect	90 T°. reductor Func de lubricante. 115 115 90 104	Catalogos\FLE
Inspector de botellas vacias	Motores: rueda estrella, rechazo, extractor./ Baldor.	Aislamiento clase F	Catalogos\BAL
Llenadora	Motores/Siemens.	115	Catalogos\Mo
Pasteurizadora	Bombas/ KSB	90	Catalogos\KSB
etiquetadoras	Motor principal/ Siemens bomba aceite/koppel	115 70	Catalogos\Mo
Empacadora	motores/sew	90	toreductores SEW..pdf
Paletizadora	Servomotor elevador: elevador, brazo/ sew	110 encoder 90 motor	Catalogos\ser

TABLEROS ELÉCTRICOS			
Equipo	**Fabricante**	**Temperatura max. admisible en funcionamiento (°C)**	**catálogo**
Breaker: pincipal de potecia. Auxiliar, auxiliar.	Merlin	40	Catalogos\BREAKER NS250N.pdf
Conectores de potencia	Telemaquine	60	elemaquine.pdf
PLC	Siemens	40 montaje vertical 60 montaje horizontal.	Catalogos\Si
Fuente de alimentacion.	Siemens	70	Catalogos\fu
Transformador	Delta	130	
Contactores	Telemaquine	60	elemaquine.pdf
Guardamotores	Telemaquine	40	elemaquine.pdf
Interfaces	Phoenix contac	55	LC BSC - 24 pohenix
Borneras	Phoenix contac	Aislamineto PA Perfluoro-Alkoxy 110	ornes_conexion_tornillo
Arrancadores suaves	Shneider electric	50	rancadores shneider
Relés de control	phoenix contac	85	ELE Phoenix contac.pdf
Variador de velocidad	Danfoss	70	ariador de velocidad

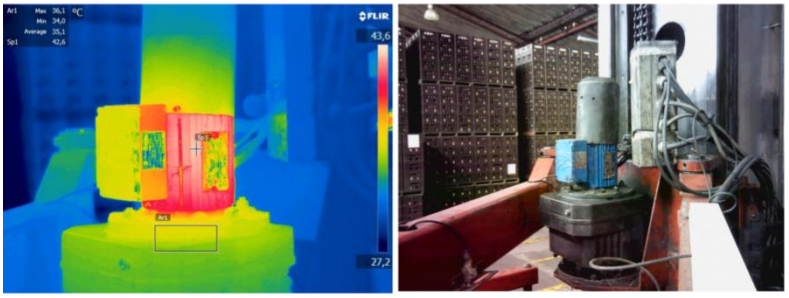
SISTEMAS DE VAPOR			
Equipo	**Fabricante**	**Temperatura max. admisible en funcionamiento (°C)**	**catálogo**
Válvulas Globo	Samsom	220 sin aislamiento	Catalogos\Valvulas samson.pdf
válvulas reguladoras	samsom	390	alvulas samson.pdf
válvulas globo	Klinger	140	alvulas klinger..pdf
válvula reguladora	Heaton	350	ribd.com/doc/6597628
Trampa de vapor	Klinger	140	Catalogos\TRAMPA DE VAPOR.pdf

ANEXO C. Patrones termográficos de los equipos modelos.

