



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

**“IMPLEMENTACIÓN DE RUTAS ÓPTIMAS DE
ANÁLISIS TERMOGRÁFICO PARA LOS EQUIPOS
ROTATIVOS DE LA UNIDAD NO CATALÍTICAS II DE
LA REFINERÍA DE ESMERALDAS”**

**DAVID ROLANDO CUNALATA TOAPAXI
LUIS JAVIER CAJO PILLAJO**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

RIOBAMBA – ECUADOR

2009

IMPLEMENTACIÓN DE RUTAS ÓPTIMAS DE ANÁLISIS TERMÓGRÁFICO
PARA LOS EQUIPOS ROTATIVOS DE LA UNIDAD NO CATALÍTICAS II DE LA
REFINERÍA DE ESMERALDAS

POR

DAVID ROLANDO CUNALATA TOAPAXI

LUIS JAVIER CAJO PILLAJO

Egresados, Escuela de Ingeniería de Mantenimiento, Facultad de Mecánica

TESIS

Entrega como parcial complementaria de los requisitos para la obtención del título de
Ingeniero de Mantenimiento en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior
Politécnica de Chimborazo, 2009

Riobamba – Ecuador

TABLA DE CONTENIDOS

<u>CAPÍTULO</u>	<u>PÁGINA</u>
1. GENERALIDADES	1
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes	1
1.3 Justificación	2
1.4 Objetivos	3
1.4.1 Objetivo General	3
1.4.2 Objetivos Específicos	3
2. MARCO TEORICO	4
2.1 Mantenimiento Predictivo	4
2.1.1 Inspección Preventiva	4
2.1.2 Análisis y Diagnóstico	4
2.1.3 Beneficios de un Programa de M Pd	5
2.2 Introducción a la Termografía Infrarroja	6
2.2.1 Definición de Termografía Infrarroja	6
2.2.2 ¿Porqué es tan Importante la Temperatura?	6
2.2.3 ¿Qué Hace a la Termografía tan Útil?	6
2.2.4 Una Imagen Infrarroja	8
2.3 Ciencia Térmica Básica	9
2.3.1 Calor	9
2.3.2 Temperatura	9
2.3.3 Unidades de Medida de la Temperatura	10
2.3.4 Escala Absoluta de Temperatura	10
2.3.5 Escala Relativa de Temperatura	10

2.3.6	Comparación de Escalas de Temperatura...	11
2.3.7	Temperatura vs. Calor...	11
2.3.8	Las Leyes de la Ciencia Térmica...	12
2.4	Introducción a la Transmisión de Calor...	13
2.4.1	Modos de Transmisión de Calor...	13
2.4.2	Conducción...	14
2.4.3	Convección...	14
2.4.4	Radiación...	15
2.5	El Espectro Electromagnético...	16
2.5.1	Ondas...	17
2.5.2	Luz Visible...	17
2.5.3	Longitudes de Onda...	18
2.5.4	El Espectro Electromagnético...	19
2.5.5	Transmisión Atmosférica...	20
2.6	Intercambio de Energía por Radiación...	21
2.6.1	Modos de Intercambio de Energía por Radiación...	21
2.6.2	Radiación Incidente...	21
2.6.3	Propiedades de la Radiación – Incidente...	23
2.6.4	Radiación Saliente...	23
2.6.5	Emisión...	24
2.6.6	Otras Fuentes de Radiación...	25
2.6.7	Propiedades de la Radiación – Saliente...	27
2.6.8	Emisividad y Absortividad...	27
2.6.9	Cuerpos Negros...	28
2.6.10	Cuerpo Negro – Absorción...	28
2.6.11	Cuerpo Negro – Emisión...	29

2.6.12	Cuerpos Reales...	29
2.7	Interpretación de la Imagen Térmica...	30
2.7.1	¿Qué es una Imagen Térmica?.....	30
2.7.2	Temperatura Aparente – Definición.....	31
2.7.3	Temperatura Aparente “Medida”.....	32
2.7.4	Compensación.....	32
2.7.5	Traduciendo la Imagen.....	32
2.7.6	Efectos de la Emisividad.....	33
2.8	Técnicas de Análisis de la Imagen Térmica.....	34
2.8.1	Gradiente Térmico.....	34
2.8.2	Utilidades para Comprender Mejor la Imagen.....	34
2.8.3	Ajuste Térmico.....	35
2.8.4	Isotermia.....	36
2.8.5	Paletas de Color.....	37
2.8.6	Campos Térmicos Difíciles de Interpretar.....	39
2.8.7	Reflejos y Fuentes Puntuales.....	39
2.8.8	Diferencias de Emisividad.....	41
3.	ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA CÁMARA INFRARROJA.....	42
3.1	Conocimiento de la Cámara Termográfica.....	42
3.1.1	Visual vs. Infrarrojo.....	42
3.1.2	Control de la Imagen.....	43
3.1.3	Rango de Temperatura.....	44
3.1.4	Campo y Nivel.....	44
3.1.5	Capturando una Imagen.....	44
3.1.6	Las “Tres Grandes Reglas”.....	45

3.1.7	Constitución de la Cámara VisIR Ti 200...	46
3.2	Software de Medición Termográfica...	49
3.3	Software Condition RED...	49
3.3.1	Termografía de Cámara Integrada de Activos...	50
3.3.2	Funciones Especiales...	50
3.3.3	Comandos Específicos...	51
3.3.4	Diseño y Presentación...	52
3.3.5	Ventana de Detalles...	52
3.3.6	Árbol de Directorios...	53
3.3.7	Manejo del Directorio de Raíces...	53
3.3.8	Comandos Especiales...	54
3.3.9	Control de Propiedades...	54
3.3.10	Modificación de Plantillas...	55
3.3.11	Análisis y Tendencias...	56
3.3.12	Reportes...	57
3.4	Software TherMonitor...	58
3.4.1	Herramientas del Software TherMonitor...	58
4.	IMPLEMENTACIÓN DE RUTAS DE ANÁLISIS TERMOGRÁFICO.	59
4.1	Selección de Áreas de Trabajo...	59
4.1.1	Unidad No Catalíticas II...	59
4.1.2	Unidad de Crudo II (Destilación Atmosférica II)...	59
4.1.3	Unidad de Vacío II (Destilación al Vacío II)...	60
4.1.4	Unidad de Visbreaking II (Viscorreducción II)...	60
4.1.5	Patio de Bombas de la Unidad No Catalíticas II...	61
4.2	Parámetros de Funcionamiento de los Equipos Rotativos...	61

4.2.1	Datos de Placa Tomados en Planta...	61
4.2.2	Data Sheet...	62
4.2.3	Datos del Programa IMBAS 400 (Main/Tracker)...	63
4.3	Determinación de las Rutas de Medición...	69
4.4	Rutas para Monitoreo Termográfico a Equipos de Planta...	71
4.5	Rutinas de Monitoreo de Condición para Equipos de REE...	82
4.6	Diagrama de Configuración de la Unidad No Catalíticas II...	84
4.6.1	Rutas Cargadas en el Software Condition RED...	85
4.7	Tom as Termográficas...	90
4.7.1	Termogramas Realizadas en el Campo Industrial...	91
4.7.2	Tom as Efectuadas en el Campo Industrial...	92
4.8	Parámetros Estandarizados en la Inspección Termográfica...	93
4.8.1	Motores Eléctricos Trifásicos...	93
4.8.2	Aislamiento...	94
4.8.3	Temperatura Ambiente...	96
4.8.4	Inspección de Equipos Mecánicos...	98
4.8.5	Temperatura de Servicio y Comportamiento del Material de un Rodamiento...	99
4.8.6	Datos de Referencia...	101
5.	RESULTADOS...	104
5.1	Evaluación de Resultados...	104
5.2	Análisis Cualitativo...	104
5.2.1	Características del Principio Cualitativo...	104
5.3	Análisis Cuantitativo...	105
5.3.1	Características del Principio Cuantitativo...	105
5.4	Delta T...	105

5.5	Creación de Reportes y Tendencias...	106
5.5.1	Reporte Termográfico N ^o -01-MANT-2009...	106
5.5.2	Reporte Termográfico N ^o -02-MANT-2009...	114
5.5.3	Reporte Termográfico N ^o -03-MANT-2009...	125
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES...	135
6.1	Conclusiones...	135
6.2	Recomendaciones...	136

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

LINKOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE FIGURAS

<u>FIGURA</u>	<u>PÁGINA</u>
2.1	8
2.2	11
2.3	12
2.4	13
2.5	16
2.6	17
2.7	18
2.8	18
2.9	19
2.10	20
2.11	22
2.12	24
2.13	25
2.14	26
2.15	28
2.16	29
2.17	30
2.18	31
2.19	33

2.20	La Baja Emisividad Miente.....	33
2.21	Gradiente Térmico.....	34
2.22	La Misma Imagen con Ajuste Automático y Enfocada Térmicamente.	35
2.23	Imagen Térmica del Contactor.....	36
2.24	Imágenes Térmicas del Contactor con Isotermas.....	37
2.25	Paletas de Colores.....	38
2.26	Reflejos Causados por el Propio Operador.....	39
2.27	Los Ángulos de Entrada y Salida de una Reflexión son Iguales.....	40
2.28	Diferente Aspecto de las Partes Pintadas y no Pintadas de las Barras de un Cuadro Eléctrico.....	41
3.1	Principio de Funcionamiento de una Cámara Infrarroja.....	42
3.2	La Imagen Visual es Radiación Reflejada, la Infrarroja es Radiación Procedente del Propio Cuerpo.....	43
3.3	Rango de Temperatura y Nivel de Campo.....	43
3.4	Campo y Nivel.....	44
3.5	Cámara Termográfica VisIR Ti 200.....	46
3.6	Pantalla de la Cámara VisIR Ti 200.....	47
3.7	Herramientas de la Cámara VisIR Ti 200.....	48
3.8	Operación de la Cámara VisIR Ti 200.....	48
3.9	Almacenamiento de Datos de la Cámara VisIR Ti 200.....	49
3.10	Conectividad de la Cámara VisIR Ti 200.....	49
3.11	Condition RED.....	50
3.12	Comandos Específicos del Software Condition RED.....	51
3.13	Página Inicial del Software Condition RED.....	52
3.14	Ventana de Detalles.....	52
3.15	Árbol de Directorios.....	53
3.16	Directorio de Raíces.....	53

3.17	Comandos Especiales	54
3.18	Control de Propiedades	55
3.19	Modificación de Plantilla	55
3.20	Análisis de la Toma Termográfica	56
3.21	Tendencias de la Toma Termográfica	56
3.22	Reportes	57
3.23	Resumen del Software Condition RED	57
3.24	Pantalla Principal del Software TherMonitor	58
3.25	Herramientas del Software TherMonitor	58
4.1	Crudo II	59
4.2	Vacio II	60
4.3	Visbreaking II	60
4.4	Patio de Bombas de la Unidad No Catalíticas II	61
4.5	Data Sheet	62
4.6	Main/Tracker Ingreso del Usuario y Clave Personal	63
4.7	Main/Tracker Verificación de la Contraseña	63
4.8	Main/Tracker Especificaciones de Equipos	64
4.9	Main/Tracker Consultas de Equipos	64
4.10	Main/Tracker Consulta Combinada de Equipos	65
4.11	Main/Tracker Identificación de la Bomba	65
4.12	Main/Tracker Información de Referencia de la Bomba	66
4.13	Main/Tracker Consulta de Datos de la Bomba	66
4.14	Main/Tracker Datos de Diseño de la Bomba	67
4.15	Main/Tracker Identificación del Motor Eléctrico	67
4.16	Main/Tracker Información de Referencia del Motor Eléctrico	68
4.17	Main/Tracker Consulta de Datos del Motor Eléctrico	68

4.18	Main/Tracker Datos de Diseño del Motor Eléctrico...	69
4.19	Diagrama de Configuración...	84
4.20	Condition RED Inicio de las Rutas de Medición...	85
4.21	Creación de la Localización (Ubicación)...	85
4.22	Cuadro de Dialogo para la Ubicación...	86
4.23	Ubicación No Catalíticas II...	86
4.24	Creación de la Sub-ubicación Crudo II...	87
4.25	Sub-ubicación Crudo II...	87
4.26	Creación de la Sub-ubicación Vacío II...	88
4.27	Creación de la Sub-ubicación Visbreaking II...	88
4.28	Sub-ubicación del Equipo a Inspeccionar...	89
4.29	Equipos a Inspeccionar...	89
4.30	Total de Equipos a Inspeccionar...	90
4.31	Cámara VisIR Ti 200...	90
4.32	Toma Realizada en el Campo al Motor CP21A...	91
4.33	Toma Realizada en el Campo a la Bomba CP21A...	91
4.34	Práctica en el Campo Industrial...	92
4.35	Regla de Montsinger...	94
4.36	Niveles de Temperatura para las Diferentes Clases...	95
4.37	Fotografía e Imagen Térmica de una Bomba con Rodamientos Sospechosos...	101
4.38	Bombas de Referencia, una Desconectada y la otra Funcionando Correctamente...	102
4.39	Alojamiento del Rodamiento de la Bomba Normal y de la Defectuosa...	102

LISTA DE TABLAS

<u>TABLA</u>		<u>PÁGINA</u>
4.1	LISTA DE EQUIPOS DE LA UNIDAD NO CATALÍTICAS II...	70
4.2	RUTA 1: UTILIDADES VAPOR	71
4.3	RUTA 2: UTILIDADES AIRE	71
4.4	RUTA 3: SETRIA	72
4.5	RUTA 4: SISTEMA DE AGUA Y REVERSIÓN EN BALAO ...	72
4.6	RUTA 5: PLANTA DE HIDROTRATAMIENTO	73
4.7	RUTA 6: REFORMACIÓN CATALÍTICA CONTINUA	73
4.8	RUTA 7: CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO	74
4.9	RUTA 7A: CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO	74
4.10	RUTA 8: UNIDAD MEROX	75
4.11	RUTA 9: UNIDAD DE CONCENTRACIÓN DE GASES	75
4.12	RUTA 9A: UNIDAD DE CONCENTRACION DE GASES	76
4.13	RUTA 10: UNIDAD DE DESTILACIÓN ATMOSFÉRICA I... ..	76
4.14	RUTA 10A: UNIDAD DE DESTILACIÓN ATMOSFÉRICA I... ..	77
4.15	RUTA 11: UNIDAD DE VISBREAKING I... ..	77
4.16	RUTA 12: UNIDAD DE DESTILACIÓN AL VACIO I... ..	78
4.17	RUTA 13: UNIDAD DE HIDRODESULFURADORA	78

N E M A	A s o c i a c i ó n N a c i o n a l d e M a n u f a c t u r a s E l é c t r i c a s (N a t i o n a l E l e c t r i c a l M a n u f a c t u r e r s A s s o c i a t i o n)
A I E E	I n s t i t u t o A m e r i c a n o d e I n g e n i e r o s E l é c t r i c o s (A m e r i c a n I n s t i t u t e o f E l e c t r i c a l E n g i n e e r s)
I E E E	I n s t i t u t o d e I n g e n i e r o s E l é c t r i c o s y E l e c t r ó n i c o s (I n s t i t u t e o f E l e c t r i c a l a n d E l e c t r o n i c E n g i n e e r s)
I E C	C o m i s i ó n E l e c t r o t é c n i c a I n t e r n a c i o n a l (I n t e r n a t i o n a l E l e c t r o t e c h n i c a l C o m m i s i o n)

L I S T A D E A N E X O S

A N E X O 1 :	A p l i c a c i o n e s d e M o n i t o r i z a d o d e P r o c e s o s .
A N E X O 2 :	P r o c e s o d e I n s p e c c i ó n I R .
A N E X O 3 :	F r e c u e n c i a s T í p i c a s d e l a I n s p e c c i ó n T e r m o g r á f i c a .
A N E X O 4 :	N o r m a s I S O R e l a c i o n a d a s c o n l a T e r m o g r a f í a .
A N E X O 5 :	C r o n o g r a m a d e M o n i t o r e o T e r m o g r á f i c o p a r a E q u i p o s d e P l a n t a .

SUMARIO

Se ha implementado Rutas Óptimas de Análisis Termográfico para los Equipos Rotativos de la Unidad No Catalíticas II de la Refinería Estatal Esmeraldas, con la finalidad de establecer un sistema de control e inspección, que permita mantener bajo vigilancia y garantizar el correcto funcionamiento de cada uno de estos equipos.

La investigación se realizó obteniendo información de las condiciones de trabajo a la que están sometidos cada uno de los equipos, para esto se utilizó la tecnología de la Refinería Estatal Esmeraldas, la misma que financió el presente trabajo para mejorar la calidad de inspecciones a los equipos de las diferentes unidades y tener un mejor criterio de comportamiento de los mismos.

Se determinó una nueva técnica de monitoreo que nos brinda la oportunidad de evaluar el equipo mientras está desempeñando sus funciones operativas normales sin interferir con el proceso productivo, la capacidad de detectar fallas incipientes antes de

que estas se conviertan en fallas catastróficas los cuales pueden provocar paradas de emergencia, además se logró establecer una línea base la cual representa el buen funcionamiento de cada uno de los equipos.

Con la implementación de estas rutas mediante termografía se garantiza con mayor precisión el diagnóstico de cada uno de los equipos ya que es un complemento para las demás técnicas predictivas existentes en la unidad de Confiabilidad, se recomienda compartir la información con los demás unidades a fin de fortalecer la interpretación del análisis de situaciones específicas.

SUMARY

Optim un Routes of Therm o-graphical Analysis have been im plem ented for the rotary equipment of the Non Catalytic Unit II of the State Refinery Esmeraldas to establish a control and inspection system permitting to maintain under surveillance and guarantee the correct functioning of each equipment.

The investigation was carried out by obtaining information of the work conditions to which each equipment subjected. For this the Esmeraldas State Refinery technology was used. It funded the present work to improve the quality of equipment inspections of the different units and have a better criterion about its behavior.

A new monitoring technique which made it possible to evaluate the equipment while performing its normal operative functions without interfering with the productive process troubleshooting capacity before these faults become serious causing emergency

stops. It was also possible to establish a baseline which represents the good functioning of each equipment.

With the implementation of these routes through thermography the diagnosis of each equipment is guaranteed with a higher accuracy as it is a complement of the other predictive techniques existing in the Reliability Unit. It is recommended to share the information with the other units to strengthen the interpretation of the analysis of specific situations.

DEDICATORIA

A mis padres Luis y Narcisa, quienes con su ejemplo, consejos y apoyo han sembrado, sentimientos de responsabilidad y un profundo anhelo para seguir siempre adelante venciendo cualquier obstáculo que se presente en el camino.

A mis hermanas Diana y Erika, por su incondicional apoyo en todos los momentos de mi etapa estudiantil.

Luis Javier Cajo Pillajo

A G R A D E C I M I E N T O

A Dios mi más profundo agradecimiento por todas las bendiciones que he recibido, a mis padres quienes velaron por mi preparación.

Al director de tesis Ing. Manuel Morocho y asesor Ing. Marco Almendáriz por sus sugerencias, conocimientos y su guía acertada en el desarrollo del presente trabajo.

A la Refinería Estatal Esmeraldas por brindarme la oportunidad de realizar mi tesis de grado requisito indispensable para obtener el título de Ingeniero de Mantenimiento.

Gracias.

Luis Javier Cajo Pillajo

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1 Introducción

Sin dudas, el desarrollo de nuevas tecnologías ha marcado sensiblemente la actualidad industrial mundial. En los últimos años, la industria mecánica se ha visto bajo la influencia determinante de la electrónica, la automática y las telecomunicaciones, exigiendo mayor preparación en el personal, no sólo desde el punto de vista de la operación de la maquinaria, sino desde el punto de vista del mantenimiento industrial.

La realidad industrial, matizada por la enorme necesidad de explotar eficaz y eficientemente la maquinaria instalada y elevar a niveles superiores la actividad del mantenimiento. No remediamos nada con grandes soluciones que presuponen diseños, innovaciones, y tecnologías de recuperación, si no mantenemos con una alta disponibilidad nuestra industria.

Es decir, la industria tiene que distinguirse por una correcta explotación y un mantenimiento eficaz. En otras palabras, la operación correcta y el mantenimiento oportuno constituyen vías decisivas para cuidar lo que se tiene.

1.2 Antecedentes

PETROECUADOR con su filial PETROINDUSTRIAL REE (Refinería Estatal Esmeraldas) es una de las empresas ecuatorianas de refinación de petróleo que requiere técnicas predictivas como en este caso la TERMÓGRAFA que ayuda a detectar la aparición temprana de fallas de cada uno de los equipos rotativos, de tal manera que el mantenimiento se lo haga oportunamente y se evite de esta forma paralizaciones perjudiciales para la empresa.

En la actualidad la técnica predictiva con la ayuda de la termografía constituye una herramienta indispensable para el seguimiento de los rangos permisibles de temperatura en los equipos razón por la cual la Refinería Estatal Esmeraldas adquiere una cámara termográfica de última tecnología para contar con un confiable análisis de tendencias termográficas.

1.3 Justificación

Los derivados que se obtienen a partir del petróleo constituyen un aporte indispensable para el desarrollo del país por lo cual se ve la necesidad de implementar rutas óptimas de diagnóstico termográfico en los equipos rotativos de la unidad NO CATALÍTICAS II de la Refinería Estatal Esmeraldas, el mismo que nos permitirá monitorear en busca de fallas prematuras que nos indicarán de manera exacta la tendencia del deterioro que tienen los diferentes componentes y en base a ello realizar las correcciones que sean necesarias hasta alcanzar la máxima disponibilidad de los sistemas.

Por tanto la presente implantación de rutas se convertirá en una guía técnica práctica para el monitoreo mediante TERM OGRA FÍA que es un sistema de mantenimiento predictivo moderno que nos permitirá evitar paradas imprevistas muy perjudiciales para la em presa.

1.4 O b j e t i v o s

1.4.1 O b j e t i v o G e n e r a l

- Implementar rutas óptimas de análisis term ográfico para los equipos rotativos de la Unidad No Catalíticas II de la Refinería de Esm eraldas

1.4.2 O b j e t i v o s E s p e c í f i c o s

- Conocer y manejar el equipo de inspección.
- Establecer métodos y técnicas de prueba.
- Preparar ficha de datos técnicos de los equipos rotativos de la Unidad No Catalíticas II.
- Elaborar la ruta term ográfica.
- Realizar inspecciones term ográficas.
- Ejecutar tendencias com parativas.
- Interpretar y evaluar resultados con respecto a códigos y especificaciones aplicables.
- Organizar y reportar resultados de las inspecciones realizadas.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Mantenimiento Predictivo [1]

El Mantenimiento Predictivo denominado también Monitoreo por Condición, es el proceso de determinar la condición de una maquinaria mientras está en operación, para programar la más eficiente y eficaz reparación de los componentes con problemas antes de que falle.

Con el MPd, el análisis de la maquinaria toma dos formas que se superponen y se complementan:

2.1.1 Inspección Preventiva

Registra y analiza las características de la maquinaria periódicamente. Esa información es proyectada para observar la tendencia que muestren los cambios de condición de la máquina en un periodo de tiempo. La proyección de la tendencia de condición permite la detección temprana de problemas y se usa para programar la reparación de una parte de máquina específica que necesita mantenimiento.

2.1.2 Análisis y Diagnóstico

Es utilizado para identificar, comprender y corregir la causa de problemas existentes en la maquinaria. Es también utilizado para mejorar el funcionamiento de máquinas y para monitorear ó afinar maquinaria nueva.