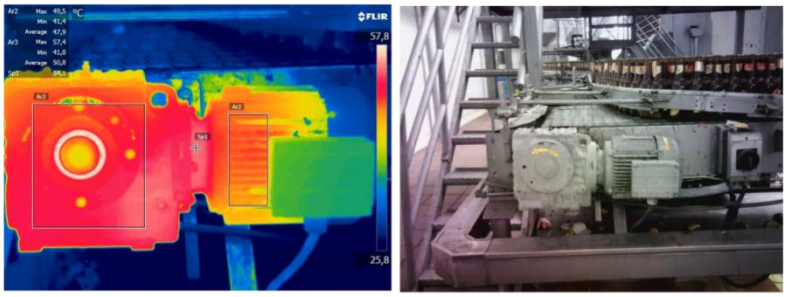
DEPALETIZADORA: MOTORREDUCTOR HORIZONTAL



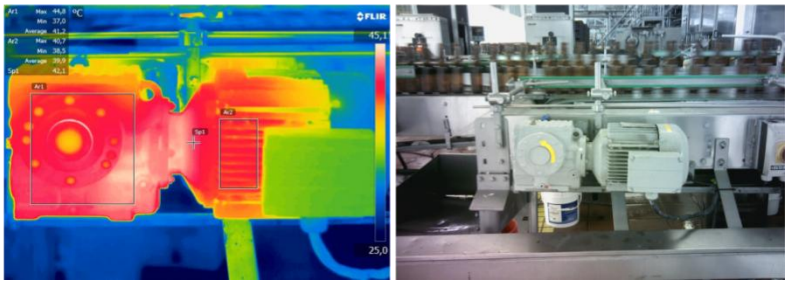
DEPALETIZADORA: MOTORREDUCTOR VERTICAL



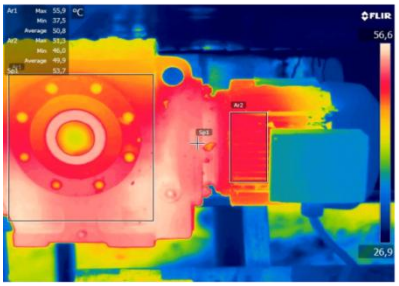
SISTEMA DE TRASPORTE: MOTORREDUCTOR SA67DT90S4

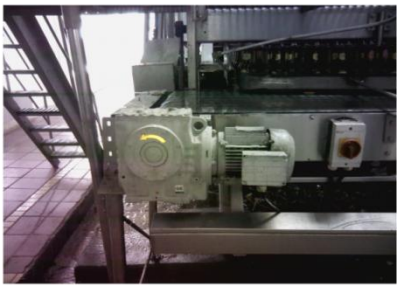


SISTEMA DE TRASPORTE: MOTORREDUCTOR SA57DT90S4

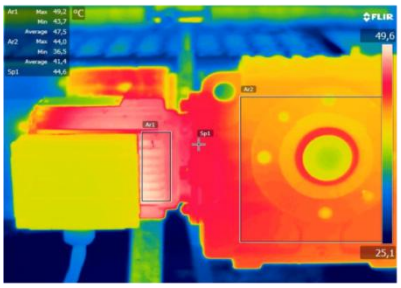


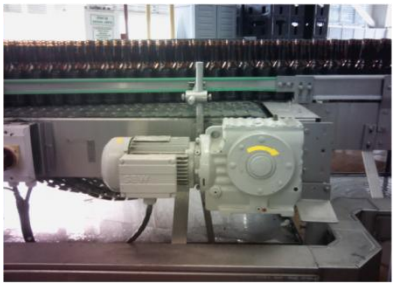
SISTEMA DE TRASPORTE: MOTORREDUCTOR SA77DT90S4



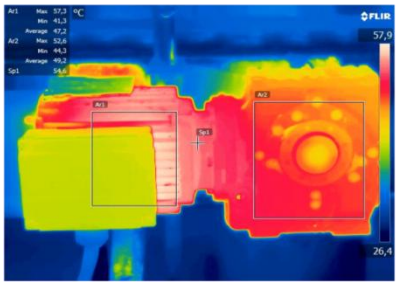