La principal meta del M Pd es maximizar el tiempo de buen funcionamiento de la máquina y minimizar el número de paradas. Esto reduce significativamente los tiempos ociosos de parada.

Esta técnica es aplicable a toda la maquinaria, (no solo a aquellas que empiezan a presentar problemas), el M Pd mejora la operación de la maquinaria llevándola a un nivel óptimo, excediendo frecuentemente las especificaciones originales de los equipos.

2.1.3 Beneficios de un Programa de M pd

Los tiempos muertos por equipo descompuesto en las fábricas traen cuantiosas pérdidas por lo que se ha demostrado que las plantas industriales con programas de M Pd establecidos están en condiciones de:

- Maximizar la productividad.
- Extender con seguridad los intervalos entre reparaciones.
- Minimizar el número de rutinas de “desmontar, inspeccionar y reparar si es necesario” del overhaul.
- Mejora los tiempos de reparación.
- Incrementa la vida útil de las máquinas.
- Ayuda en la planificación de las reparaciones en lo referente a mano de obra y requerimientos de repuestos.

- Mejora la calidad del producto.
- Logra un considerable ahorro de dinero en costos de mantenimiento.
- Reduce el costo del producto.

2.2 **Introducción a la Termografía Infrarroja** [2]

2.2.1 **Definición de Termografía Infrarroja**

La termografía infrarroja es una técnica que permite, a distancia y sin ningún contacto, medir y visualizar temperaturas de superficie con precisión ya que la física permite convertir las mediciones de la radiación infrarroja en medición de temperatura.

Termografía significa “escritura con calor”. La imagen generada se denomina termograma ó imagen térmica. “Infrarrojo” es lo que se hace sin contacto.

2.2.2 **¿Porqué es tan Importante la Temperatura?**

La temperatura es una variable fundamental virtualmente para cualquier situación y en todos los procesos. Esto puede ser muy exagerado, pero es verdad.

En la industria, la destilación, proceso típico en las plantas petroquímicas, está basada en la diferencia de temperaturas de ebullición y condensación de los diferentes componentes del crudo. Mediante su utilización, se pueden separar las diferentes fracciones del petróleo. La temperatura es simplemente fundamental y tener control sobre ella implica mayor calidad y seguridad.

2.2.3 **¿Qué Hace a la Termografía tan Útil?**

Existen tres razones que hace a la termografía infrarroja una herramienta de utilidad fundamental.

Es sin Contacto - La Medida se Realiza de Forma Remota

- En primer lugar, mantiene al usuario fuera de peligro. Un ejemplo donde esto es muy importante es en aplicaciones de mantenimiento eléctrico – los componentes en funcionamiento simplemente no se pueden tocar. Y si no está pasando intensidad, no habrá incremento de temperatura que medir.

- En segundo lugar, la termografía no es intrusiva ó afecta de ninguna forma al cuerpo a caracterizar. Solo observamos la radiación que sale, que se emite aunque no se mida. Esto es una condición muy importante para muchas aplicaciones.

Es Bidimensional

Es posible la comparación directa entre áreas del mismo cuerpo: podemos medir la temperatura en dos puntos ó en cien dentro de la misma imagen, y compararlas.

Una imagen es perfecta para hacerse la idea inicial de una situación. Con una imagen enseguida se determinan donde están los problemas, ó que puntos tienen un especial interés. El análisis del campo térmico es más fácil a partir de la imagen, en este caso de la propia termografía que lo visualiza.

Se Realiza en Tiempo Real

La toma de imágenes en tiempo real permite realizar una visualización muy rápida de procesos estacionarios ya que ningún cuerpo evita emitir su propia radiación.

Las medidas con contacto directo siempre implican la presencia de una constante de tiempo que implica un cierto retraso temporal en la medida. La característica de tiempo real de la termografía infrarroja nos permite capturar rápidas variaciones del campo térmico.

2.2.4 Una Imagen Infrarroja



Figura 2.1: Imagen Térmica de un Automóvil

A continuación, una explicación para ayudar a comprender una imagen infrarroja. Las áreas más oscuras son aquellas que irradian menos radiación térmica, ello significa que son las zonas del cuerpo más frías. Las zonas más brillantes significan lo contrario, más radiación y áreas más calientes.

¿Qué nos dice la imagen? podemos descubrir muchas cosas, parece que los faros están en funcionamiento, ó se han apagado recientemente. El coche acaba de ser utilizado, porque las ruedas están más calientes que el resto del coche. El aspecto del parabrisas nos muestra que el calefactor está en marcha, y además qué zonas del cristal

calienta. El motor está en funcionamiento, ó se ha parado hace muy poco, porque el radiador aun permanece bastante caliente detrás de la rejilla frontal.

2.3 Ciencia Térmica Básica [3]

La temperatura y el calor son a menudo conceptos mal interpretados, y a menudo son utilizados incorrectamente – a veces se utiliza un término en lugar de otro.

2.3.1 Calor

El calor es una energía en movimiento, debido a una diferencia de temperaturas [4]. Un objeto puede contener calor, ó mejor dicho energía térmica.

2.3.2 Temperatura [5]

La temperatura es una medida de la velocidad media de las moléculas y átomos que componen la materia.

La temperatura ayuda a definir en qué condiciones se encuentra un objeto, contrariamente a la energía, que es una medida absoluta, la temperatura es relativa.

Deberíamos pensar acerca de la temperatura como un determinado nivel en una escala, mientras que el calor es algo que se puede contar. La temperatura y la energía están relacionadas, pero no son lo mismo. La temperatura de un objeto aumentará ó disminuirá cuando la energía térmica de un cuerpo aumente ó disminuya, por tanto la temperatura es la consecuencia de más ó menos energía.

La temperatura no nos dice cuánta energía almacena un cuerpo, ¡solo al nivel que se encuentra! (“lo alta que está”).

2.3.3 Unidades de Medida de la Temperatura

Existe un límite en la cantidad de frío posible, que es lo más frío que podemos imaginar, el cero absoluto. Si consideramos el hecho de que la temperatura está relacionada con el movimiento molecular, el mínimo movimiento imaginable es que estén quietas, es decir, que no exista en absoluto movimiento.

Así la temperatura de cero absoluto es ese punto teórico en que las moléculas no se mueven en absoluto. Decimos teórico, porque dicha temperatura no se dan en los procesos naturales, ni siquiera en los puntos más fríos del espacio exterior.

2.3.4 Escala Absoluta de Temperatura

El cero absoluto es el punto de comienzo lógico para las escalas de temperatura absoluta, y así es como estas se definen – comienzan en el cero absoluto. La escala Kelvin es el estándar mundial, y su unidad es el Kelvin, (K).

2.3.5 Escala Relativa de Temperatura

En una escala relativa de temperaturas se considera como cero un punto diferente al cero absoluto, como el punto de congelación ó el punto de evaporación del agua, el punto de referencia debe ser escogido de forma que pueda ser fácilmente accesible, y no debe estar afectado por factores externos como la presión ó la altitud.

La escala de temperatura relativa más común es la escala Celsius. La unidad es el grado Celsius, ($^{\circ}\text{C}$).

2.3.6 Comparación de Escalas de Temperatura

Las escalas Celsius y Kelvin tienen orígenes diferentes, pero las variaciones miden lo mismo, ($1^{\circ}\text{C} = 1\text{K}$)

La conversión entre una temperatura expresada en Kelvin a Celsius, o viceversa, es realmente muy simple. Todo lo que hay que hacer es sumar o restar 273.

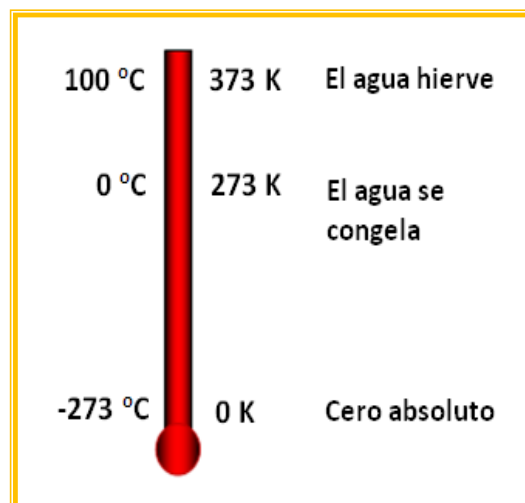


Figura 2.2: Conversión de Temperaturas Celsius y Kelvin

2.3.7 Temperatura vs. Calor

Los conceptos de temperatura y calor son algunas veces difíciles de separar. Incluso a veces pensamos que son los mismos, porque están muy relacionados.

Si cogemos dos objetos, cada uno a una temperatura de 100 $^{\circ}\text{C}$ y que contiene 100 julios de energía, los ponemos en contacto, la temperatura obviamente no será dos

veces mayor. Sin embargo, en el conjunto final, habrá el doble de energía, respecto a cuando los cuerpos se encontraban separados.

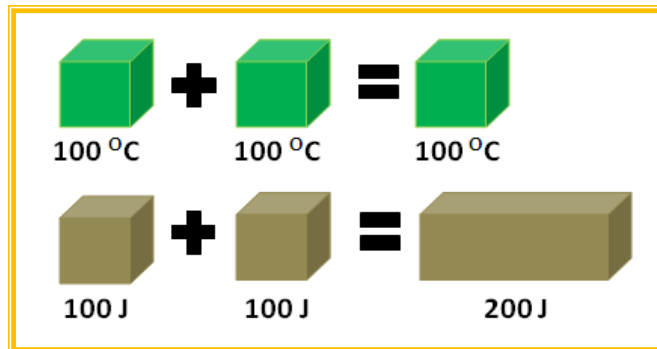


Figura 2.3: La Temperatura es Relativa pero el Calor no

Por tanto, la temperatura es una medida relativa que compara unos cuerpos con otros. El calor es una magnitud “contable”, que se puede medir en términos absolutos.

2.3.8 Las Leyes de la Ciencia Térmica

Conocer la ciencia térmica es importante para comprender la transmisión de calor, que a su vez es fundamental para un termógrafo.

La ciencia térmica describe el comportamiento del calor, y existen una serie de reglas estrictas en dicho comportamiento, nos concentraremos en dos de ellas. Las llamaremos “Conservación de la energía” y “Sentido de flujo de calor”.

➤ **Conservación de la energía**

La primera ley de la ciencia térmica es la siguiente:

La suma de la energía total contenida en un sistema cerrado permanece constante.

Algunas veces también se conoce como principio de conservación de la energía, que es otra forma de decir lo mismo: la energía no puede ser creada ó destruida, solo se transforma.

En la realidad no existe ningún sistema absolutamente cerrado. Pero si recordamos el principio de conservación de la energía. Se pueden entender fácilmente los sistemas que no son cerrados. Si la energía no puede ser creada ni destruida, toda la energía que se aporte a un sistema debe poder contabilizarse de alguna forma.

➤ **Sentido de flujo de calor**

La segunda ley de la ciencia térmica es la siguiente:

El calor fluirá en forma espontánea desde las zonas calientes hacia las más frías, y esta es la forma en que se transfiere calor de un cuerpo a otro.

Observe que dice que el calor fluirá, no es una posibilidad. Si existe una diferencia de temperatura en dos puntos, existirá un flujo de calor. La diferencia de temperatura es lo que produce el flujo de calor, mientras más alta sea la temperatura de un cuerpo más fáciles que suministre calor a otro.

2.4 **Introducción a la Transmisión de Calor** [6]

2.4.1 **Modos de Transmisión de Calor**

El calor puede transmitirse de diferentes formas.

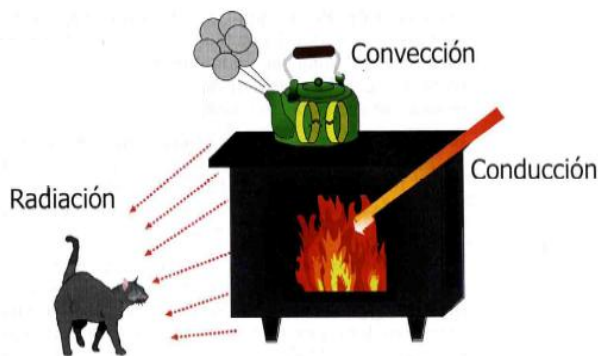


Figura 2.4: Modos de Transmisión de Calor

2.4.2 Conducción

Es el paso de la energía calorífica a las moléculas adyacentes mediante la transferencia de energía vibratoria ó el movimiento de los electrones libres sin que se aprecie un movimiento observable de partículas.

El calor y la temperatura están relacionados con el movimiento molecular. Cuando dos moléculas se acercan suficientemente y entran en contacto, la que tiene mayor temperatura, posee mayor movimiento molecular. De esta forma transmitirá parte de esta energía a la molécula que se mueve más lenta. Este proceso puede continuar como un proceso en cadena entre moléculas. Si, por ejemplo, calentamos una barra de metal por uno de sus extremos, el calor se transmitirá molécula a molécula hasta llegar al extremo más frío.

La transmisión de calor por conducción puede tener lugar entre diferentes objetos que están en contacto, y en el lugar interior de los objetos. No importa el tipo de material. La conducción tiene lugar en sólidos, líquidos y gaseosos. El hecho de que sólo exista transmisión de calor por conducción dentro de un sólido supone que es muy

importante su comprensión para los termógrafos. La inmensa mayoría de las cosas que vemos con nuestra cámara son sólidos.

2.4.3 Convección

Convección es el modo de transmisión de calor en un fluido que está en movimiento debido a fuerzas gravitatorias, u otra fuerza externa, por lo que dicho fluido transmite calor de un lugar a otro.

La convección es un modo de transmisión de calor que se basa en el transporte de masa dentro de un fluido – un líquido ó un gas. La convección tiene lugar dentro del fluido. La transmisión de calor que tiene lugar entre un fluido y la superficie de un sólido, ó en la superficie de fluidos que no se mezclan, corresponde a conducción.

Es muy importante para un termógrafo comprender la transmisión de calor por convección, porque aunque siempre solemos estudiar sólidos, los campos de temperatura en los sólidos se ven muy afectados también por la convección. Puesto que la mayoría de gases son invisibles para la cámara infrarroja, en las pocas ocasiones en las que se puede visualizar el proceso de convección directamente es en la superficie de los líquidos. En muchos casos, el efecto de la convección se muestra indirectamente en la superficie de los sólidos.

2.4.4 Radiación

La transmisión de calor por emisión y absorción de radiación térmica se denomina transmisión de calor por radiación.

La molécula ha jugado un papel muy importante en el análisis realizado hasta el momento sobre la transmisión de calor. En conducción, las moléculas chocan entre sí y se transfieren la energía cinética; en convección las moléculas pueden moverse libremente como respuesta a la fuerza de la gravedad ó a otra fuerza exterior. La transmisión de calor por radiación es completamente diferente en ese sentido, porque no requiere ningún medio material. De hecho, como mejor se transmite la radiación térmica es en ausencia total de moléculas – en el vacío.

➤ **Radiación Térmica**

La radiación térmica es una forma de radiación electromagnética. Los cuerpos emiten radiación térmica como consecuencia de su temperatura. Puesto que todos los objetos tienen una temperatura, todos emiten radiación térmica. A mayor temperatura, mayor cantidad de radiación térmica será emitida. La radiación térmica se propaga fácilmente a través de los gases, pero con mucha mayor dificultad, ó incluso bloqueada por la mayoría de los líquidos y sólidos.

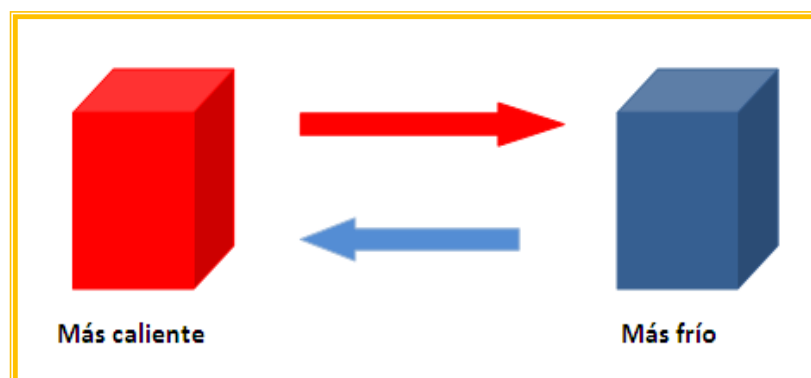


Figura 2.5: Transmisión de Calor por Radiación

La transmisión de calor por radiación se lleva a cabo por emisión y absorción de radiación térmica. Todos los cuerpos emiten y absorben radiación térmica al mismo

tiempo. El calor neto transmitido es la diferencia entre lo que se ha absorbido y lo que se ha emitido.

2.5 El Espectro Electromagnético [7]

La radiación electromagnética cubre un vasto espectro de diferentes tipos de radiación, que utilizamos para una amplia variedad de aplicaciones. Aquí vamos a dar una perspectiva sobre el espectro infrarrojo que utilizamos en termografía.

2.5.1 Ondas

La *longitud de onda*, λ (lambda) es la distancia de un pico al siguiente. Las ondas de radiación electromagnética se componen de crestas y valles. La unidad más común para la longitud de onda es el micrómetro, μm ($1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{m}$). Otra unidad para la longitud de onda cuando es muy pequeña es Å, ångström ($1 \text{Å} = 10^{-10} \text{m}$).

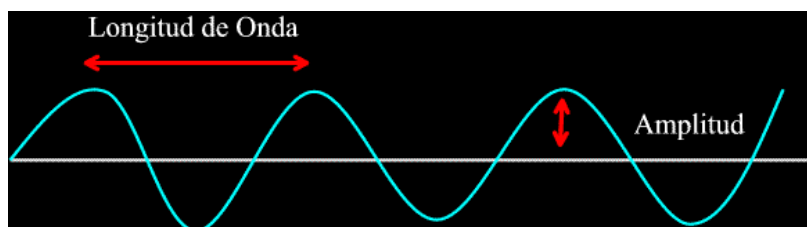


Figura 2.6: Onda Electromagnética

La *frecuencia* de la onda está determinada por las veces que ella corta la línea de base en la unidad de tiempo casi siempre medida en segundos, esta frecuencia es tan importante que las propiedades de la radiación dependen de ella y está dada en Hertz.

La *amplitud de onda* está definida por la distancia que separa el pico de la cresta o valle de la línea de base (A).

2.5.2 Luz Visible

Isaac Newton fue el primero en descomponer la luz visible blanca del Sol en sus componentes mediante la utilización de un prisma. Así, el ojo humano percibe los colores, que se corresponden con un rango de longitudes de onda muy estrechos. Los límites del ojo son aproximadamente $0.4 \mu\text{m}$ (violeta) a $0.7 \mu\text{m}$ (rojo). Entre ambos se encuentran el resto de colores del espectro visible, como vemos en el arco iris.

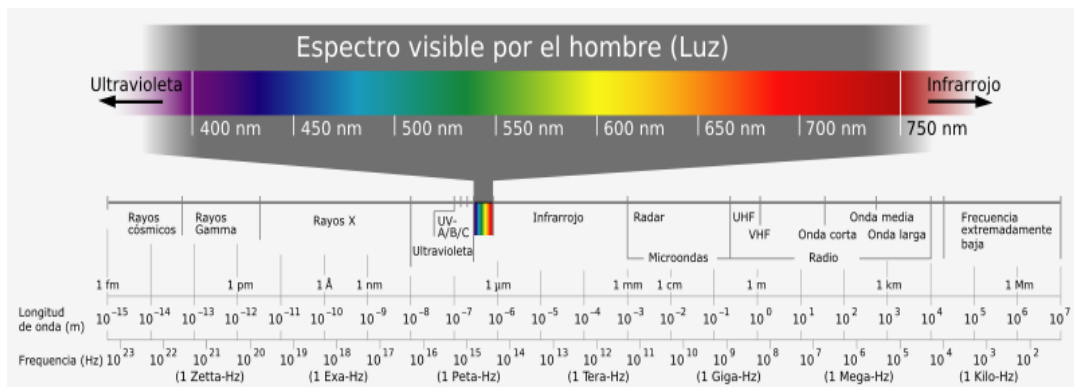


Figura 2.7: Luz Visible

2.5.3 Longitudes de Onda

Los rayos gamma tienen la longitud de onda más corta, que se va incrementando hacia abajo según la lista expuesta. Las longitudes de onda que más se utilizan son:

- Gamma
- Rayos X
- Ultravioleta
- Visible
- Infrarrojo
- Microondas

➤ Ondas de radio

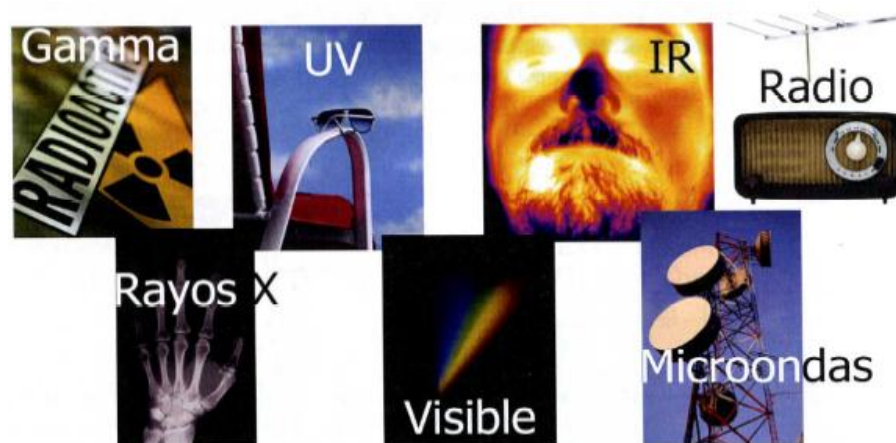


Figura 2.8: Bandas de Longitud de Onda

2.5.4 El Espectro Electromagnético

Las bandas de longitudes de onda no se definen de forma brusca, cambian gradualmente y se superponen unas con otras. Las definiciones están basadas en el uso que le damos, más que en sus características físicas. La luz visible lo es porque podemos verla. Existen varias definiciones acerca de lo que significa infrarrojo, y hay incluso algunas sugerencias de cómo llamar a las diferentes partes del infrarrojo.

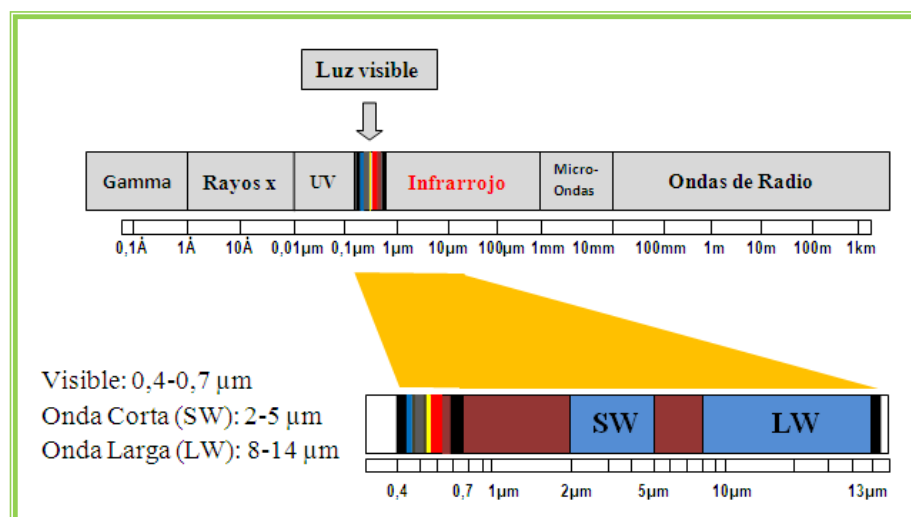


Figura 2.9: El Espectro Electromagnético

El esquema de la figura anterior pretende dar una idea de cómo están situadas las diferentes longitudes de onda. La onda corta puede llegar a $5.6 \mu\text{m}$, pero no suele definirse nunca por debajo de 2. La onda larga puede comenzar ligeramente por debajo de $8 \mu\text{m}$ y con un límite máximo que puede estar por arriba ó debajo de $14 \mu\text{m}$ ($12 \mu\text{m}$ es un número común).

- > Visible: $0.4 - 0.7 \mu\text{m}$
- > Infrarrojo (IR) cercano: $\sim 1 \mu\text{m}$
- > IR Onda corta: $2 - 5 \mu\text{m}$
- > IR Onda larga: $8 - 14 \mu\text{m}$

2.5.5 Transmisión Atmosférica

En termografía, utilizamos los términos onda corta (SW) y onda larga (LW). Para explicar por qué utilizamos estos rangos de ondas en termografía, necesitamos observar la forma en que la atmósfera transmite la radiación.

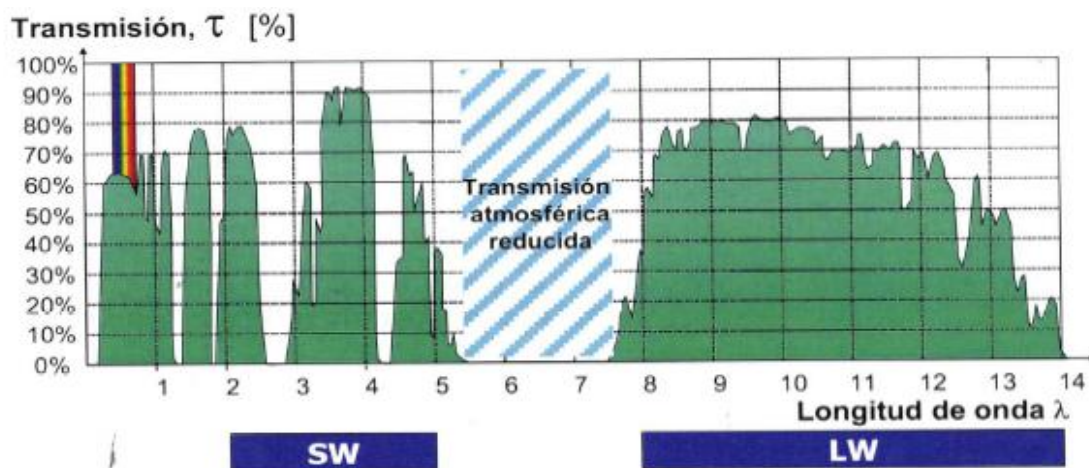


Figura 2.10: Transmisión Atmosférica en Diferentes Longitudes de Onda

El gráfico muestra la transmisividad de la atmósfera, para diferentes longitudes de onda a largas distancias. Se ha representado para una distancia de una milla náutica

(1852m), a temperatura de 15.5 °C, con una humedad relativa del 70%, y a nivel del mar. El área bajo el gráfico es la proporción que queda de la radiación emitida por el cuerpo a una distancia de una milla náutica. Podemos ver que en la parte visible, se transmite alrededor del 60%.

Para los rangos de longitudes de onda corta y larga del infrarrojo se transmite un porcentaje más elevado que en el rango visible.

Pero para las longitudes de onda entre los rangos de onda corta y larga, prácticamente no se transmite nada. Toda la radiación es absorbida por la atmósfera.

La radiación que no atraviesa la atmósfera se suele llamar parte atenuada. La atenuación de la atmósfera es mucho más pequeña para distancias más cortas. A una distancia de 10 m, por ejemplo, es ciertamente mucho menor que lo que se muestra en el gráfico. Es suficiente sin embargo, para hacer que esta banda de atenuación atmosférica sea totalmente inaceptable para termografía.

2.6 Intercambio de Energía por Radiación [8]

Para ser capaces de comprender, analizar una imagen infrarroja, y llegar a medir temperatura a partir de la radiación, primero debemos comprender como se comporta la radiación. Necesitamos saber que ocurre cuando la radiación incide sobre la superficie de un objeto, y de que se compone la radiación procedente del mismo.

2.6.1 Modos de Intercambio de Energía por Radiación

Las formas en que se puede intercambiar radiación entre los cuerpos son:

- Emisión (ϵ) – radiación producida
- Absorción (α) – radiación retenida
- Reflexión (ρ) – radiación reflejada
- Transmisión (τ) – radiación que se deja pasar a través

2.6.2 Radiación Incidente

“La radiación incidente es toda radiación que llega a un cuerpo desde su entorno”

En el siguiente diagrama, la radiación incidente se denomina W_{INCID} .

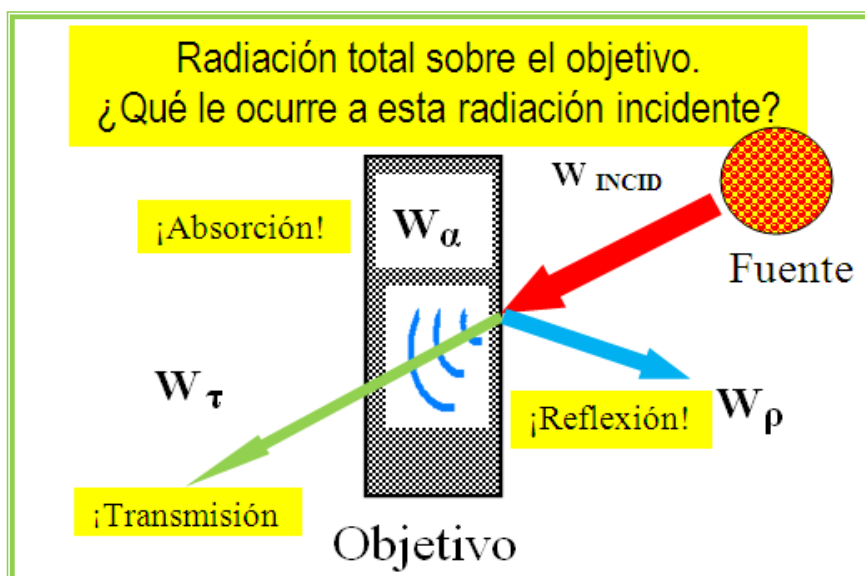


Figura 2.11: La Radiación Incidente se Divide en Varias Componentes

Cuando la radiación W_{INCID} llega a la superficie objetivo, sólo puede ocurrirle tres cosas. Una cierta parte será absorbida, y el cuerpo retendrá esa energía. Esta se conoce como W_{α} en el diagrama. Otra será la reflejada, la llamada W_{ρ} esta parte no afecta al cuerpo objetivo de ninguna forma. También tendremos algo de radiación

transmitida, W_{τ} , es la que pasa a través del objeto, y tampoco le afecta en absoluto. En

conclusión la radiación total incidente sobre un cuerpo, una cierta proporción será

- Absorbida
- Reflejada
- Transmitida

Si lo escribimos como una ecuación. Tendrá la siguiente forma:

$$W_{\alpha} + W_{\rho} + W_{\tau} = W_{\text{INCID}} = 100\% \quad (2.1)$$

Es fácil darse cuenta de que esto tiene mucho que ver con lo que se ha aprendido anteriormente, que la energía no puede ser creada ó destruida. En esta ecuación, se ha contabilizado toda la energía incidente.

2.6.3 Propiedades de la Radiación – Incidente

La siguiente pregunta es qué controla este comportamiento. ¿Cómo sabremos qué proporción de radiación será absorbida, reflejada y transmitida? Todo depende de las propiedades del objeto.

Un cuerpo tiene una cierta capacidad ó habilidad para:

- Absorber – llamada Absortividad, α (alfa)
- Reflejar – llamada Reflectividad, ρ (rho)
- Trasm itir – llam ada Transm isividad, τ (tau)

La suma de los tres siempre será 1.

Si lo expresamos como una fórmula:

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (2.2)$$

2.6.4 Radiación Saliente

“La radiación saliente es toda la radiación que deja la superficie de un cuerpo, independientemente de su fuente original”.

Las radiaciones incidentes y salientes son diferentes en un aspecto muy importante. Cuando hablamos de radiación incidente no importa realmente de dónde viene dicha radiación, sólo que viene de una fuente diferente del propio objetivo. Con la radiación saliente hay que analizar la radiación que viene de tres fuentes específicas.

La primera parte de la radiación saliente con la que vamos a trabajar es la que origina el cuerpo por sí mismo.

2.6.5 Emisión

En termografía infrarroja, la parte más importante de la radiación saliente es la parte emitida. Por tanto examinaremos la radiación emitida separadamente, antes de comentarla en combinación con otras componentes de la radiación saliente.

Un cuerpo tiene cierta eficiencia ó habilidad para:

- **Em itir** – llam ada em isividad, ϵ (épsilon)

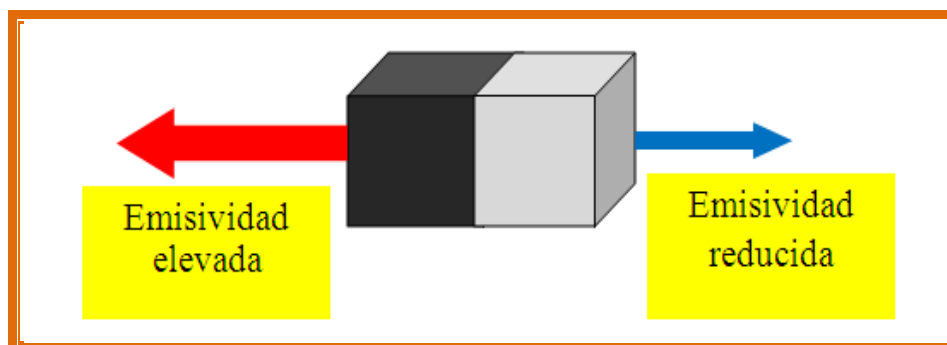


Figura 2.12: La Misma Temperatura, Diferente Emisividad

Este cuerpo tiene una emisividad más elevada en la parte izquierda que en la derecha. Aunque la temperatura es la misma en ambos lados, se emitirá más radiación hacia la izquierda. Si observamos este cuerpo con la cámara infrarroja, el lado izquierdo parecerá estar más caliente.

➤ **Radiación emitida**

La radiación (W_ϵ) se emite en todas direcciones. La cantidad de radiación que se emite depende de la temperatura del cuerpo y de su emisividad. Todos los cuerpos tienen temperatura y emisividad, por tanto todos los objetos emiten radiación infrarroja.

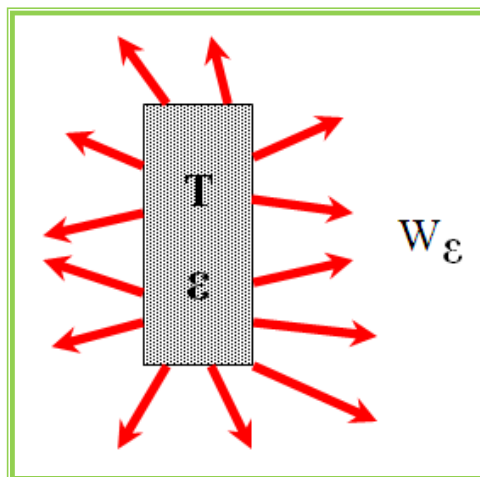


Figura 2.13: Un Objeto Emite Radiación Térmica en Todas Direcciones

A mayor temperatura se emitirá más radiación. Lo contrario también es cierto a temperaturas más bajas, los cuerpos emiten menos radiación. La emisividad se comporta de forma similar. Un cuerpo con mayor emisividad irradiará más que otro de

baja emisividad, incluso si la temperatura es la misma. Lo que determina la potencia irradiada por el cuerpo es la combinación de los dos factores, temperatura y emisividad.

2.6.6 Otras Fuentes De Radiación

Acabamos de comentar la primera de estas componentes, que es la energía emitida por el objeto por sí mismo. Las otras dos fuentes son los objetos que se encuentran delante ó detrás del cuerpo, el cual reflejara su radiación, ó permitirá que pase a su través.

En la siguiente figura tenemos tres fuentes de radiación, la del objetivo por sí mismo, una fuente delante, y otra detrás. Suponemos que estamos mirando el objetivo de derecha a izquierda. La radiación saliente del objetivo es una combinación de la que genera el objetivo por sí mismo, la que viene de la fuente de calor que se refleja en el objetivo, y la que procede de la fuente de calor de transmisión y pasa a través del objetivo.

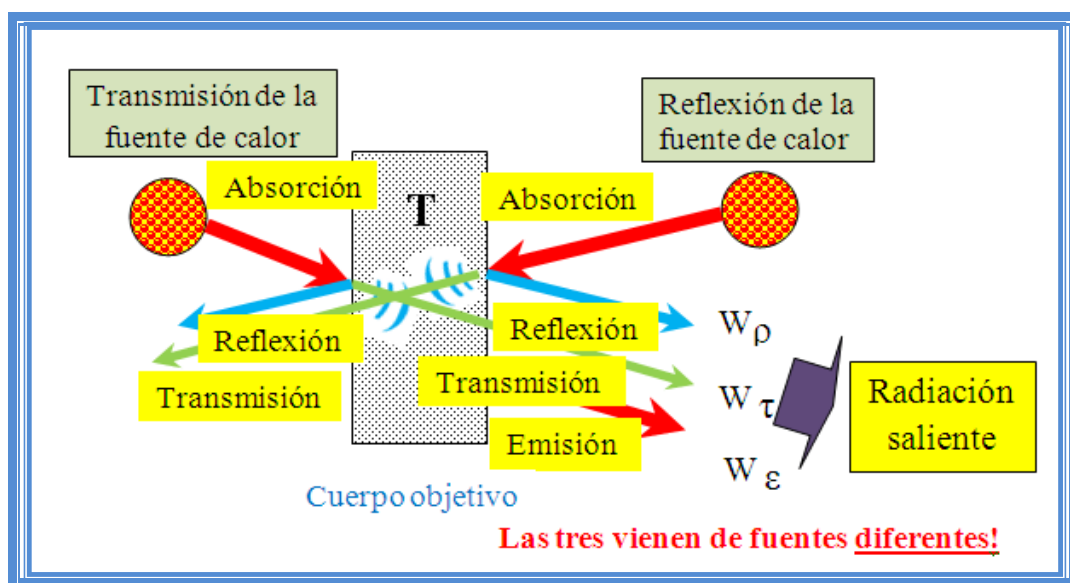


Figura 2.14: Las Tres Fuentes de Radiación Saliente del Cuerpo

Este tiene una temperatura y emisividad, de la cual depende la potencia de radiación proveniente del objetivo. La potencia de radiación de las otras dos componentes no depende de la temperatura del objetivo, sino de las emisividades de la fuente de reflexión y transmisión respectivamente. La magnitud de las componentes reflejada y transmitida, depende de la reflectividad y transmisividad del objetivo mismo.

Se concluye de lo anterior lo siguiente; la radiación saliente puede tener tres fuentes diferentes.

De la radiación total saliente de un cuerpo, una cierta proporción será:

- Emitida, por el objeto por si mismo
- Reflejada, desde una fuente enfrente del cuerpo
- Transmitida, desde una fuente detrás del cuerpo

Si se expresa en forma de ecuación, quedara como sigue:

$$W_{\epsilon} + W_{\rho} + W_{\tau} = W_{SALI} = 100\% \quad (2.3)$$

Esta ecuación es muy similar a la que se ha formulado respecto a la radiación incidente. La única diferencia entre las expresiones es cambiar W_{INCID} por W_{SALI} y W_{α} por W_{ϵ} . Pero no es todo. No debemos olvidar que la radiación saliente procede de tres fuentes diferentes.

2.6.7 Propiedades de la Radiación – Saliente

Un cuerpo tiene una cierta capacidad ó habilidad para:

- Emitir, llamada emisividad, ϵ (épsilon)

- Reflejar, llamada reflectividad, ρ (rho)
- Transmitir, llamada transmisividad, τ (tau)

La suma de las tres es siempre 1

Si se escribe como fórmula:

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1 \quad (2.4)$$

2.6.8 Emisividad y Absortividad

“La capacidad ó habilidad de un cuerpo para absorber radiación incidente coincide con su capacidad para emitir su propia energía en forma de radiación”.

Esta afirmación es la expresión verbal de algo que es fundamental en la ciencia de la radiación. Dice que si un cuerpo es bueno para absorber radiación, también es bueno para emitir su propia energía como radiación. Y por supuesto también es cierto lo opuesto – un cuerpo que absorbe poco también emite poco. Un “mal absorbedor” opaco es de hecho un buen reflector, por tanto un buen reflector será un mal emisor.

2.6.9 Cuerpos Negros

Un cuerpo negro es un radiador ideal. Los cuerpos negros no existen en la vida real. Los simuladores de cuerpos negros son muy importantes en termografía, puesto que son utilizados para la calibración de los sistemas de medida infrarroja. Un simulador de cuerpo negro se compara de forma muy similar a un cuerpo ideal negro dentro de su aplicación habitual.

2.6.10 Cuerpo Negro – Absorción

Un cuerpo negro ideal absorberá el 100% de la radiación incidente, lo que significa que ni refleja ni transmite ninguna radiación.

Formulas:

$$\alpha = 1 \quad (2.5)$$

$$\rho + \tau = 0 \quad (2.6)$$

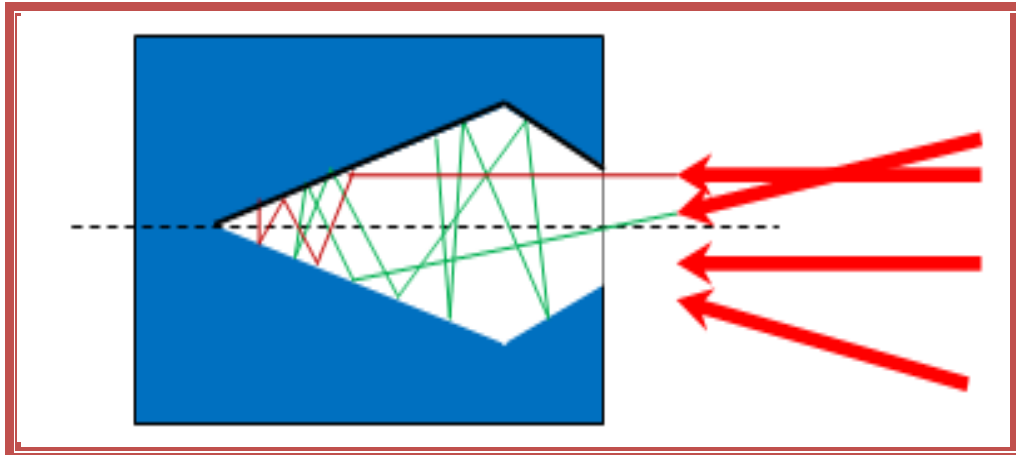


Figura 2.15: Modelo de un Simulador de Cuerpo Negro que Absorbe Toda la Radiación Incidente.

2.6.11 Cuerpo Negro - Emisión

Un cuerpo negro emite el 100% de su energía, lo que significa que no existe ningún otro objeto que sea capaz de emitir más energía.

Fórmulas:

$$\varepsilon = 1 \quad (2.7)$$

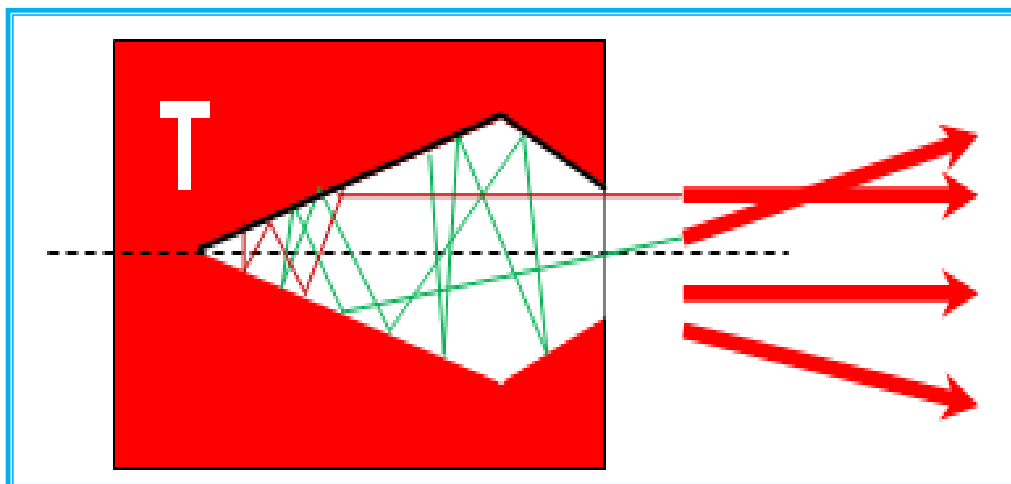


Figura 2.16: Modelo de Simulador de Cuerpo Negro con la Eficiencia del 100% .

2.6.12 Cuerpos Reales

En el trabajo práctico, jamás encontramos cuerpos negros, sino “cuerpos reales”. Los cuerpos reales pueden tener todas las características, esto es la habilidad de emitir, absorber, reflejar y transmitir radiación infrarroja. La mayoría de los cuerpos no son transparentes, sino opacos.

$$\tau = 0 \quad (2.8)$$

Parar los termógrafos esto es una suerte, porque se requieren condiciones especiales para poder medir temperatura a partir de la radiación infrarroja sobre un cuerpo transparente.

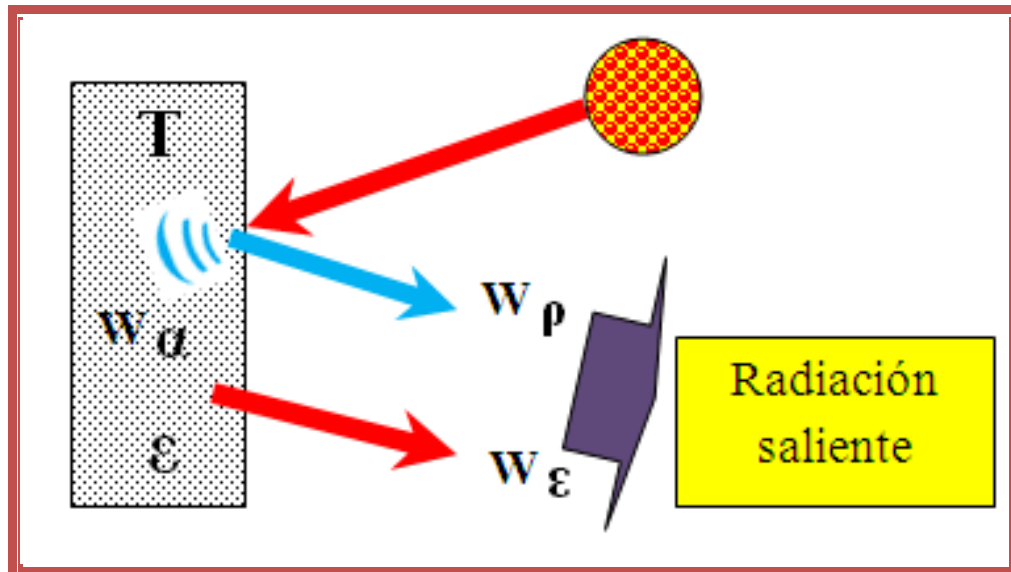


Figura 2.17: Radiación Saliente de un Cuerpo Opaco

Cuando se cumplan todas estas condiciones, la fórmula para radiación quedará:

Fórmula:

$$\varepsilon + \rho = 1 \quad (2.9)$$

Esto es válido para cuerpos reales no transparentes. Para este tipo de objetos debemos considerar siempre que del cuerpo sale radiación procedente de DOS fuentes – reflejada y emitida. Es muy importante recordarlo y comprenderlo, no solo para ser capaces de medir temperatura, sino también para interpretar correctamente la imagen infrarroja.