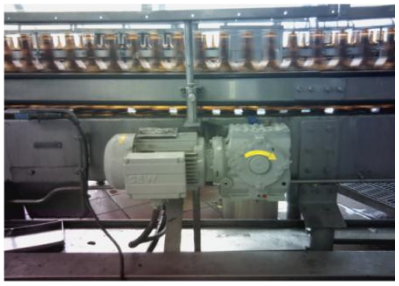
SISTEMA DE TRASPORTE: MOTORREDUCTOR SA67DT80S4



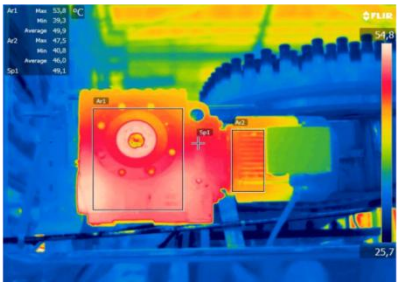


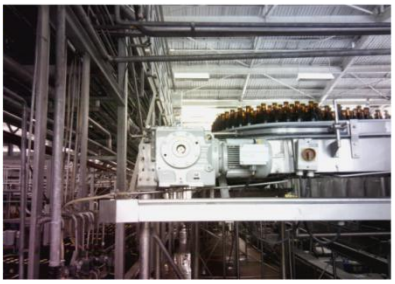
SISTEMA DE TRASPORTE: MOTORREDUCTOR SA47DT80N4



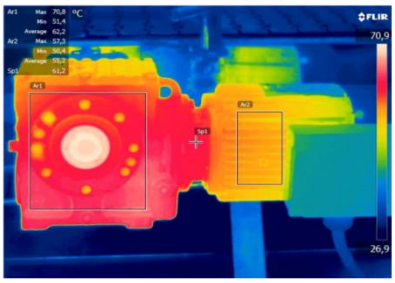


SISTEMA DE TRASPORTE: MOTORREDUCTOR SA77DT90L4

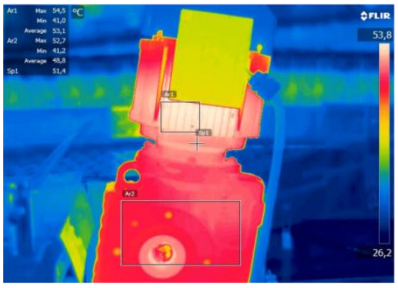




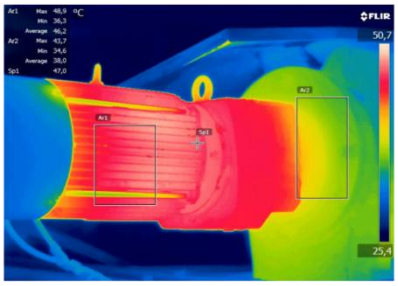
SISTEMA DE TRASPORTE: MOTORREDUCTOR SA77DV100M4

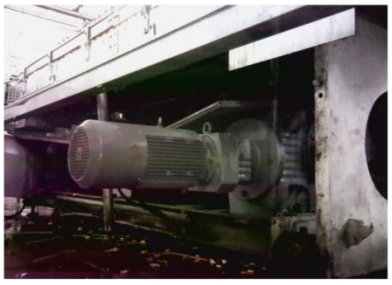


SISTEMA DE TRASPORTE: MOTORREDUCTOR SA57DT80N4