2.7 Interpretación de la Imagen Térmica [9]

2.7.1 ¿Qué es una Imagen Térmica?

Es una imagen de la intensidad de radiación térmica. Un fallo común es suponer también que es una imagen de la distribución de temperaturas. No lo es.



Figura 2.18: Imagen Visual e Infrarroja de la Misma Escena

Aquí tenemos una imagen de una ventana, en el espectro visual y en el infrarrojo. Hay un hombre con una cámara infrarroja enfrente de la ventana, pero en la imagen visual lo único que vemos en la ventana es lo que hay afuera del edificio. En la imagen térmica, podemos ver el reflejo del hombre. El hombre representa una radiación reflejada más elevada que el resto de la habitación.

2.7.2 Temperatura Aparente – Definición

Temperatura aparente es la lectura no compensada a partir de una cámara infrarroja, que contiene toda la radiación incidente sobre el instrumento, independientemente de su fuente. La imagen térmica será siempre una imagen de temperatura aparente.

La temperatura aparente es diferente de la temperatura real – que está relacionada con el movimiento de átomos y moléculas. La temperatura aparente es una lectura de temperatura no compensada, justo como la ve el instrumento infrarrojo. Para obtener una lectura de temperatura real a partir de un instrumento infrarrojo, debemos compensar la influencia de varios factores.

2.7.3 Temperatura Aparente “Medida”

Algunas veces nos interesa cuantificar la temperatura aparente. Para “medir” temperatura aparente, se fijara la emisividad a 1.0 y la distancia a 0 metros, lo que significa que no se lleva a cabo ninguna compensación.

2.7.4 Compensación

Para ser capaces de medir temperatura debemos compensar la imagen de temperatura aparente. Se realiza la compensación fijando lo que usualmente llamamos parámetros de objeto.

Todos los instrumentos infrarrojos con capacidad de medida real tienen un menú para la introducción de aquellos parámetros.

2.7.5 Traduciendo la Imagen

Cuando se ha realizado la compensación, ¡es importante recordar que lo que la cámara está viendo no ha cambiado! La imagen que está mirando en el visor aún es una imagen de temperatura aparente.

Aquí hay dos versiones de la misma imagen térmica, con dos combinaciones diferentes de valores para los parámetros de objeto.

La diferencia en dichos parámetros cambia drásticamente las lecturas de temperatura en las tres zonas que están marcadas en la imagen.

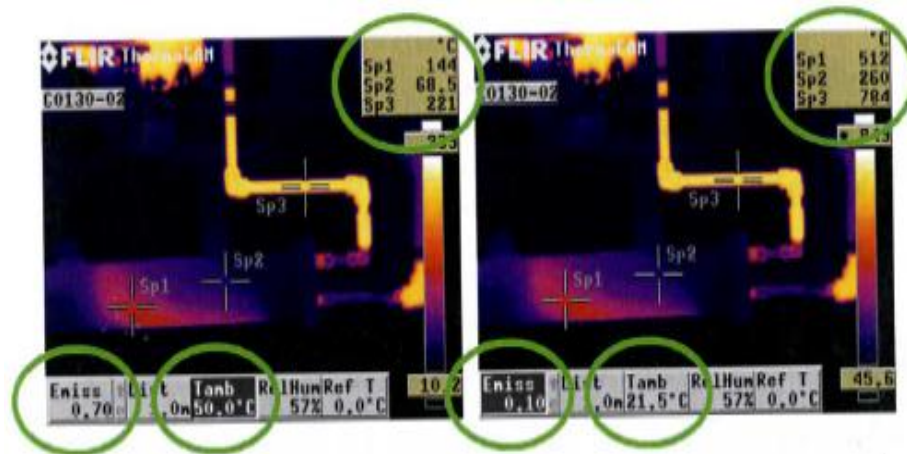


Figura 2.19: Compensación de Parámetros de Objetos para la Misma Imagen

2.7.6 Efectos de la Emisividad

La emisividad juega un papel fundamental en termografía. Por tanto:

- ✓ **Con un objetivo de alta emisividad;**
 - La temperatura aparente del objetivo será cercana a su temperatura real
 - Puede confiar en lo que ve

- ✓ **Con un objetivo de baja emisividad;**
 - La temperatura aparente del objetivo será cercana a la temperatura aparente de los cuerpos de alrededor
 - No puede confiar en lo que ve

Si quiere una regla sencilla y fácil de recordar, trate de recordar esto.



Figura 2.20: La Baja Emisividad Miente

2.8 Técnicas de Análisis de la Imagen Térmica [10]

2.8.1 Gradiente Térmico

Un gradiente térmico es una variación de temperatura gradual con la distancia que indica a menudo la existencia de transmisión de calor por conducción. Muchos de los objetivos en termografía son sólidos opacos, y en ellos la transmisión de calor solo se produce por conducción.

Un gradiente térmico nos muestra el sentido de flujo de calor, y nos dirige así hacia la fuente de calor. La presencia ó ausencia de un gradiente térmico nos dará claves muy importantes para analizar las imágenes térmicas.

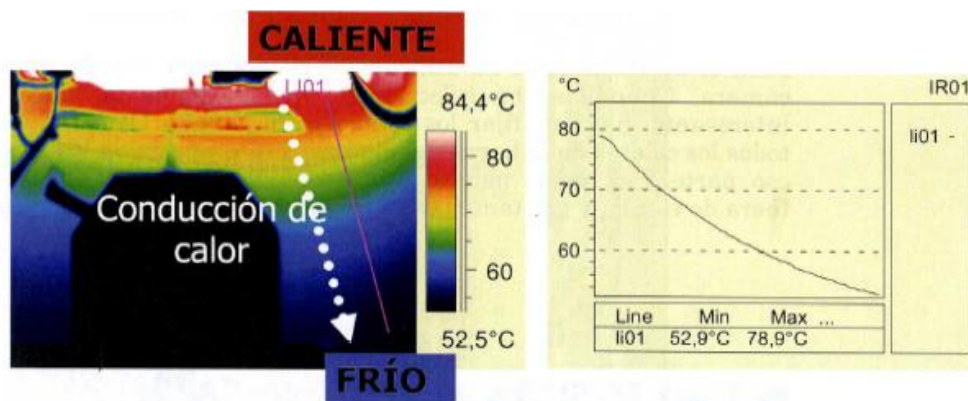


Figura 2.21: Gradiente Térmico

2.8.2 Utilidades para Comprender Mejor la Imagen

El análisis de la imagen térmica implica el estudio de sus patrones térmicos. Los patrones ó distribuciones térmicas son a veces difíciles de ver, por lo que el instrumento contiene varias utilidades que pueden ayudar a comprender mejor dichas distribuciones térmicas. Las utilidades más importantes para mejorar la comprensión de la distribución térmica son:

- Ajuste térmico
- Isoterma
- Las paletas de color

2.8.3 Ajuste Térmico

Ajuste térmico significa ajustar la escala de colores sobre el cuerpo que se quiera analizar, con el objetivo de optimizar el contraste sobre el mismo.

Las dos siguientes imágenes muestran un motor.

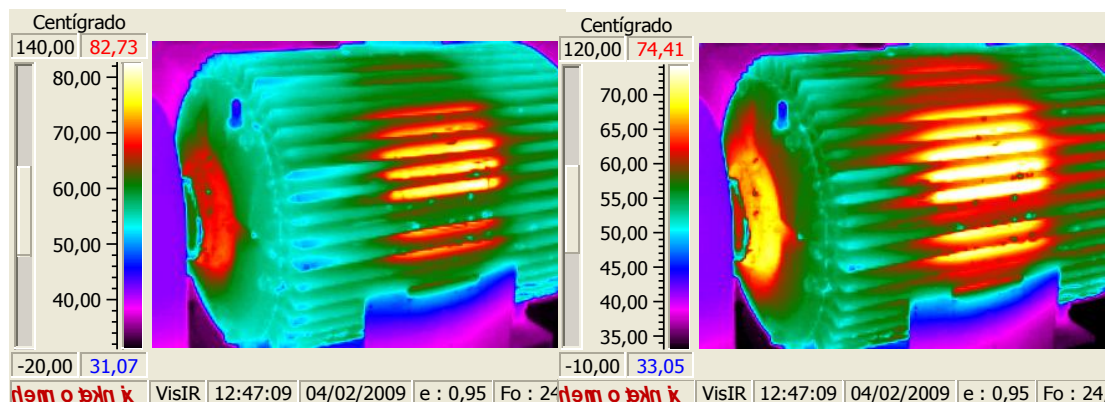


Figura 2.22: La Misma Imagen, con Ajuste Automático (izquierda) y Enfocada Térmicamente (derecha).

La cámara con ajuste automático (izquierda) ha encontrado que la temperatura más baja es 31,07 °C y por tanto el campo es demasiado ancho y se ha abierto hasta cubrir dicha temperatura. Esto significa que el contraste en la parte de la imagen que nos interesa es demasiado pobre.

En la imagen de la derecha el campo es más estrecho lo que da mayor contraste. Esta imagen es más fácil de analizar, porque la imagen térmica está mucho más contrastada.

Una imagen con ajuste automático no siempre muestra lo que se necesita ver, y es posible que no pueda observar problemas que están ahí, en la imagen, pero escondidos. El ajuste térmico forma parte del análisis que el termógrafo lleva a cabo durante su trabajo práctico, antes de almacenar la imagen para escribir el informe.

2.8.4 Isoterma

La isoterma sustituye algunos colores de la escala por otro de elevado contraste. De esta forma marca un intervalo de igual temperatura aparente.

El contraste es de nuevo el elemento clave. Si miramos imágenes térmicas débiles, hay que ayudar a los ojos a verla.

Podemos utilizar la isoterma para seguir el sentido de flujo de calor, incluso para descubrir si existe. Si la isoterma se extiende uniformemente por toda la superficie del cuerpo, significa que no existe flujo de calor a través de la superficie del objeto.

Esta imagen muestra un contactor que está controlando un compresor de aire.

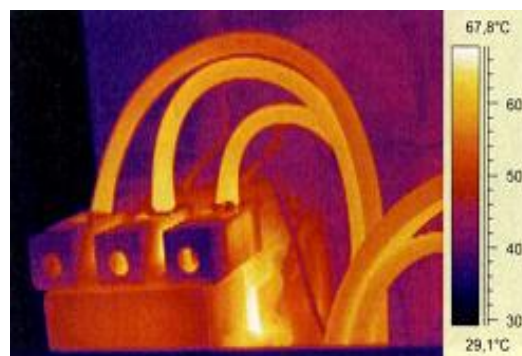


Figura 2.23: Imagen Térmica del Contactor

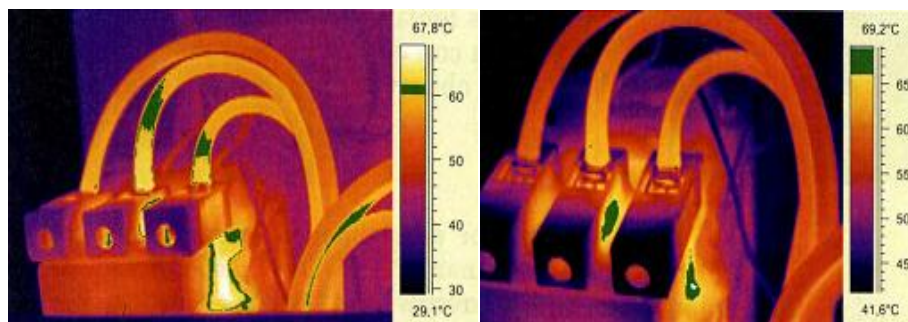


Figura 2.24: Imágenes Térmicas del Contactor con Isotermas

La imagen izquierda muestra que hay un gradiente térmico a lo largo del cable. El cable cerca del contactor está más caliente que puede ser síntoma de un mal contacto. Si miramos la imagen de la zona de la derecha, no lo parece. La zona más caliente se encuentra fuera del cuerpo del contactor, y existe una zona caliente en el cuerpo entre los puntos de conexión.

Esto puede significar que la fuente de calor está dentro del contactor. Puede haber varias razones – una mala conexión interna, ó superficies de contacto quemadas en un par de ellos. Deberíamos sugerir que el contactor sea sustituido ó extraído para comprobarlo ó repararlo.

2.8.5 Paletas de Color

La paleta de color de la imagen asigna diferentes colores para marcar niveles específicos de temperatura aparente, las paletas pueden dar mayor ó menor contraste dependiendo de los colores que utilizemos.

La imagen térmica puede presentarse con un máximo de aproximadamente 256 colores ó grises al mismo tiempo. En una escala continua de grises empezamos con

negro en un extremo de la escala, que se irá aclarando paulatinamente en cada uno de los 256 pasos hasta llegar a ser completamente blanco. Esto significa que habrá muy poco contraste. Con una imagen en color, hay más libertad para utilizar colores, lo que nos dará un contraste más elevado. Para dar a la imagen un aspecto suave que no moleste cuando se mira, los colores deben estar correctamente combinados entre sí.

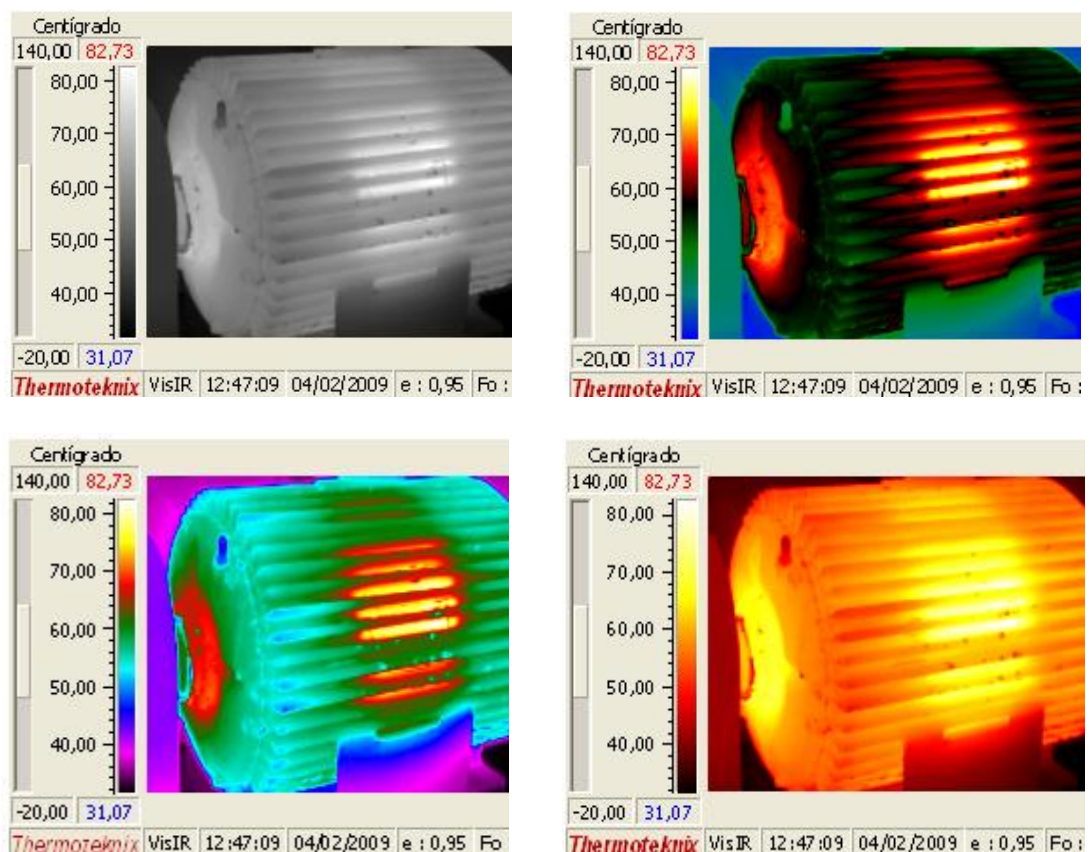


Figura 2.25: Paletas de Colores

- Utilice paletas de elevado contraste sobre objetivos de bajo contraste térmico.
- Utilice paletas de bajo contraste sobre objetivos de elevado contraste térmico.

Sobre una superficie muy grande con pequeñas diferencias de temperatura debe utilizarse una paleta de elevado contraste.

2.8.6 Campos Térmicos Difíciles de Interpretar

En termografía, hay un gran número de cuestiones que pueden causar error en nuestro análisis.

Los más comunes son:

- Reflejos y fuentes puntuales
- Diferencias de emisividad

2.8.7 Reflejos y Fuentes Puntuales

Hablemos de la palabra “reflejo”, si sostiene algo caliente enfrente de una superficie brillante, verá su reflejo en la imagen térmica. Si quita la fuente de calor la superficie reflejará otra cosa. Siempre habrá algo que se refleje sobre su objetivo.

Para conseguir una imagen más fácil de analizar, preferimos una superficie que irradie de forma uniforme sobre nuestro objetivo. Si no es así podemos tener el reflejo de una fuente puntual. Lo que normalmente llamamos un “reflejo” es más estrictamente un punto con radiación saliente muy diferente del área de alrededor.

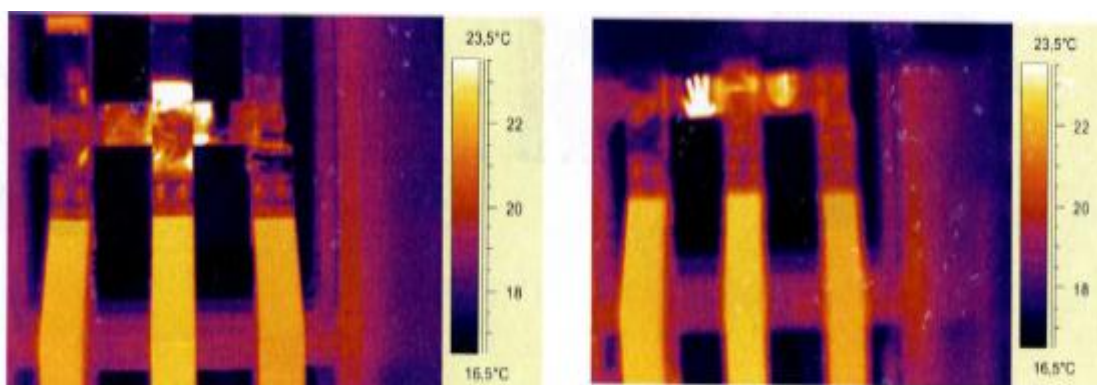


Figura 2.26: Reflejos Causados por el Propio Operador (observe las manos y la cara).

Un reflejo puntual puede estar más caliente o más frío que el área de alrededor. Los reflejos puntuales pueden ser muy molestos, porque pueden parecer una anomalía.

La imagen de la izquierda presenta un “punto caliente” en la barra del medio que puede parecer una conexión a alta temperatura para un ojo un poco experimentado. En la imagen de la derecha podemos ver que realmente se trata del reflejo del propio operador. Dicha imagen está tomada con un ángulo diferente. Las fuentes de reflejos puntuales pueden ser muchas y muy diferentes. No únicamente el sol. El propio operador es una fuente muy normal de reflejo.

Los ángulos de entrada y salida de una reflexión son siempre iguales: Esto le puede ayudar a localizar el reflejo de una fuente puntual, y sobre todo a evitarlo. Si la superficie es difusa el reflejo será disperso. Así el reflejo de la fuente puntual será mucho más débil.

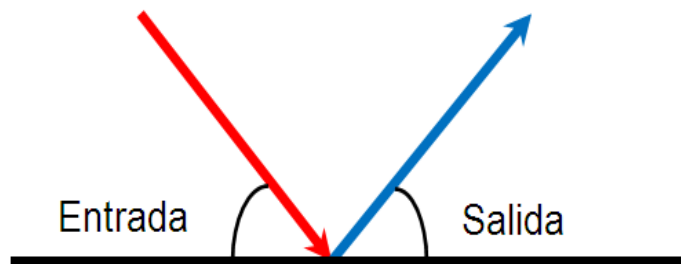


Figura 2.27: Los Ángulos de Entrada y Salida de una Reflexión son Exactamente Iguales

Estas son algunas reglas para saber encontrar, y evitar reflejos puntuales

- No se sitúe directamente enfrente de su objetivo, evite reflejarse usted mismo
- Muévase alrededor, si el punto caliente también se mueve, se trata de un reflejo

- Utilice el hecho de que el ángulo de incidencia y el de salida son iguales, con el objetivo de determinar la fuente, de esa forma puede evitarla
- Use un trozo de cartón o similar para apantallar la fuente de reflejo
- Busque gradientes térmicos, una zona caliente real muestra gradientes, un reflejo no.
- Busque partes del objetivo con alta emisividad. Estos muestran menos reflejos y una temperatura aparente más cercana a la real.

2.8.8 Diferencias de Emisividad

Un cambio brusco en la emisividad provocará un cambio brusco en la imagen térmica, aunque no se modifique la temperatura real.

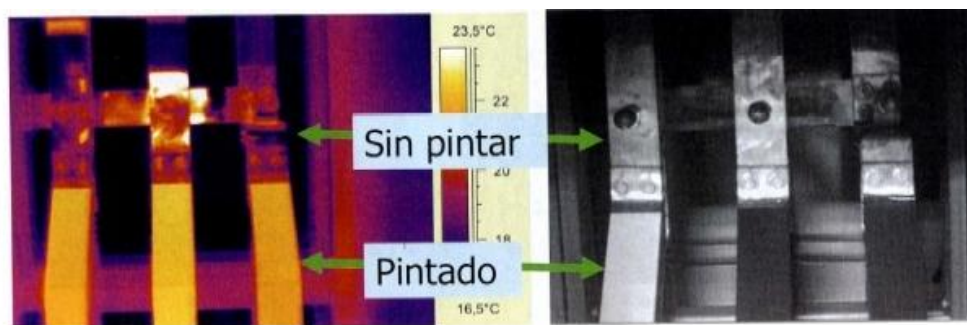


Figura 2.28: Diferente Aspecto de las Partes Pintadas y no Pintadas de las Barras de un Cuadro Eléctrico

En esta imagen las zonas pintadas y no pintadas presentan un aspecto diferente. La zona pintada mostrará una temperatura más cercana a la real.

CAPÍTULO III

3. ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA CÁMARA INFRARROJA

3.1 Conocimiento de la Cámara Termográfica

Para la realización de la tesis se utilizó la cámara VisIR Ti 200, que convierte la radiación infrarroja invisible en una imagen visible.

Para recordar su funcionamiento, la radiación infrarroja atraviesa las lentes, y es enfocada en el detector, éste genera una señal eléctrica, que varía con la intensidad de la radiación infrarroja que incide sobre él. La señal eléctrica es amplificada, digitalizada, y procesada por la electrónica de la cámara. Es entonces cuando se convierte en una imagen que es visualizada en el visor, y que se puede ver como una imagen infrarroja.