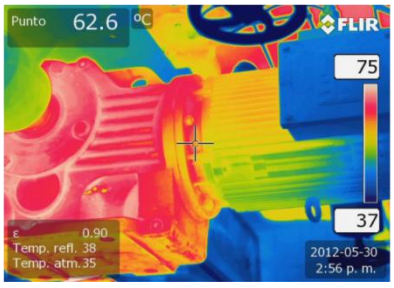


DESMPACADORA: MOTOR K107R77 DX112LM4

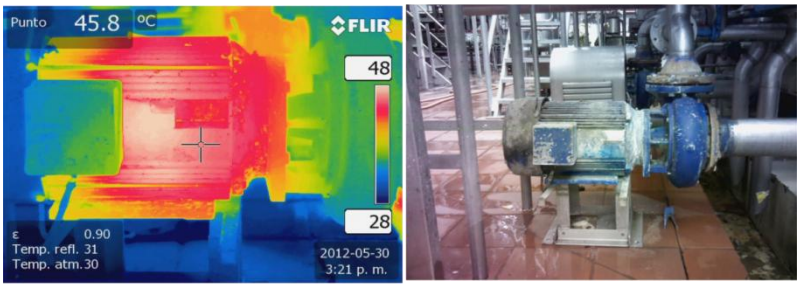




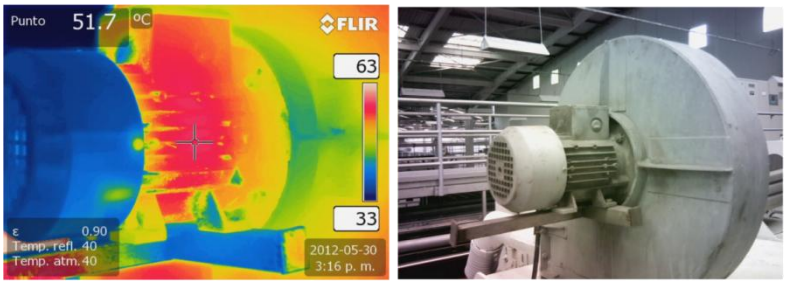
LAVADORA DE BOTELLLAS: MOTOR PINCIPAL



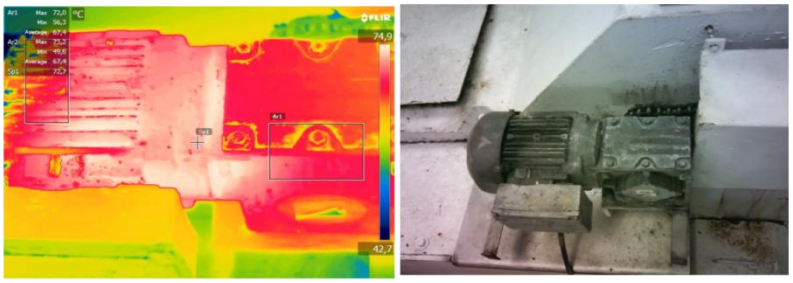
LAVADORA DE BOTELLLAS: BOMBA ENJUAGUE



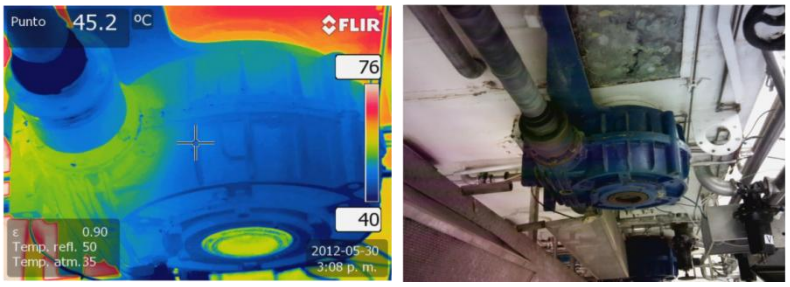
LAVADORA DE BOTELLLAS: MOTOR SOPLADOR



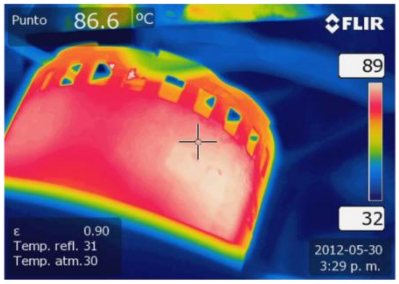
LAVADORA DE BOTELLLAS: MOTOR MALLAS



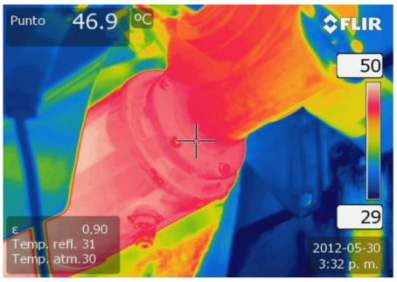
LAVADORA DE BOTELLLAS: ENGRANAJE TRANSMICION TONILLO-SINFÍN.