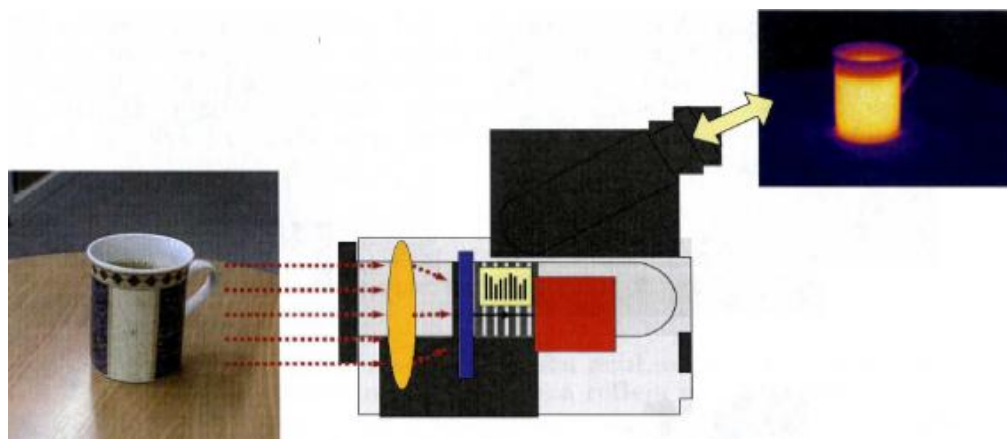


Figura 3.1: Principio de Funcionamiento de una Cámara Infrarroja

3.1.1 Visual vs. Infrarrojo

No debe olvidar dos diferencias fundamentales entre mirar una imagen infrarroja y una visual.

1. La visual está compuesta principalmente por la reflexión de la radiación procedente del entorno, mientras que la infrarroja es una combinación de emisión del objeto y reflexión del entorno.
2. La visual es color e intensidad, el infrarrojo es sólo intensidad.



Figura 3.2: La Imagen Visual es Radiación Reflejada, la Infrarroja es Radiación Procedente del Propio Cuerpo

3.1.2 Control de la Imagen

Se controló la imagen fijando el rango de temperatura y el nivel de campo, los controles pueden ser diferentes, pero los principios de utilización siempre son los mismos.

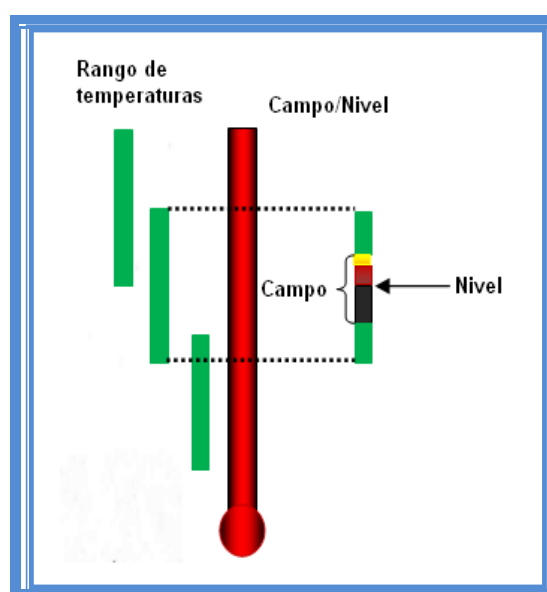


Figura 3.3: Rango de Temperatura y Nivel de Campo

3.1.3 Rango de Temperatura

Se fijó las temperaturas por debajo y por encima de las cuales no se puede medir, fue el ajuste básico que permitió limitar la cantidad de radiación que llega al detector, si no se saturará y se sobrecargará de energía y se acabará teniendo una imagen muy poca contrastada.

3.1.4 Campo y Nivel

Se controló el “Campo” haciéndolo más ancho o más estrecho ya que es una parte del rango de temperatura. Otra forma de llamarse es “contraste térmico”.

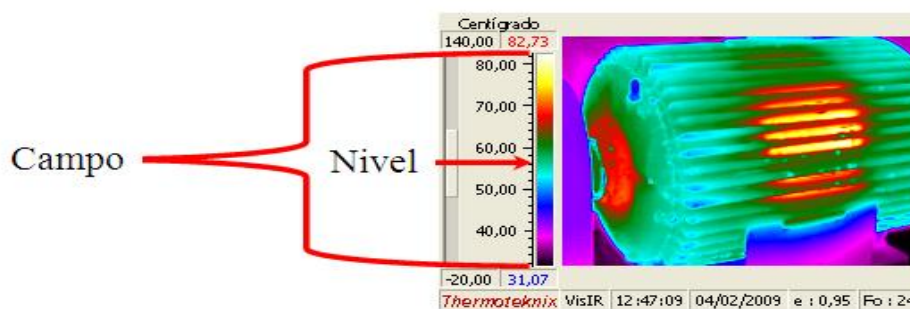


Figura 3.4: Campo y Nivel

Una vez fijado el campo el punto medio es el “Nivel”, otra forma de entender el nivel es como el “brillo térmico”. La cámara que se utilizó tiene una función automática que da un ajuste aproximado de la imagen, con lo que se evita estar demasiado tiempo buscándolo.

3.1.5 Capturando una Imagen

La captura de la imagen fue ejecutada congelándola, almacenándola ó mediante las dos en orden consecutivo.

Por supuesto que para el informe la imagen fue primero almacenada en la cámara después transferida a un ordenador para analizarla y generar en el fichero un informe para su posterior impresión en caso que presentara alguna anomalía.

3.1.6 Las “Tres Grandes Reglas”

Hay tres reglas generales que fue necesario tener en cuenta independientemente de la cámara que se esté utilizando.

Tres cosas nunca se pueden modificar después de congelar ó almacenar la imagen:

➤ Rango de temperatura

➤ Enfoque óptico

➤ Composición

➤ **Rango de Temperatura**

Como se explicó anteriormente, y como en cualquier otro aparato de medida, **tiene que fijar un rango de temperaturas que incluya el que pretende medir.** Es cierto también para muchos aparatos, en los que si se fija el rango demasiado, la precisión de su medida disminuye. Para explicarlo claramente, no se puede esperar medir milivoltios si fija el rango en kilovoltios.

➤ **Enfoque Óptico**

El enfoque óptico fue importante, no sólo porque una imagen mal enfocada dice poco de un termógrafo, si no porque parece muy poco profesional. Sus informes son

posiblemente lo único de su trabajo que vean otras personas, así que es en él dónde da la impresión del trabajo que ha realizado. Pero eso no acaba aquí, realmente la precisión de su medida también se ve afectada por su enfoque. *¡Malas imágenes producen malas lecturas de temperatura!*

➤ Composición de la Imagen

Tiene que ver en la forma cómo presenta su objetivo en la imagen. El fallo más común es permanecer demasiado lejos del cuerpo. El consejo general es ponerse **¡MÁS CERCA!** Eso sí, mantenga una distancia **¡SEGURA!** Muchas veces, sin embargo, tenemos imágenes en las que el campo de visión de la cámara se encuentra infrutilizado.

3.1.7 Constitución de la Cámara Termográfica VisIR Ti 200



Figura 3.5: Cámara Termográfica VisIR Ti 200

➤ **Pantalla**

La pantalla de toque Daybrite muestra imágenes, nitidez incluso en el brillo de la luz solar. Simultáneamente las imágenes visibles y termales permitió una rápida identificación de fallas ya que se contó con herramientas para analizar las imágenes en el campo.



Figura 3.6: Pantalla de la Cámara VisIR Ti 200

➤ **Sensibilidad Infrarroja**

Al momento que se va a tomar la imagen fue necesario calibrar la sensibilidad del núcleo del detector IR una vez calibrada la cámara entrega excelente claridad de imagen y medición precisa de temperatura.

➤ **Herramientas**

Permitió rastrear en vivo puntos fríos y calientes para mediciones de temperaturas instantáneas y lecturas de diferencias. La herramienta de área ajustable en tamaño mostró las temperaturas máximas, mínimas y promedio en imágenes en vivo ó congeladas. Las herramientas pueden ser posicionadas con simplicidad y precisión vía la interface de la pantalla de toque ó la palanca.

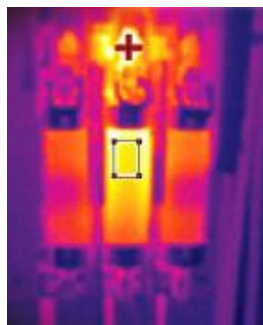


Figura 3.7: Herramientas de la Cámara VisIR Ti 200

> Operación

Por su diseño ergonómico facilitó su operación con una sola mano con enfoque electrónico e IR sincronizado y zoom de imagen visual para una captura perfecta de la imagen con detección fiable de fallas sin comprometer la seguridad ó la sencillez en su uso.



Figura 3.8: Operación de la Cámara VisIR Ti 200

> Almacenamiento de Datos

Por su electrónica avanzada almacenó imágenes term ales y sus correspondientes visuales combinadas con hasta 100 segundos de notas de voz por imagen. Tarjetas de memoria removibles PCMCIA y SD ofreció opciones de almacenamiento desde los 32M b hasta Giga bites.



Figura 3.9: Almacenamiento de Datos de la Cámara VisIR Ti 200

➤ **Conectividad**

Simplemente se conectó un cable USB para descargar las imágenes automáticamente a la PC. Alternativamente, se puede enviar a través del Bluetooth incorporado ó por el puerto IrDA a su PC, PDA ó teléfono móvil. Para redes inalámbricas de largo alcance, el accesorio VisAIR™ coloca imágenes en su computadora de oficina directamente desde el sitio sin cables ó conexiones físicas.



Figura 3.10: Conectividad de la Cámara VisIR Ti 200

3.2 Software de Medición Termográfica

3.3 Software Condition RED

Condition RED es un sistema de base de datos poderoso, que ayudó a organizar los activos y flujo de trabajo para Termografía. Condition RED trabaja en su PC en el

escritorio y en su cámara en el campo para asegurarle que su programa de Mantenimiento Predictivo corra suavemente y efectivamente en todo tiempo.



Figura 3.11: Condition RED

3.3.1 Termografía de Cámara Integrada de Activos

Una vez que se realizó la referencia térmica con las imágenes visuales y sus respectivos ajustes, fueron transferidos directamente desde el PC a la cámara para una comparación lado a lado en campo y la evaluación del estado de los activos.

Condition RED VisIR ayudó en la realización de la tesis, ya que nos permitió:

- Administrar los datos
- Analizar y generar reportes
- Utilizar la tecnología

3.3.2 Funciones Especiales

- Permitted un excelente control de las actividades de monitoreo.
- Gracias a su diseño en ambiente Windows, se utilizó las barras de herramientas y los íconos para mejorar el rendimiento.

- A partir de una base de datos se generó un árbol con directorios y subdirectorios para abarcar todos los puntos de inspección.
- Por la facilidad que ofreció el software personalizamos y adaptamos los diseños y las plantillas

3.3.3 Comandos Específicos



Figura 3.12: Comandos Específicos del Software Condition RED

1. REPORT WIZARD: ayudó a la generación de reportes personalizados de monitoreo de acuerdo a requerimientos específicos.
2. TREND WIZARD: permitió la realización de gráficos de tendencias y el respectivo análisis predictivo.
3. IMPORT WIZARD: permitió importar imágenes individuales desde una carpeta gravados durante la inspección desde la cámara VisIR.
4. EXPORT WIZARD: ayudó a exportar imágenes individuales desde un punto de inspección, una colección de imágenes en un directorio/estructura de puntos de inspección ó a una inspección a ser realizada utilizando la cámara VisIR.
5. SEARCH/FILTER WIZARD: fue de mucha utilidad ya que ayudó a encontrar ó seleccionar imágenes, puntos de inspección y directorios que cumplen condiciones específicas.

3.3.4 Diseño y Presentación

La página inicial del software aparece de acuerdo a la configuración que fue realizada a los diferentes equipos y presenta la estructura de directorios y el diseño de tira de imágenes/detalles.

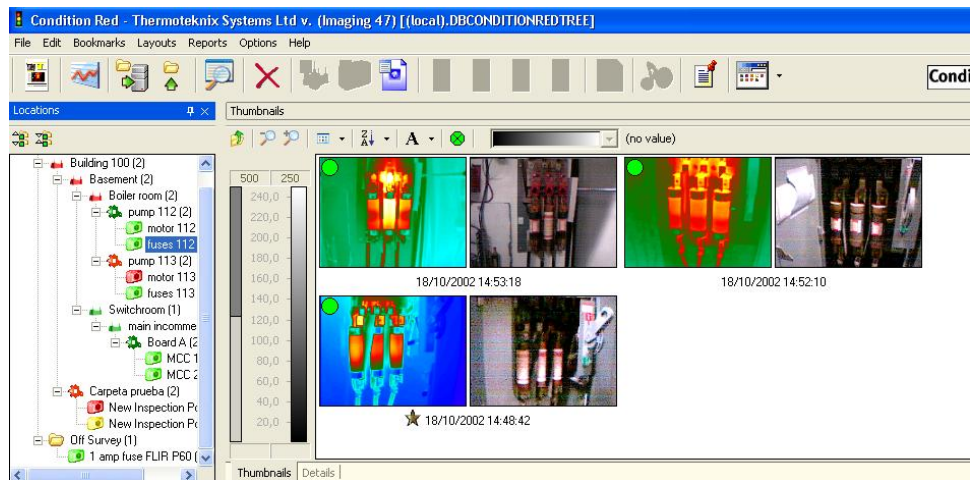


Figura 3.13: Página Inicial del Software Condition RED

3.3.5 Ventana de Detalles

La ventana de detalles permitió apreciar el nombre del archivo, su ubicación, la imagen infrarroja, la visual original y mucha información importante relacionada.










Details								
Show columns: <Default> (193.162) 35.25°C								
Title	Location (Up 3)	Location (Up 2)	Location (Up 1)	Infrared	Visual	Condition	Date Taken	Date Added
Img283.tgw	Boiler room	pump 112	fuses 112				18/10/2002 14:53:18	22/03/2005 18:00:14
Img281.tgw	Boiler room	pump 112	fuses 112				18/10/2002 14:52:10	22/03/2005 18:00:14
Img278.tgw	Boiler room	pump 112	fuses 112				18/10/2002 14:48:42	22/03/2005 18:00:14

Figura 3.14: Ventana de Detalles

3.3.6 Árbol de Directorios

La estructura de directorios facilitó la creación de ubicaciones, estaciones y puntos de inspección.

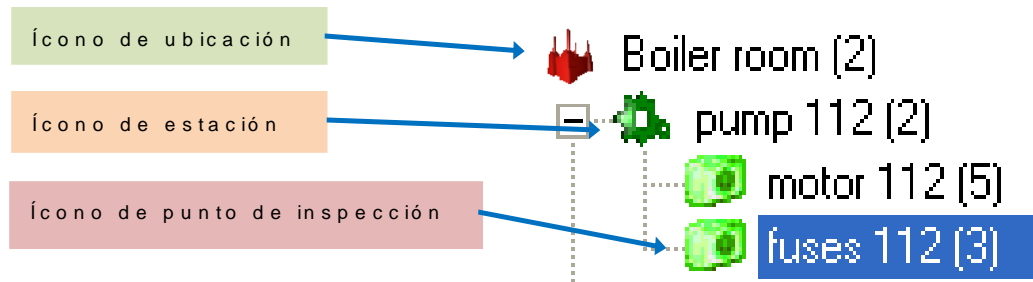


Figura 3.15: Árbol de Directorios

3.3.7 Manejo del Directorio de Raíces

Por medio de botones especializados se pudo expandir ó contraer todo el directorio y facilitó configurar de una mejor manera cada uno de los puntos de inspección.

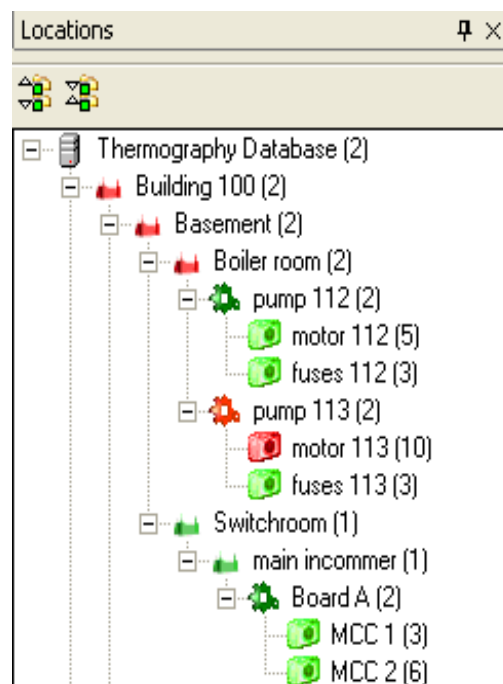


Figura 3.16: Directorio de Raíces

3.3.8 Comandos Especiales

Mediante una función especializada fue posible indicar la condición de cada uno de los equipos inspeccionados.



Figura 3.17: Comandos Especiales

1. Comando que ayudó a definir la condición del equipo como verde, amarillo, rojo ó indefinido
2. Comando que definió a una imagen como referencia para ser utilizada como parámetro de comparación
3. Con un solo click se añadió archivos de sonido a cualquiera de las imágenes infrarrojas, sirvió mucho para documentar comentarios en sitio.
4. Despliega el cuadro de propiedades de un punto inspeccionado específico permitió además realizar modificaciones y cambios permanentes
5. Despliega las opciones de diseño de página como búsqueda de carpetas, administración de archivos, gráficos de tendencias, herramientas, inspecciones, etc.

3.3.9 Control de Propiedades

Mediante éste comando se visualizó y modificó todas las propiedades de las imágenes infrarrojas adquiridas.

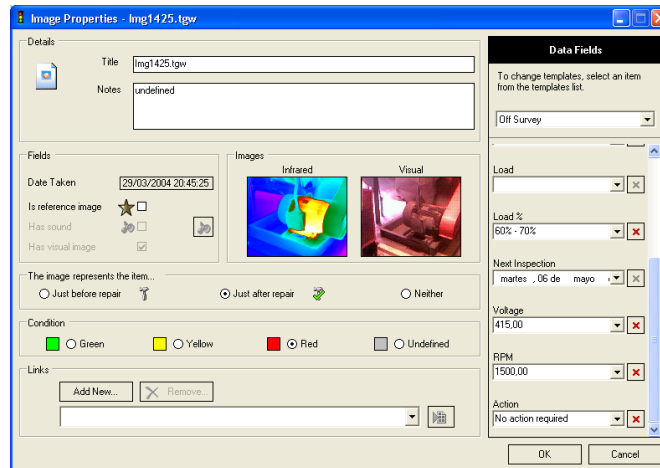


Figura 3.18: Control de Propiedades

3.3.10 Modificación de Plantillas

Debido al entorno amigable e interactivo del software se realizó modificaciones a las plantillas para nuestro beneficio ya que nos permitió agregar parámetros de funcionamiento los cuales nos sirvió como referencia.

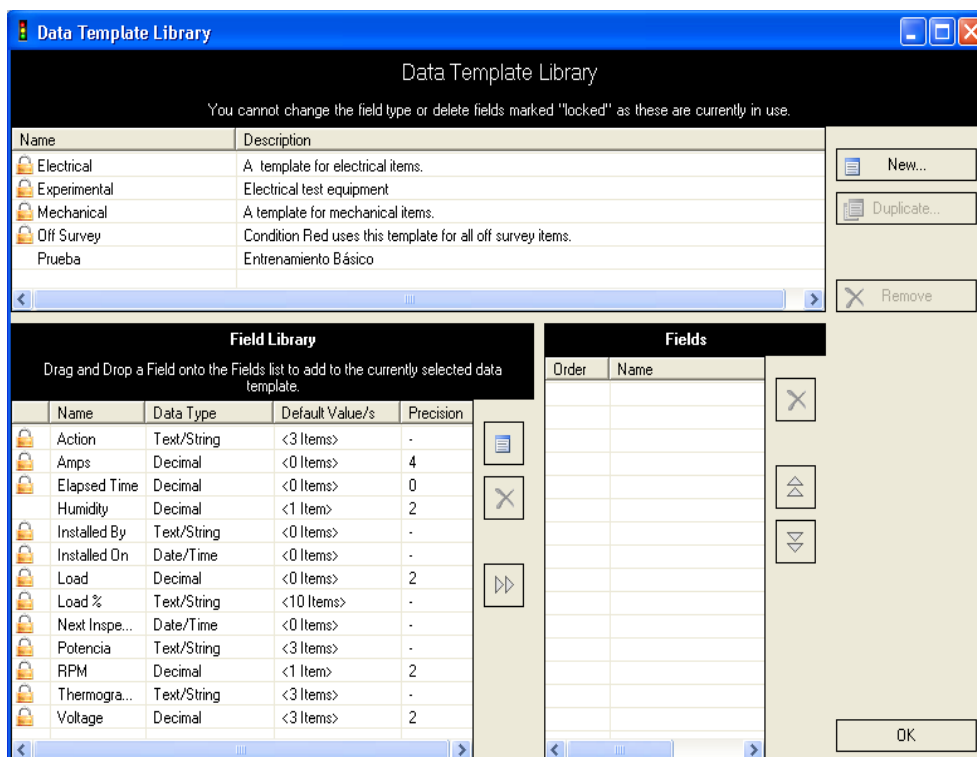


Figura 3.19: Modificación de Plantilla

3.3.11 Análisis y Tendencias

Una vez que se analizó las diferentes termografías y teniendo una imagen como línea base en el software Condition RED se guardó las diferentes tomas para crear su respectivo reporte con sus tendencias que son realizadas automáticamente permitiendo planear un mantenimiento ó reparaciones antes de que una falla ocurra.

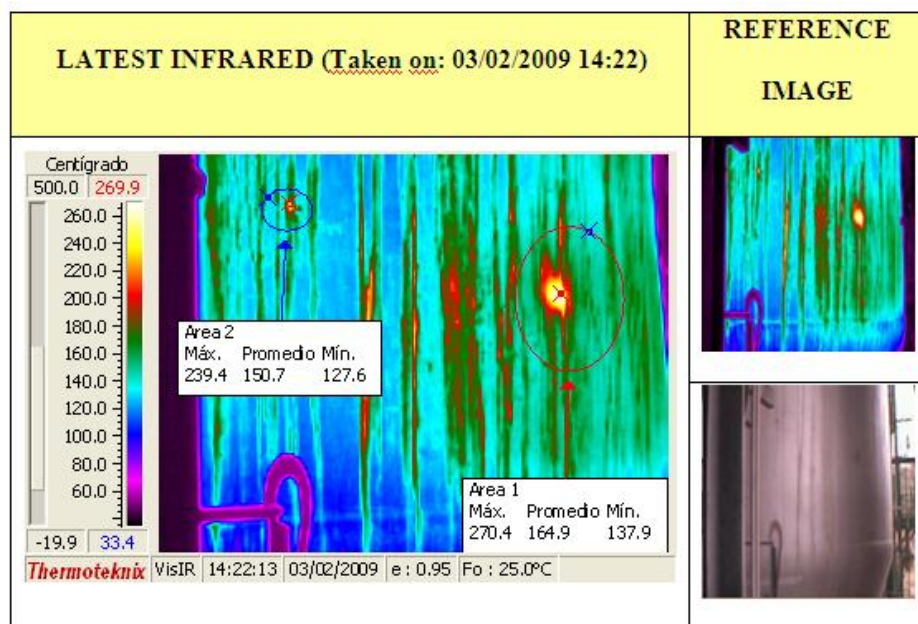


Figura 3.20: Análisis de la Toma Termográfica

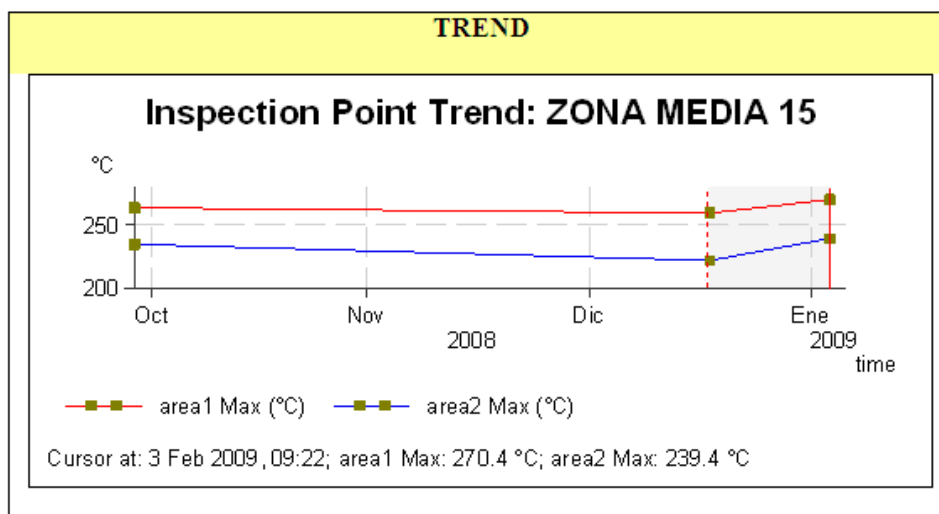


Figura 3.21: Tendencias de la Toma Termográfica

3.3.12 Reportes

Condition RED ayud6 a crear una gran variedad de reportes para los diferentes activos, activos reparados, reportes con im 6genes visuales, antes y luego de los reportes de reparaci6n, reportes semanales, reportes de inspecciones, reportes de mantenimientos planeados, reportes de p 6gina sencilla y reportes de varias p 6ginas, con diferentes datos para cumplir con sus necesidades.



Figura 3.22: Reportes

En resumen el software Condition RED es un paquete inform 6tico que ayud6 para la realizaci6n de las siguientes actividades:

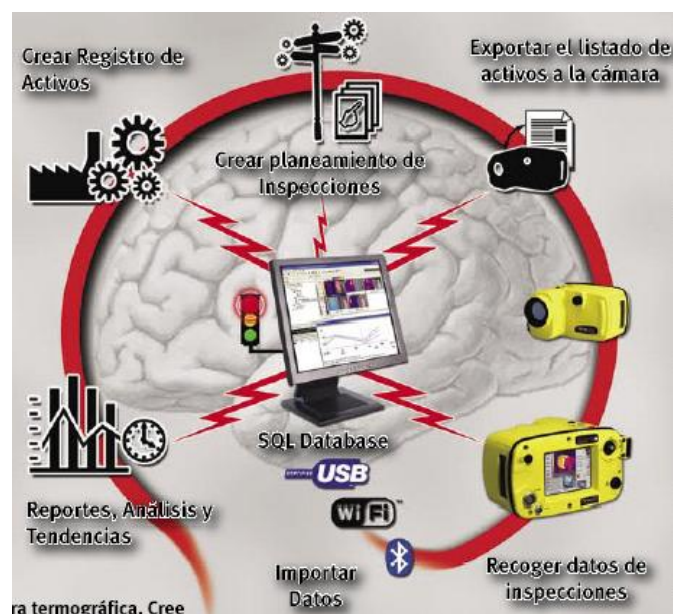


Figura 3.23: Resumen del Software Condition RED

3.4 Software TherMonitor

El Explorador IR TherMonitor facilitó el análisis de múltiples imágenes infrarrojas, ya que en diferentes casos se puede ver, ampliar, medir temperatura en una, dos o más áreas ó puntos dentro de una misma imagen.

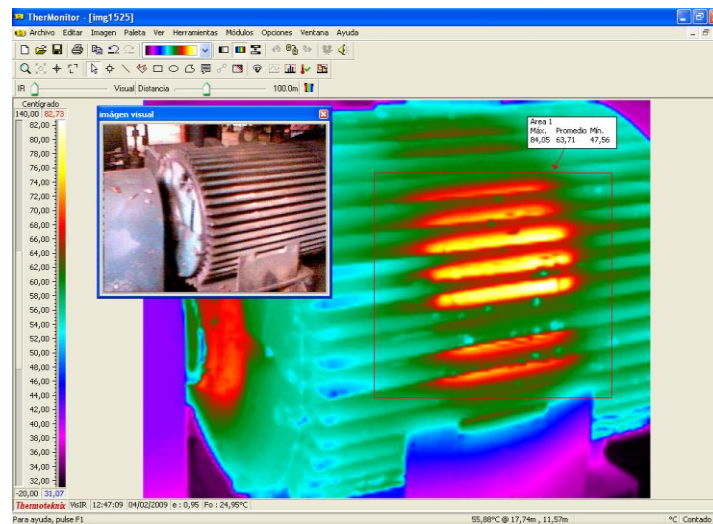


Figura 3.24: Pantalla Principal del Software TherMonitor

3.4.1 Herramientas del Software TherMonitor



Figura 3.25: Herramientas del Software TherMonitor

CAPÍTULO IV

4. IMPLEMENTACIÓN DE RUTAS DE ANÁLISIS TERMOGRÁFICO

4.1 Selección de Áreas de Trabajo

Dentro de la Refinería Estatal Esmeraldas el área seleccionada fue la UNIDAD NO CATALÍTICAS II, conformada a su vez por CRUDO II, VACIO II y VISHBREAKING II ya que es de suma importancia para el procesamiento de los diferentes derivados de petróleo, por lo que fue necesario para la tesis realizar el monitoreo a cada uno de los equipos motor-bomba que conforma toda la unidad.

4.1.1 Unidad No Catalíticas II

Como se mencionó anteriormente esta unidad consta de tres áreas: CRUDO II, VACIO II y VISHBREAKING II

4.1.2 Unidad de Crudo II (Destilación Atmosférica II)



Figura 4.1: Crudo II

4.1.3 Unidad de Vacío II (Destilación al Vacío II)



Productos:

Gasoleo Ligero
Gasoleo Neutral
Gasoleo Pesado
Fondos de Vacío

Capacidad: 28.500
Barriles / Día de Crudo
Reducido de las
Unidades de Crudo

Figura 4.2: Vacío II

4.1.4 Unidad de Visbreaking II (Viscorreducción II)



Productos:

Fuel Gas
Gasolina
Residuo de Visbreaking

Capacidad: 15.750
Barriles / Día de Fondos
de Vacío de las
Unidades de Vacío

Figura 4.3: Visbreaking II

4.1.5 Patio de Bombas de la Unidad No Catalíticas II



Figura 4.4: Patio de Bombas de la Unidad No Catalíticas II

4.2 Parámetros de Funcionamiento de los Equipos Rotativos

Los parámetros de funcionamiento de los equipos rotativos fue obtenido tomando los datos de placa en el campo industrial de cada uno de ellos, mediante el DATA SHEET y mediante el programa de mantenimiento que se manejó en la unidad de confiabilidad el IMBAS 400 (MAIN/TRACKER).

4.2.1 Datos de Placa Tomados en Planta

TV1-P6B			
MARCA:	BROOK MOTORS	HZ:	60
KW:	30	CLASS:	F
AMPS:	48	TEMP:	80 ^o C
RPM:	3550	PHASE:	3
V:	460	IP:	55

4.2.2 Data Sheet

Hayward Tyler

PROCESS INDUSTRY PRODUCTS

CENTRIFUGAL PUMP

DATA SHEET

18/08 28/11/80

APPENDIX A

CENTRIFUGAL PUMP DATA SHEET

APPLICABLE TO: PROPOSALS PURCHASED AS QUOTED
NOTE: INDICATES INFORMATION TO BE COMPLETED BY PURCHASER

BY MANUFACTURER EST. NO. E2008/84 COMPILED BY CLM APPROVED BY _____

JOB NO. 34038 ITEM NO. VL-P2 A/B
PURCHASE ORDER NO. W50A85441-2
REQUESTION NO. ECPEIC1003
INQUIRY NO. _____

FOR C.P.E. (CHIYODA) SITE ESMERALDUS
UNIT Nº 2 VACUUM SERVICE VACUUM BOTTOMS
NO. PUMPS REQ. 2 NO. MOTORS REQD. 2 ITEM NO. - PROVIDED BY CHIYODA H.Q. BY H.T. LTD.
NO. TURBINES REQ. - ITEM NO. - PROVIDED BY - H.Q. BY -
SIZE AND TYPE 3x4x12 1/2 H CM NO. STAGES ONE

OPERATING CONDITIONS, EACH PUMP				PERFORMANCE	
LIQ. <u>HYDROCARBON</u>	CAP. FT ³ /MIN. <u>71.3</u>	RATED <u>86.3</u>	PUMP CURVE NO. <u>78246/3</u>		
	SUCT. PRESS. <u>14.92</u>		SH 3550 RPM (WATER) <u>3.51</u>		
PT. C. HOR. <u>366</u>	SUCT. PRESS. <u>3.67</u>	RATED <u>0.37</u>	EFF. <u>58%</u>	BHP RATED <u>58.9</u>	
SP. GR. <u>0.79</u>	DIFF. PRESS. <u>14.55</u>		MAX. BHP RATED <u>62.8</u>		
HAR. PRESS. <u>10.07</u>	OUT. HEAD <u>134</u>		MAX. HEAD RATED <u>203</u>		
VE. <u>1.1</u>	NO. <u>4.27</u>	LD. <u>34.18</u>	MIN. CONTINUOUS <u>22A</u>	ROTATION (VIEWED FROM DRG END) <u>CCW</u>	
CORR. YEARS CAUSED BY <u>2.0% WT SULPHUR</u>					
CONSTRUCTION					SHOP TESTS
IMPELLER	SIZE <u>4"</u>	RATING <u>ANSI 300</u>	FACING <u>RF</u>	LOCATION <u>END</u>	<input type="checkbox"/> NON-WT. FEEL <input checked="" type="checkbox"/> WT. FEEL
SUCTOR	<u>3"</u>	<u>ANSI 300</u>	<u>RF</u>	<u>TOP</u>	<input type="checkbox"/> NON-WT. HYDRO <input checked="" type="checkbox"/> WT. HYDRO
DISCHARGE	<u>3"</u>	<u>ANSI 300</u>	<u>RF</u>	<u>TOP</u>	<input checked="" type="checkbox"/> WATER TEST <input type="checkbox"/> HT. TEST
CASE MOUNT	<input checked="" type="checkbox"/> CENTERLINE <input type="checkbox"/> FOOT <input type="checkbox"/> CONDUIT <input type="checkbox"/> VERT. (TYPE)				
SPLIT	<input type="checkbox"/> CARTRIDGE <input checked="" type="checkbox"/> END	TIME MOUNT <input checked="" type="checkbox"/> END <input type="checkbox"/> CONN. COMPRESSOR			
PRESS.	DMAX. ALLOW. <u>35</u>	NO. <u>399C</u>	DIFF. TEST <u>53</u>	NO. <u>0</u>	
CONNECT.	<input checked="" type="checkbox"/> W/HT <input type="checkbox"/> W/BRN <input type="checkbox"/> W/CS				
IMPELLER DIA.	DATED <u>312A</u>	DMAX. <u>320</u>	TYPE <u>CLOSED</u>		
MOUNT.	<input type="checkbox"/> BETWEEN ENDS <input checked="" type="checkbox"/> OVERHUNG				
BEARINGS TYPE	<input type="checkbox"/> RADIAL <u>SKF NU 213</u>	<input type="checkbox"/> THRUST <u>SKF 7313 BG</u>	PUMP CASE/TRIM CLASS <u>CC</u>		
LUBE	<input type="checkbox"/> OIL <input type="checkbox"/> OIL <input type="checkbox"/> FLUID <input type="checkbox"/> OIL <input type="checkbox"/> W/UNDER <input type="checkbox"/> PRESSURE	SLEEVE <u>TUNGSTEN</u>			
COUPLING	<input type="checkbox"/> DMF <u>METASTREAM</u>	<input type="checkbox"/> HOOL <u>TSK 60</u>	CARBIDE COATED		
DRIVER HALF MTD BY	<input type="checkbox"/> W/PUMP MFR <input type="checkbox"/> COVER MFR <input type="checkbox"/> PURCHASER	LWS <u>A</u>			
PACKING	DMFR & TYPE <u>CRANE 100AL A</u>	SIZE/NO. OF RINGS <u>70MM x 12.5MM/4</u>	BASEPLATE <u>HEAVY-DUTY</u>		
MED. SEAL	<input type="checkbox"/> MFR MODEL _____	API CLASS CODE _____	VERTICAL PUMPS		
	<input type="checkbox"/> MFR CODE _____				
AUXILIARY PIPING					MATERIALS
2" C.W. PIPE PLAN	<u>GA</u>	TYPE <u>FLANGE</u>	W/M <u>CARBON STEEL</u>	<input type="checkbox"/> DE DUMP DEPTH = C	
TOTAL COOLING WATER HOOD	<u>0.68</u>	<input type="checkbox"/> SIGHT F.L. HOOD <u>YES</u>	MIN. EMERGENCE REQD. = _____		
PACKING COOLING INJECTION HOOD	<u>0.34</u>	DM/W/D <u>3.87</u>	CONNECTIONS <input type="checkbox"/> FLANGED <input type="checkbox"/> W/LEADS		
SEAL FLUSH PIPE PLAN	<u>NC S</u>	TYPE <u>PIPE</u>	LINE SHAFT <input type="checkbox"/> OPEN <input type="checkbox"/> CLOSED		
EXTERNAL SEAL FLUSH FLUID	<u>None</u>	DM/W/D _____	END. <input type="checkbox"/> BENCH <input type="checkbox"/> LINE SHAFT		
AUXILIARY SEAL FLUSH	<u>YES YES A OR S</u>	TYPE <u>PIPE</u>	END LUBE <input type="checkbox"/> WAX <input type="checkbox"/> OIL <input type="checkbox"/> GREASE		
AUX. SEAL QUENCH FLUID	<u>L.P. STEAM</u>	TYPE _____	FLOAT & ROD <input type="checkbox"/> OIL <input type="checkbox"/> BAZ <input type="checkbox"/> NONE		
MOTOR DRIVER <u>FREE-ISSUE</u>					PUMP THROST. IN <input type="checkbox"/> UP
HP <u>75</u>	W/M <u>3600</u>	FRAME <u>7-AD250M</u>	NO. <u>460</u>	<input type="checkbox"/> DOWN	
W/M	BEARINGS _____	LUBE _____	APPROX. WEIGHT		
TYPE	ROD _____	FULL LOAD AMPS _____	PUMP & BASE <u>770</u>		
ENC.	TEMP. RISE <u>0</u>	LOCKED ROTOR AMPS _____	MOTOR _____		
TYPE	L.V.S. _____	NET. THROST. CAP. <u>12</u>	TURBINE _____		
REMARKS AND/OR DESCRIPTIONS					
TYPICAL CHEMICAL CERTS FOR CASE, COVER, IMPELLER & SHAFT					
REVI. 24-1-80. QW TO SUCH PARTS: LUB. FLOW: FAL. FIG: IMP. DIA: PACK. STYD: S/S. MATH. & H.P. REQD:					
L.W. PRAM. 12/26/80					
DELIVERY: - WK 27/80					

Figura 4.5: Data Sheet

4.2.3 Datos del Programa IMBAS400 (MAIN/TRACKER)

El software Main/Tracker se utilizó para la verificación de los datos de diseño de los equipos estudiados en la tesis ya que es un programa que sirve para el mantenimiento en todas las unidades.

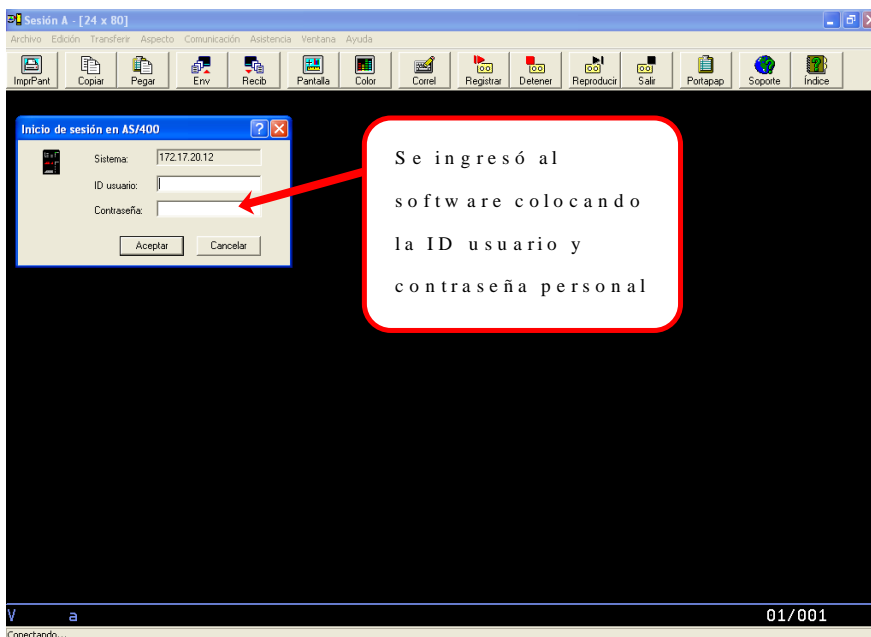


Figura 4.6: Main/Tracker Ingreso del Usuario y Clave Personal

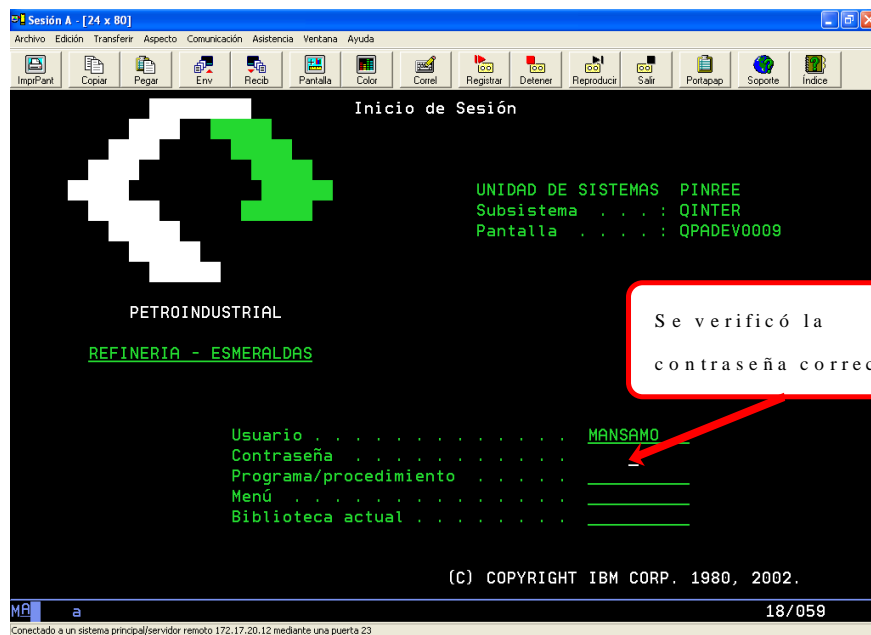


Figura 4.7: Main/Tracker Verificación de la Contraseña

Como fue el caso la verificación de los datos de placa se ingresó a las especificaciones de equipos.