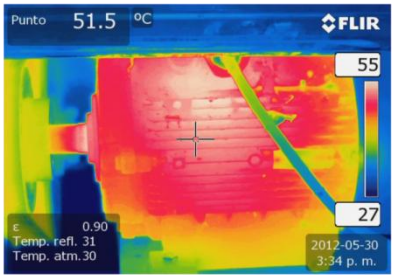
INSPECTOR OMNIVISON: MOTOR EXTRACTOR



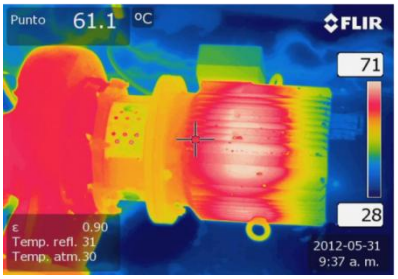
INSPECTOR OMNIVISON: MOTOR RECHAZO



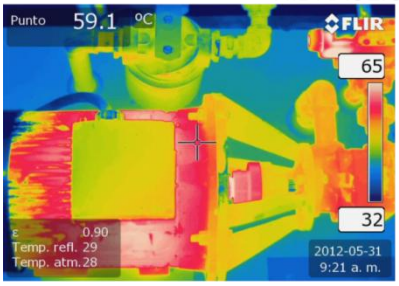
LLENADORA DE BOTELLAS: MOTOR PRINCIPAL



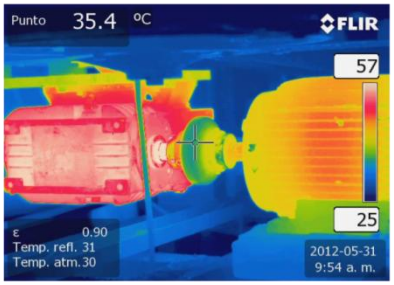
PASTEURIZADORA: BOMBA CENTRIFUGA AGUA + SODA



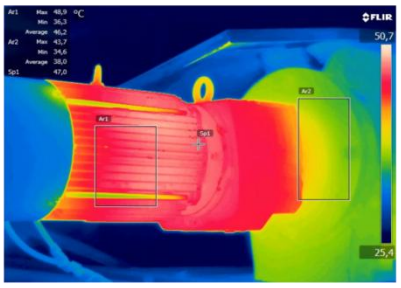
PASTEURIZADORA: MOTOR MOMBA SISTEMA HIDRAULICO PISTON

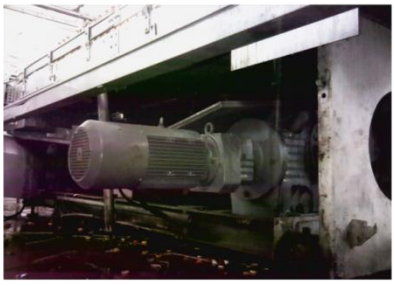


ETIQUETADORA: MOTOR PRINCIPAL

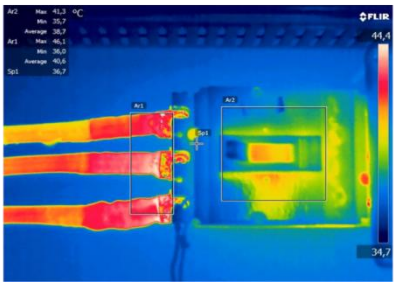


DESMPACADORA: MOTOR K107R77 DX112LM4

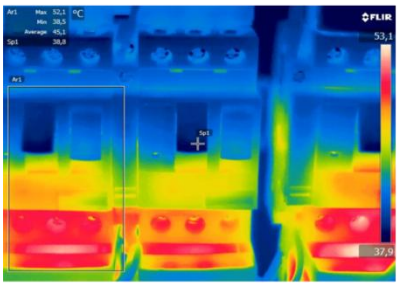




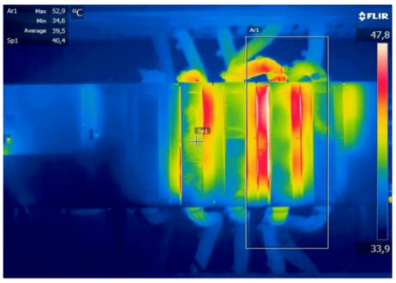
BREAKER PRINCIPAL DE POTENCIA



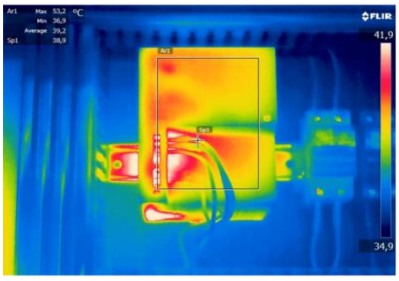
CONECTOR DE POTENCIA

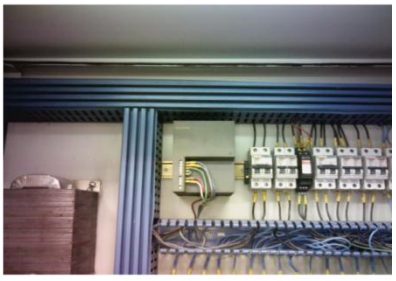


PLC

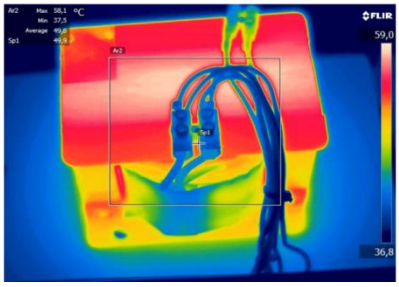


FUENTE DE ALIMENTACIÓN