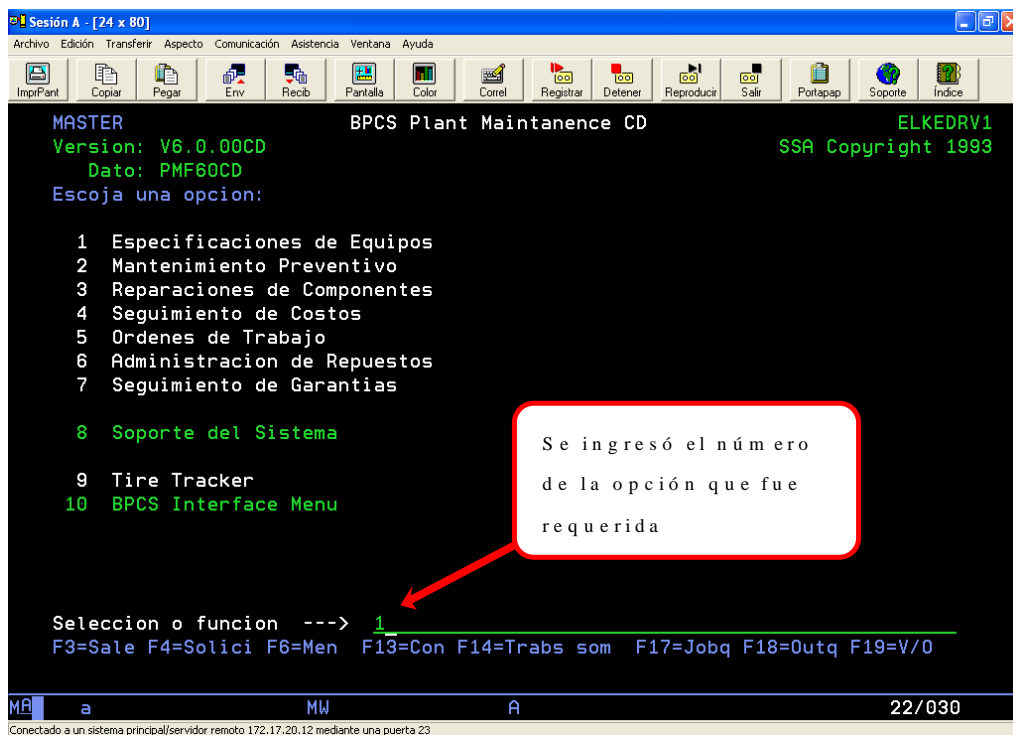


Figura 4.8: Main/Tracker Especificaciones de Equipos

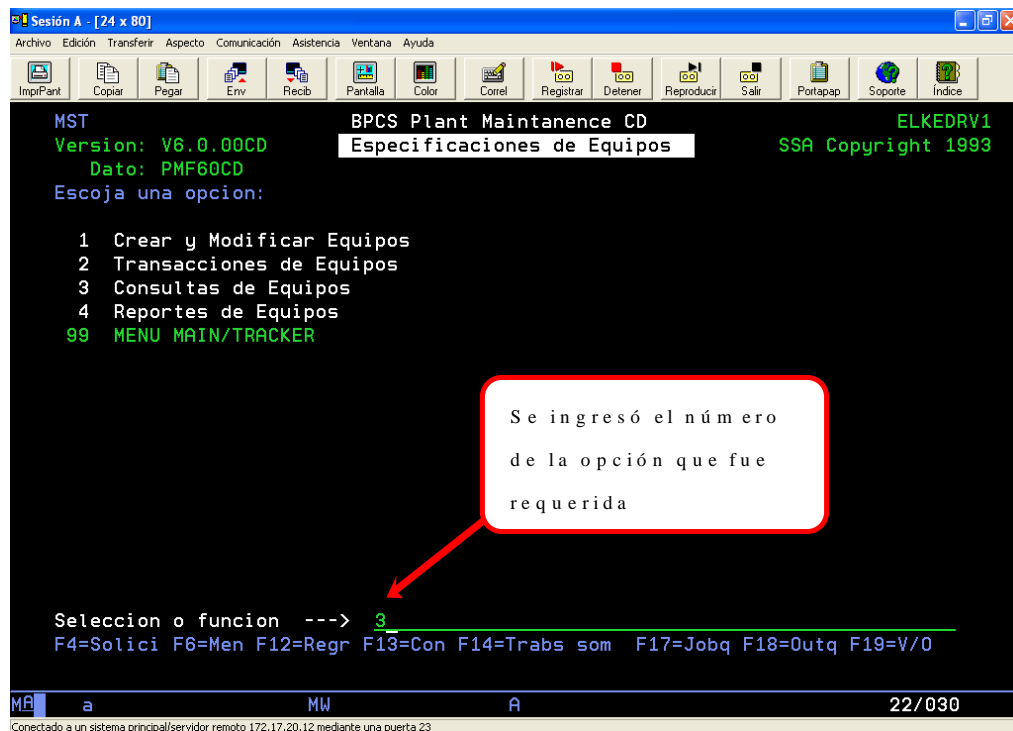


Figura 4.9: Main/Tracker Consultas de Equipos

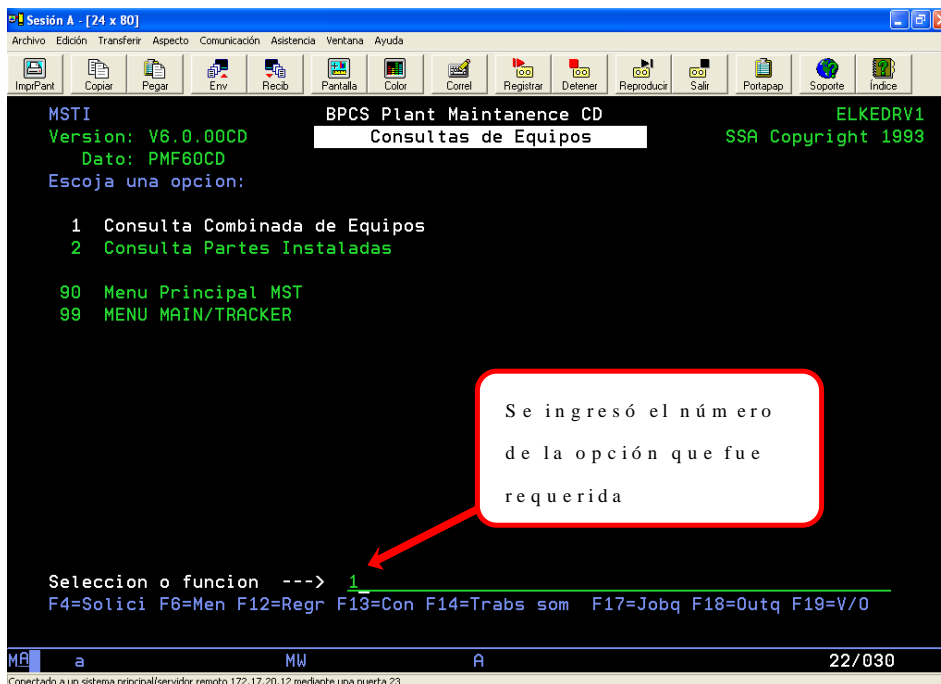


Figura 4.10: Main/Tracker Consulta Combinada de Equipos

Una vez que se ubicó en ésta pantalla se presentó la posibilidad de verificar las características de cada uno de los equipos que compone ésta empresa colocando la identificación correspondiente.

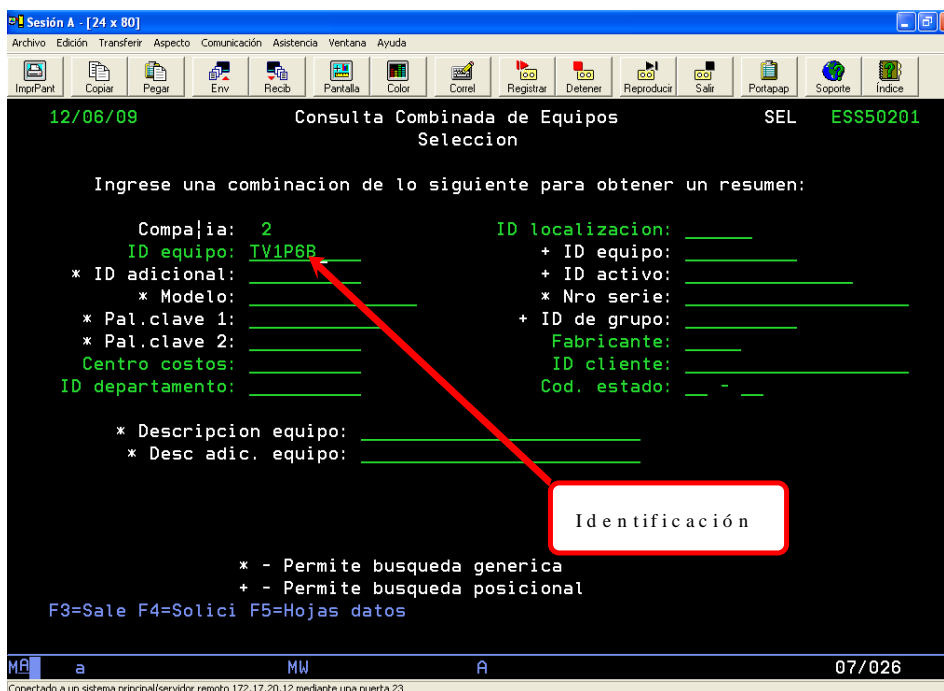


Figura 4.11: Main/Tracker Identificación de la Bomba

En este punto se verificó todo lo referente al equipo identificado anteriormente.

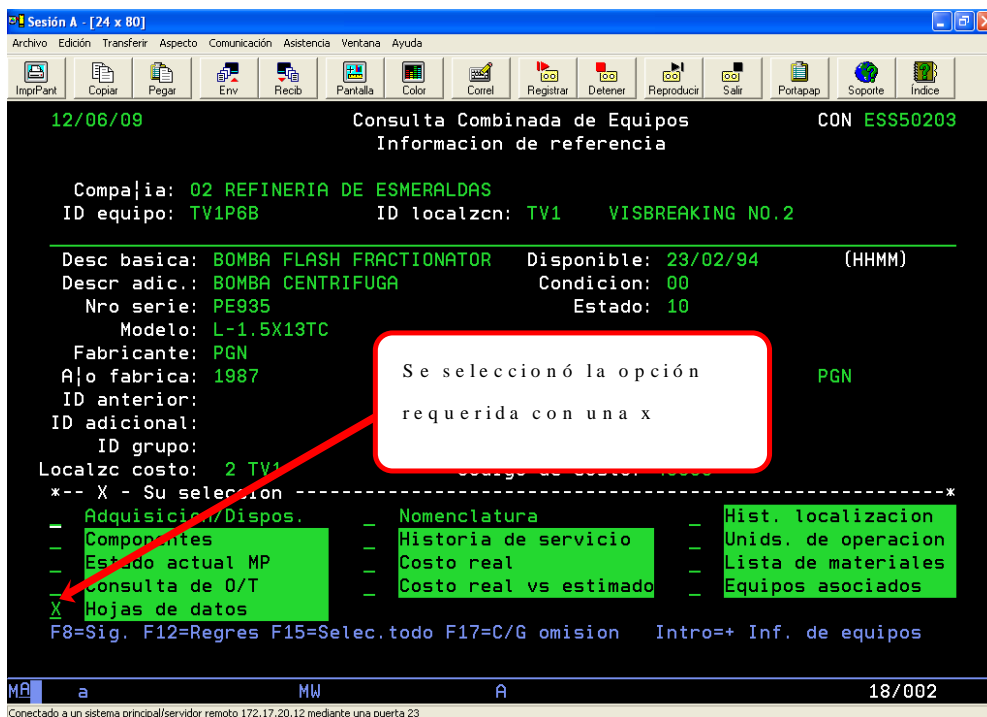


Figura 4.12: Main/Tracker Información de Referencia de la Bomba

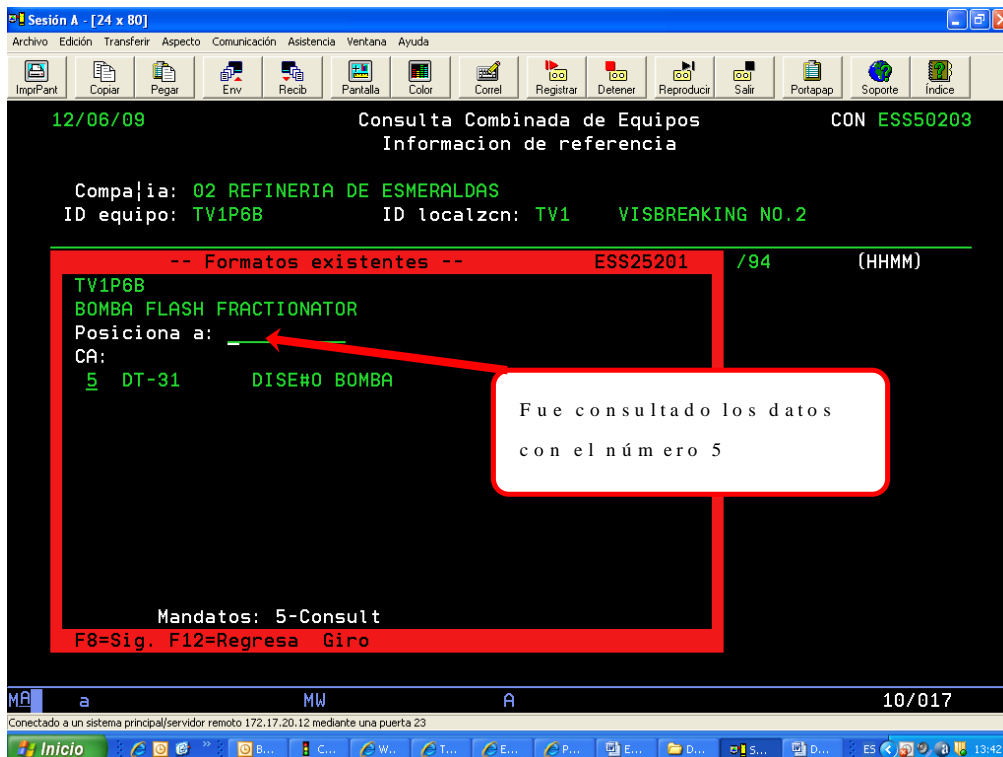


Figura 4.13: Main/Tracker Consulta de los Datos de la Bomba

En esta instancia del software se adquirió los datos de diseño de la bomba, estos son con los que viene operando en circunstancias normales.

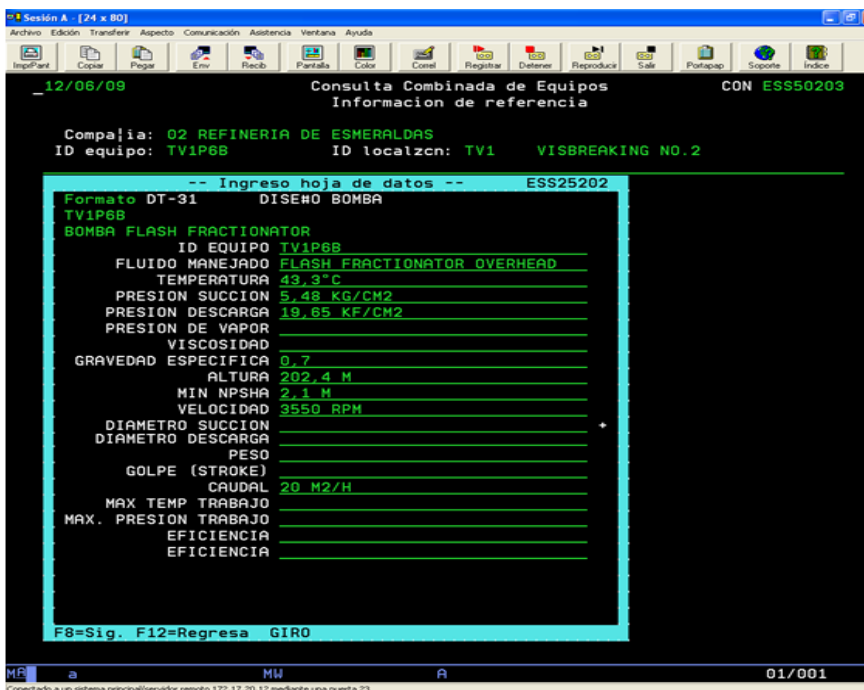


Figura 4.14: Main/Tracker Datos de Diseño de la Bomba

Para verificar los datos del motor que impulsa a la bomba se colocó la letra M al final de la identificación del equipo.

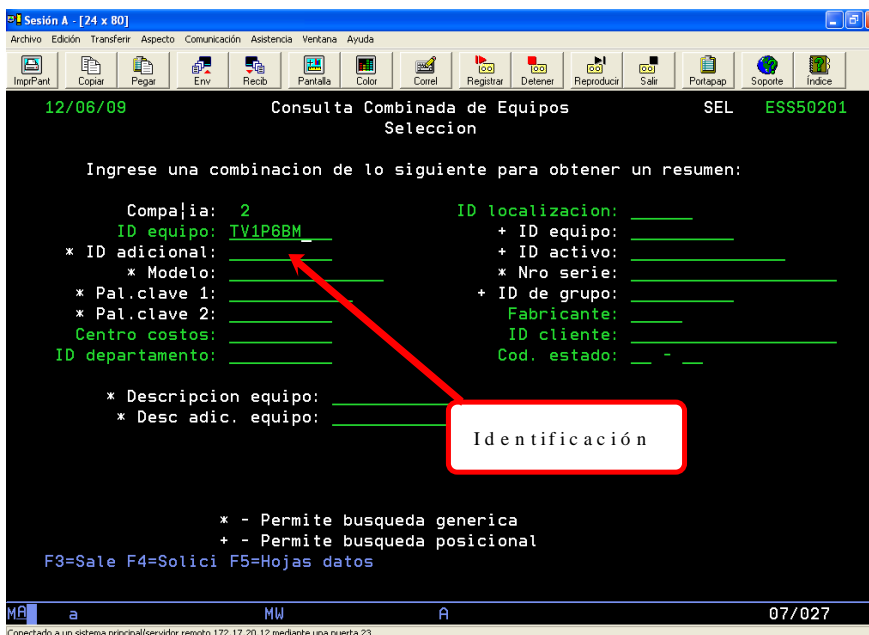


Figura 4.15: Main/Tracker Identificación del Motor Eléctrico

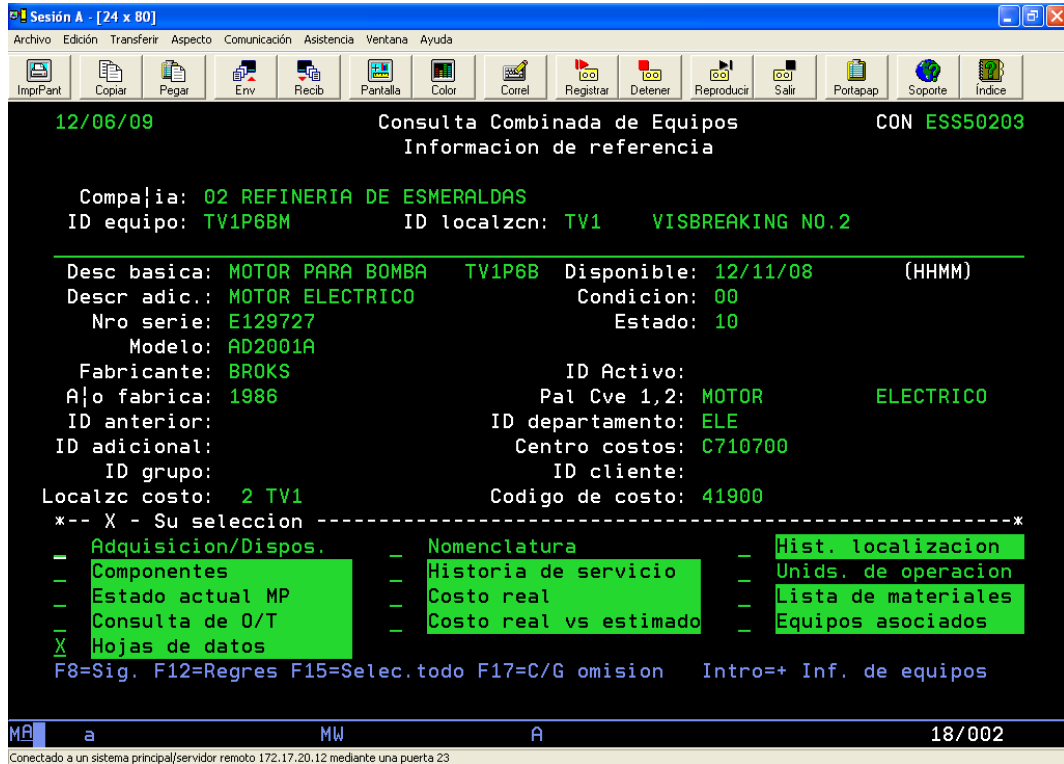


Figura 4.16: Main/Tracker Información de Referencia del Motor Eléctrico

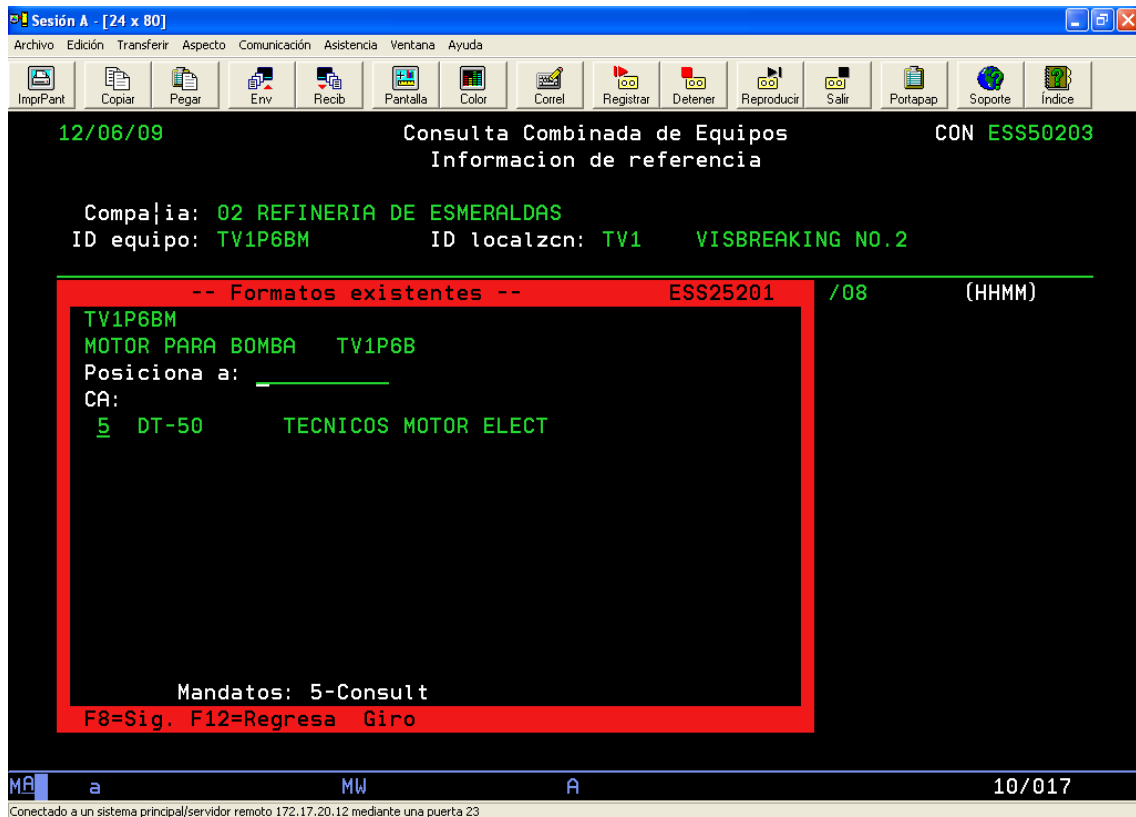


Figura 4.17: Main/Tracker Consulta de Datos del Motor Eléctrico

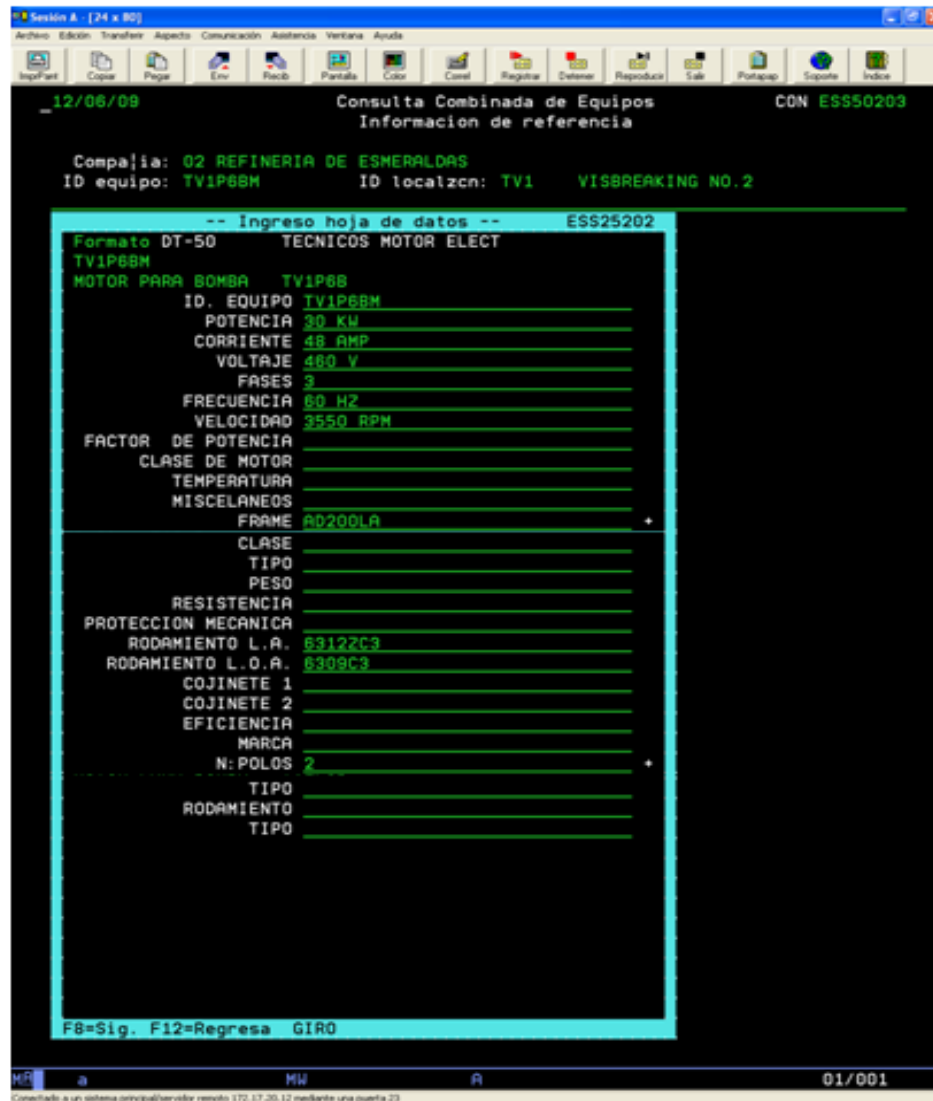


Figura 4.18: Main/Tracker Datos de Diseño del Motor Eléctrico

4.3 Determinación de las Rutas de Medición

Como parte del programa de monitoreo de condición a los activos de la planta de procesos que fue llevado durante la realización de la tesis, se detalla a continuación las rutas de inspección que mediante termografía infrarroja se llevarán a cabo durante el 2009. El criterio para la selección de equipos a ser monitoreados mediante la inspección termográfica fue su orden de montaje en las diferentes áreas seleccionadas.