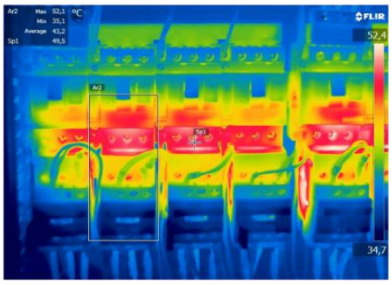




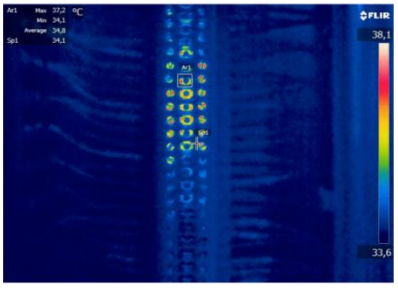
TRANSFORMADOR DE CONTROL



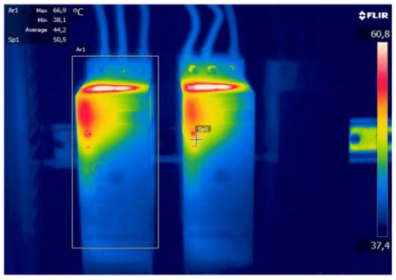
CONTACTORES



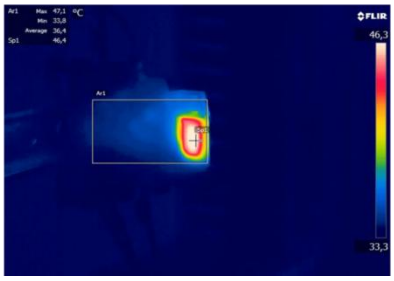
BORNERA



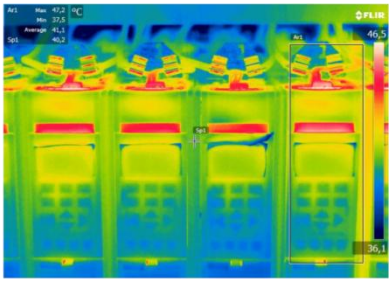
ARRANCADORES SUAVES



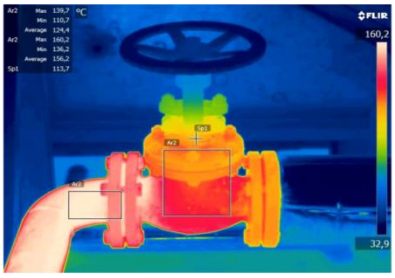
RELÉ DE CONTROL



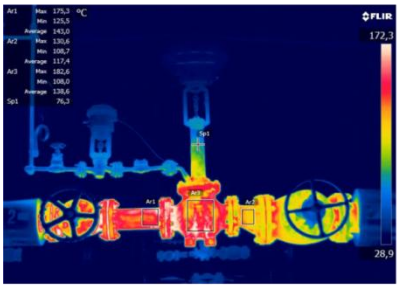
VARIADOR DE VELOCIDAD



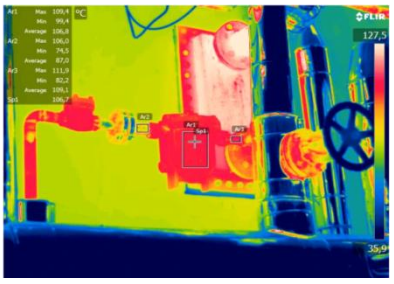
VALVULA GLOBO



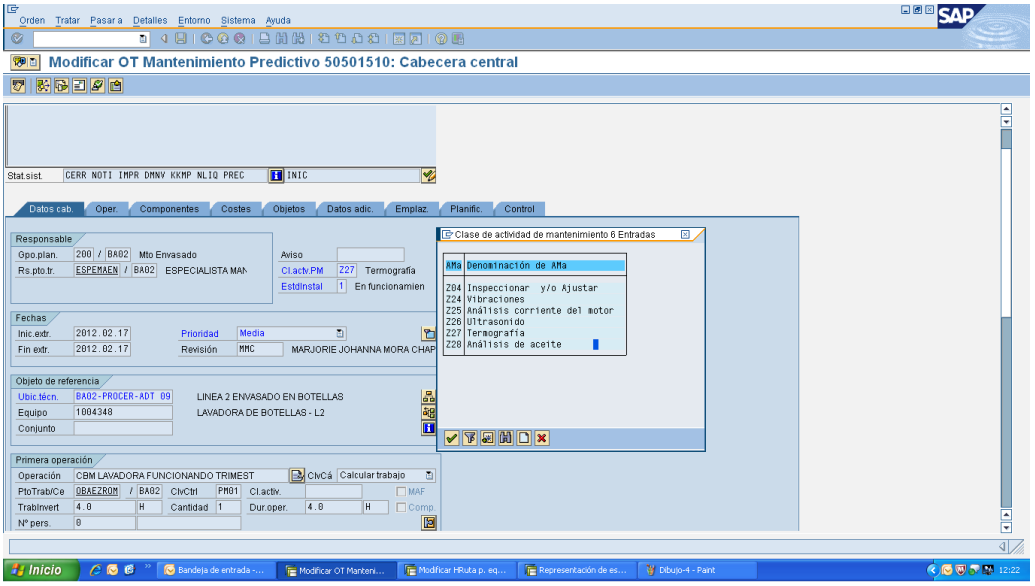
VÁLVULA CONTROL DE PRESIÓN



TRAMPA DE VAPOR



ANEXO D. Software sap para la generación de órdenes de trabajo.



Original/Delta Página 1

BAVARIA

ORDEN DE TRABAJO

Orden de trabajo No	50579230	Reserva	0013142381	Fecha	2012.07.09
Planta	BA02	Centro Costos	COBA023163	Prioridad	2
Responsable OT					

Descripción del trabajo : MTTO CBM TERMO ETQ 3 -L2 FUNCIONANDO

Texto ampliado del trabajo :

Clase de orden	ZOT4	OT Mantenimiento Predictivo
Codigo Actividad de Mtto	Z27	Termografía
Codigo puesto trabajo resp	ESPEMAEN	ESPECIALISTA MANTENIMIENTO ENVASE
Código Ubicación Tecnica	BA02-PROCER-ADT 09-LIN2ENVBOTE	LINEA 2 ENVASADO EN BOTELLAS
Código Equipo	1004355	ETIQUETADORA 3 - L2
Código Conjunto PM		

Fecha propuesta inicio trabajos	2012.09.05	Fecha real incio trabajos	
Fecha propuesta fin trabajos	2012.09.05	Fecha real fin trabajo	

OPERACIONES DE MANTENIMIENTO

	Clave Ctrol	No SubOp	Descripcion	Puesto de trabajo	Duración	Unidad	No Pers	No Notif	No SolP
10	PM01		CBM ETIQUETADORA 3 FUNCIONANDO BIMENSUAL MOTOR PRINCIPAL - (VERIFICAR ESTADO) SE DEBE REALIZAR TERMOGRAFIA Y COMPROBAR AMPERAJE TABLERO DE FUERZA - (VERIFICAR ESTADO) SE DEBE REALIZAR TEMOGRAFIA, PARA VERIFICAR TODOS LOS PUNTOS CALIENTES EXISTENTES	ESPEMAEN	4.0	H	1	0012219637	

COMENTARIOS