A continuación adjuntamos las designaciones de las rutas, equipos que la conforman y finalmente el cronograma para su ejecución que estará sujeto a modificación de acuerdo a cualquier imprevisto, exclusión ó inclusión de equipos.

Se empezó realizando una lista de los equipos existentes en la unidad No Catalíticas II ya que esta unidad fue la escogida para la realización de la tesis. Esta lista sirvió de ayuda para configurar las rutas en el software Condition RED que posteriormente facilitó para hacer un seguimiento a cada uno de los equipos de la unidad.

Tabla 4.1: LISTA DE EQUIPOS DE LA UNIDAD NO CATALÍTICAS II

CRUDO II	VACIO II	VISHBREAKING II
C-P34A/B/C	VL-P9B	TV1-P1A/B
C-P20A/B	VL-P5A/B	TV1-P2A/B
C-P19A/B	VL-P10A/B	TV1-P4A/B
C-P18A/B	VL-P2A/B	TV1-P5A/B
C-P21A/B	VL-P6A/B	TV1-P6A/B
C-P24A/B	VL-P4A/B	TV1-P7A/B
C-P25A/B	VL-P3A/B	TV1-P3A/B
C-P26A/B	VL-P12A/B	TV1-P10A
C-P23A/B	VL-P13A	TV1-P11A
C-P22A/B	VL-P8A/B	TV1-P9A/B
C-P27A/B	VL-P14A/B	

4.4 Rutas para Monitoreo Termográfico a Equipos de Planta de la Refinería

Estatad Esm eraldas

UNIDAD DE CONFIABILIDAD

RUTAS DE MONITOREO PARA EQUIPOS DE PLANTA

Tabla 4.2: RUTA 1: UTILIDADES VAPOR

RUTA 1: UTILIDADES VAPOR		
GENERACIÓN DE VAPOR		
ID. EQUIPO	PLANTA	DESC. FUNCIONAL
YP7003AM	Y5 SISTEMA VAPOR/AGUA DE ALIMENTACIÓN	BOMBA ALIH2O CALD Y-B7003AM
YP7003CM	Y5 SISTEMA VAPOR/AGUA DE ALIMENTACIÓN	BOMBA ALIH2O CALD.Y-B7003AM
YPM7009A	UTILIDADES	BOMBA FUEL-OIL A CALDERAS
YP2502BM	Y3 SISTEMA DE COMBUSTIBLE	BOMBA FUEL-OIL A CALDERAS

Tabla 4.3: RUTA 2: UTILIDADES AIRE

RUTA 2: UTILIDADES AIRE		
AGUA DE ENFRIAMIENTO		
ID. EQUIPO	PLANTA	DESC. FUNCIONAL
YP3010AM	Y4 SISTEMA DE AGUA	BOMBA AGUA ENFRIAMIENTO
YP3010BM	Y4 SISTEMA DE AGUA	BOMBA AGUA ENFRIAMIENTO
YP3011BM	Y4 SISTEMA DE AGUA	BOMBA AGUA ENFRIAMIENTO
YP3011BM	Y4 SISTEMA DE AGUA	BOMBA AGUA ENFRIAMIENTO

Tabla 4.4: RUTA 3: SETRIA

RUTA 3: SETRIA		
SETRIA		
ID. EQUIPO	PLANTA	DESC. FUNCIONAL
YP8005M	SETRIA	BOMBA CARGA GASOLINA
YP8006M	SETRIA	BOMBA CARGA GASOLINA
YP8009M	SETRIA	BOMBA CARGA FUEL OIL
YP8010M	SETRIA	BOMBA CARGA FUEL OIL
YP8011M	SETRIA	BOMBA CARGA KEROSENE
YP8012M	SETRIA	BOMBA CARGA DIESEL OIL

Tabla 4.5: RUTA 4: SISTEMA DE AGUA Y REVERSIÓN EN BALAO

RUTA 4: SISTEMA DE AGUA Y REVERSION EN BALAO		
TOMA DE AGUA		
ID. EQUIPO	PLANTA	DESC. FUNCIONAL
YP1001M	AEXT AREAS EXTERNAS	BOMBA TOMA DE AGUA REE
YP1002M	AEXT AREAS EXTERNAS	BOMBA TOMA DE AGUA REE
YP1003M	AEXT AREAS EXTERNAS	BOMBA AGUA RIO-REE
SISTEMA DE AGUA CRUDA		
YP1010A	RW SISTEMA AGUA CRUDA	BOMBA DE AGUA CRUDA
YP1010B	RW SISTEMA AGUA CRUDA	BOMBA DE AGUA CRUDA
BOMBAS DE REVERSION		
YP8010RV1	AREAS EXTERNAS	SISTEMA REVERSION DE BALAO
YP8010RV2	AREAS EXTERNAS	SISTEMA REVERSION DE BALAO

Tabla 4.6: RUTA 5: PLANTA DE HIDROTRATAMIENTO

RUTA 5. PLANTA DE HIDROTRATAMIENTO		
HDT		
ID. EQUIPO	PLANTA	DESC. FUNCIONAL
P1PM 01A	P1 HDT NAFTA PESADA	BOMBA SUCCION A P1-V05
P1PM 01B	P1 HDT NAFTA PESADA	BOMBA SUCCION A P1-V05
P1PM 02A	P1 HDT NAFTA PESADA	BOMBA SUCCION A P1-V01
P1PM 02B	P1 HDT NAFTA PESADA	BOMBA SUCCION A P1-V01
P1PM 04A	P1 HDT NAFTA PESADA	BOMBA SUCCION A P1-V04
P1PM 04B	P1 HDT NAFTA PESADA	BOMBA SUCCION A P1-V04
P1PM 05A	P1 HDT NAFTA PESADA	BOMBA SUCCION A P1-V03
P1PM 05B	P1 HDT NAFTA PESADA	BOMBA SUCCION A P1-V03

Tabla 4.7: RUTA 6: REFORMACIÓN CATALÍTICA CONTINUA

RUTA 6: PLANTA DE REFORMACION CATALITICA CONTINUA		
CCR		
ID. EQUIPO	PLANTA	DESC. FUNCIONAL
P2PM 01A	CCR	BOMBA DE FONDOS P2-V01
P2PM 01B	CCR	BOMBA DE FONDOS P2-V02
P2PM 02A	CCR	BOMBA DE SUCCION P2-V05
P2PM 02B	CCR	BOMBA DE SUCCION P2-V06
P2PM 03A	CCR	BOMBA DE SUCCION P2-V07
P2PM 03B	CCR	BOMBA DE SUCCION P2-V07
P2PM 08A	CCR	BOMBA DE SUCCION P2-V10
P2PM 08B	CCR	BOMBA DE SUCCION P2-V10

Tabla 4.8: RUTA 7: CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO

RUTA 7: CRAQUEO CATALITICO FLUIDIZADO		
FCC		
ID. EQUIPO	PLANTA	DESC. FUNCIONAL
FC1PBM	(FCC)	BOMBA DE LUB. DE COMPRESOR AIRE FCC
FP7AM	(FCC)	BOMBA RECIRCULACIÓN
FP7BM	(FCC)	BOMBA RECIRCULACIÓN
FP1AM	(FCC)	BOMBA DE TRANSF.GASOLEO
FP1BM	(FCC)	BOMBA DE TRANSF.GASOLEO
FP11AM	(FCC)	BOMBA DE REFLUJO COLUMNA PRINCIPAL
FP11BM	(FCC)	BOMBA DE REFLUJO COLUMNA PRINCIPAL

Tabla 4.9: RUTA 7A: CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO

RUTA 7A: CRAQUEO CATALITICO FLUIDIZADO		
FCC		
ID. EQUIPO	PLANTA	DESC. FUNCIONAL
FP12AM	(FCC)	BOMBA GASOLINA FV7
FP12BM	(FCC)	BOMBA GASOLINA FV8
FP2AM	(FCC)	BOMBA DE CARGA DE GASOLEO
FP2BM	(FCC)	BOMBA DE CARGA DE GASOLEO
FP8M	(FCC)	BOMBA DE RECIRCULACION ACL
FP3AM	(FCC)	BOMBA ACEITE CLARIFICADO
FP3BM	(FCC)	BOMBA ACEITE CLARIFICADO
FP17AM	(FCC)	BOMBA RECIR. AGUA CALDERA

Tabla 4.10: RUTA 8: UNIDAD MEROX

RUTA 8: UNIDAD MEROX		
MEROX		
ID. EQUIPO	PLANTA	DESC. FUNCIONAL
MEP302A	ME MEROX JET FUEL	BOMBA "CAUSTIC TRANSFER"
MEP302B	ME MEROX JET FUEL	BOMBA "CAUSTIC TRANSFER"
MEP305A	ME MEROX JET FUEL	BOM CIRCULACION AMINA
MEP305B	ME MEROX JET FUEL	BOM CIRCULACION AMINA
MEP307A	ME MEROX JET FUEL	BOMBA CIRCULACION CAUSTICA
MEP307B	ME MEROX JET FUEL	BOMBA CIRCULACION CAUSTICA
MEP308A	ME MEROX JET FUEL	BOMBA ALIMENTACION REGENERADOR
MEP308B	ME MEROX JET FUEL	BOMBA ALIMENTACION REGENERADOR

Tabla 4.11: RUTA 9: UNIDAD DE CONCENTRACION DE GASES

RUTA 9: UNIDAD DE CONCENTRACION DE GASES		
GASCON		
ID. EQUIPO	PLANTA	DESC. FUNCIONAL
GC1PBM	CONCENTRAC DE GAS	BOMBA ACEITE LUBRICACION
GP2AM	CONCENTRAC DE GAS	BOMBA CONDENSADO
GP2BM	CONCENTRAC DE GAS	BOMBA CONDENSADO

Tabla 4.12: RUTA 9A. UNIDAD DE CONCENTRACIÓN DE GASES

RUTA 9A: UNIDAD DE CONCENTRACION DE GASES		
GASCON		
ID. EQUIPO	PLANTA	DESC. FUNCIONAL
GP3AM	CONCENTRAC DE GAS	BOMBA ALIMENTACION STRIPP
GP3BM	CONCENTRAC DE GAS	BOMBA ALIMENTACION STRIPP
GP4AM	CONCENTRAC DE GAS	BOMBA ABSORBEDORA GRASA
GP4BM	CONCENTRAC DE GAS	BOMBA ABSORBEDORA GRASA
GP7AM	CONCENTRAC DE GAS	BOMBA REFLUJO DESBUTANIZADO
GP7BM	CONCENTRAC DE GAS	BOMBA REFLUJO DESBUTANIZADO

Tabla 4.13: RUTA 10. UNIDAD DE DESTILACIÓN ATMOSFÉRICA I

RUTA 10: UNIDAD DE DESTILACION ATMOSFERICA I		
CRUDO I		
ID. EQUIPO	PLANTA	DESC. FUNCIONAL
CPM01A	CRUDO NO.1	BOMBA DE CARGA DE CRUDO I
CPM01B	CRUDO NO.1	BOMBA DE CARGA DE CRUDO I
CPM01C	CRUDO NO.1	BOMBA DE CARGA DE CRUDO I
CP2AM	CRUDO NO.1	BOMBA FONDOS CV1
CP2BM	CRUDO NO.1	BOMBA FONDOS CV1

Tabla 4.14: RUTA 10A: UNIDAD DE DESTILACIÓN ATMOSFÉRICA I

RUTA 10A: UNIDAD DE DESTILACION ATMOSFERICA I		
CRUDO I		
ID. EQUIPO	PLANTA	DESC. FUNCIONAL
CP3AM	CRUDO NO.1	BOMBA RECIRCULADORA DE DIESEL
CP3BM	CRUDO NO.1	BOMBA RECIRCULADORA DE DIESEL
CP5AM	CRUDO NO.1	BOMBA RECIRCULADORA DE NAFTA
CP5BM	CRUDO NO.1	BOMBA RECIRCULADORA DE NAFTA
CP7AM	CRUDO NO.1	BOMBA DE GASOLINA A DEBUTANIZADOR
CP7BM	CRUDO NO.1	BOMBA DE GASOLINA A DEBUTANIZADOR

Tabla 4.15: RUTA 11: UNIDAD DE VISBREAKING I

RUTA 11: UNIDAD DE VISCORREDUCCION I		
VISBREAKING I		
ID. EQUIPO	PLANTA	DESC. FUNCIONAL
TVP2AM	VISBREAKING I	BOMBA DE CARGA TV1
TVP2BM	VISBREAKING I	BOMBA DE CARGA TV1
TVP1AM	VISBREAKING I	BOMBA FONDOS V-V1
TVP1BM	VISBREAKING I	BOMBA FONDOS V-V1
TVPM 03A	VISBREAKING I	BOMBA RESIDUO VAPORIZ
TVPM 03B	VISBREAKING I	BOMBA RESIDUO VAPORIZ
TVPM 09A	VISBREAKING I	BOMBA DE FUEL OIL PESADO
TVPM 09B	VISBREAKING I	BOMBA DE FUEL OIL PESADO

Tabla 4.16: RUTA 12: UNIDAD DE DESTILACIÓN AL VACIO I

RUTA 12: UNIDAD DE DESTILACION AL VACIO I		
VACIO I		
ID. EQUIPO	PLANTA	DESC. FUNCIONAL
VP1AM	VACIO 1	BOMBA DE FONDOS DE VACIO
VPM01B	VACIO 1	BOMBA DE FONDOS DE VACIO
VP6AM	VACIO 1	BOMBA DE AGUA TEMPERADA
VP6BM	VACIO 1	BOMBA DE AGUA TEMPERADA

Tabla 4.17: RUTA 13: UNIDAD DE HIDRODESULFURADORA

RUTA 13: UNIDAD DE HIDRODESULFURADORA		
HDS - (DIESEL)		
ID. EQUIPO	PLANTA	DESC. FUNCIONAL
DPM01A	HDS DIESEL	BOMBA DE SUCCION DE D-V01
DPM01B	HDS DIESEL	BOMBA DE SUCCION DE D-V01

Tabla 4.18: RUTA 14: UNIDAD DE DESTILACIÓN ATMOSFÉRICA II

RUTA 14: UNIDAD DE DESTILACION ATMOSFERICA II		
CRUDO II		
ID. EQUIPO	PLANTA	DESC. FUNCIONAL
<u>CP34A</u>	<u>CRUDO NO.2</u>	<u>B. DE CARGA DE CRUDO 2</u>
<u>CP34B</u>	<u>CRUDO NO.2</u>	<u>B. DE CARGA DE CRUDO 2</u>
<u>CP34C</u>	<u>CRUDO NO.2</u>	<u>B. DE CARGA DE CRUDO 2</u>
CP20A	CRUDO NO.2	BOMBA KEROSENE
CP20B	CRUDO NO.2	BOMBA KEROSENE
CP19A	CRUDO NO.2	BOMBA DIESEL
CP19B	CRUDO NO.2	BOMBA DIESEL
<u>CP18AM</u>	<u>CRUDO NO.2</u>	<u>BOMBA FONDOS CV13</u>
<u>CP18BM</u>	<u>CRUDO NO.2</u>	<u>BOMBA FONDOS CV13</u>
CP21A	CRUDO NO.2	NAPTA PUMP AROUND
CP21B	CRUDO NO.2	NAPTA PUMP AROUND
CP24A	CRUDO NO.2	PRODUCTO DIESEL
CP24B	CRUDO NO.2	PRODUCTO DIESEL
CP25A	CRUDO NO.2	KEROSENE CIRCULANTE
CP25B	CRUDO NO.2	KEROSENE CIRCULANTE
CP26A	CRUDO NO.2	DEBUTANIZADOR
CP26B	CRUDO NO.2	DEBUTANIZADOR
CP23A	CRUDO NO.2	NAPTA NO ESTABILIZADA
CP23B	CRUDO NO.2	NAPTA NO ESTABILIZADA
CP22A	CRUDO NO.2	REFLUJO A CRUDO
CP22B	CRUDO NO.2	REFLUJO A CRUDO
CP27A	CRUDO NO.2	AGUA AMARGA
CP27B	CRUDO NO.2	AGUA AMARGA

Tabla 4.19: RUTA 15: UNIDAD DE VISBREAKING II

RUTA 15: UNIDAD DE VISCORREDUCCION II		
VISBREAKING II		
ID. EQUIPO	PLANTA	DESC. FUNCIONAL
<u>TV1P1A</u>	<u>VISBREAKING 2</u>	<u>BOMBA DE CARGA</u>
<u>TV1P1B</u>	<u>VISBREAKING 2</u>	<u>BOMBA DE CARGA</u>
<u>TV1P2A</u>	<u>VISBREAKING 2</u>	<u>BOMBA DE STRIPPED RESIDUM</u>
<u>TV1P2B</u>	<u>VISBREAKING 2</u>	<u>BOMBA DE STRIPPED RESIDUM</u>
TV1P4A	VISBREAKING 2	BOMBA DESTIL.PUMP AROUND
TV1P4B	VISBREAKING 2	BOMBA DESTIL.PUMP AROUND
TV1P5A	VISBREAKING 2	BOMBA DIESEL DE TV1
TV1P5B	VISBREAKING 2	BOMBA DIESEL DE TV1
TV1P6A	VISBREAKING 2	BOMBA "FLASH FRACTIONATOR "
TV1P6B	VISBREAKING 2	BOMBA "FLASH FRACTIONATOR "
TV1P7A	VISBREAKING 2	BOMBA DE HIDROCARBURO
TV1P7B	VISBREAKING 2	BOMBA DE HIDROCARBURO
TV1P3A	VISBREAKING 2	BOMBA RESID.STRIPP/AEREO
TV1P3B	VISBREAKING 2	BOMBA RESID.STRIPP/AEREO
TV1P10A	VISBREAKING 2	BOMBA DE DOSIFICACIÓN QUÍMICO
TV1P11A	VISBREAKING 2	BOMBA DE DOSIFICACIÓN QUÍMICO
<u>TV1P9A</u>	<u>VISBREAKING 2</u>	<u>BOMBA DE FUEL OIL PESADO</u>
<u>TV1P9B</u>	<u>VISBREAKING 2</u>	<u>BOMBA DE FUEL OIL PESADO</u>

Tabla 4.20: RUTA 16: UNIDAD DE DESTILACIÓN AL VACIO II

RUTA 16: UNIDAD DE DESTILACION AL VACIO II		
VACIO II		
ID. EQUIPO	PLANTA	DESC. FUNCIONAL
VLP9B	VACIO 2	BOMBA "NET LIGHT NEUTRAL"
<u>VLP2A</u>	<u>VACIO 2</u>	<u>BOMBA DE FONDOS DE VACIO</u>
<u>VLP2B</u>	<u>VACIO 2</u>	<u>BOMBA DE FONDOS DE VACIO</u>
VLP5A	VACIO 2	BOMBA NET MEDIUM NEUTRAL
VLP5B	VACIO 2	BOMBA NET MEDIUM NEUTRAL
VLP10A	VACIO 2	BOMBA "CIRCULATING LVGO"
VLP10B	VACIO 2	BOMBA "CIRCULATING LVGO"
VLP6A	VACIO 2	CIRCULACION DE SLOP-WAX
VLP6B	VACIO 2	CIRCULACION DE SLOP-WAX
VLP4A	VACIO 2	CIRCULACION MEDIO NEUTRAL
VLP4B	VACIO 2	CIRCULACION MEDIO NEUTRAL
VLP3A	VACIO 2	BOMBA CEVADO DE LIQUIDO
VLP3B	VACIO 2	BOMBA CEVADO DE LIQUIDO
VLP12A	VACIO 2	EYECTOR RECEPTOR CONDENSADO
VLP12B	VACIO 2	EYECTOR RECEPTOR CONDENSADO
VLP13A	VACIO 2	BOMBA RECEPTOR HIDROCARBURO
VLP8A	VACIO 2	CIRCULACION ALTA NEUTRAL
VLP8B	VACIO 2	CIRCULACION ALTA NEUTRAL
<u>VLP14A</u>	<u>VACIO 2</u>	<u>BOMBA DE AGUA TEMPERADA</u>
<u>VLP14B</u>	<u>VACIO 2</u>	<u>BOMBA DE AGUA TEMPERADA</u>

4.5 Rutinas de Monitoreo de Condición para Equipos de R E E

A continuación se describe brevemente la rutina de monitoreo de condición:

- 1) Se ingresa al software de Termografía de Termoteknix "Condition RED"
- 2) Se revisa luego el cronograma establecido para la ruta a realizarse.
- 3) Una vez identificada la ruta a ejecutarse se revisa las últimas tendencias y condiciones térmicas de los equipos antes de subir a la planta.
- 4) Se revisa la cámara para constatar el estado de la misma y su correcto funcionamiento.
- 5) Se carga la ruta en la cámara termográfica.
- 6) Verificamos de llevar los accesorios necesarios para la ejecución de la ruta.
- 7) Se procede a desplazarse hasta la planta a realizarse la ruta.
- 8) Antes de iniciar el monitoreo de condición se realiza el trámite respectivo para el permiso de trabajo.
- 9) Una vez conseguido el permiso de trabajo se procede a la planta para la ejecución de la ruta establecida.
- 10) Para la ejecución de las tomas termográficas realizamos la compensación de los diferentes parámetros de la cámara.

Determinación de la emisividad: se determina la emisividad colocando sobre el objeto una cinta de un material cuya emisividad sea conocida (por ejemplo: cinta aisladora negra (= 0.95), para luego dejarlo un tiempo prudente a fin de que adquieran ambos (cinta y objeto) la misma temperatura. Posteriormente se mide con la cámara la temperatura sobre la cinta, ajustando la emisividad en 0.95;

después se mide la temperatura sobre el objeto y se ajusta la emisividad hasta que marque la temperatura medida sobre la cinta.

11) Ajustados los parámetros se procede a realizar las tomas termográficas desde diferentes ángulos tratando de obtener la imagen más adecuada.

12) Como la ruta cargada le da la imagen de la línea base establecida se procede a la toma de la siguiente imagen tratando de coincidir con el ángulo de la referencia para que la imagen esté lista para ser guardada.

13) Una vez concluida la ruta se procede a cerrar la orden de trabajo.

14) Se regresa a la oficina para descargar la información en la PC en el software Condition RED.

15) Una vez que se descarga en el Condition RED se procede al análisis de las termografías en forma individual para establecer severidades de los equipos en el software TherMonitor.

16) En caso de que la severidad amerite se emiten órdenes de trabajo en el sistema AS400 para equipos.

17) Elaboración del informe respectivo.

18) Se procede a archivar las termografías para elaboración de tendencias y estadísticas.

4.6 Diagrama de Configuración de la Unidad No Catalíticas II

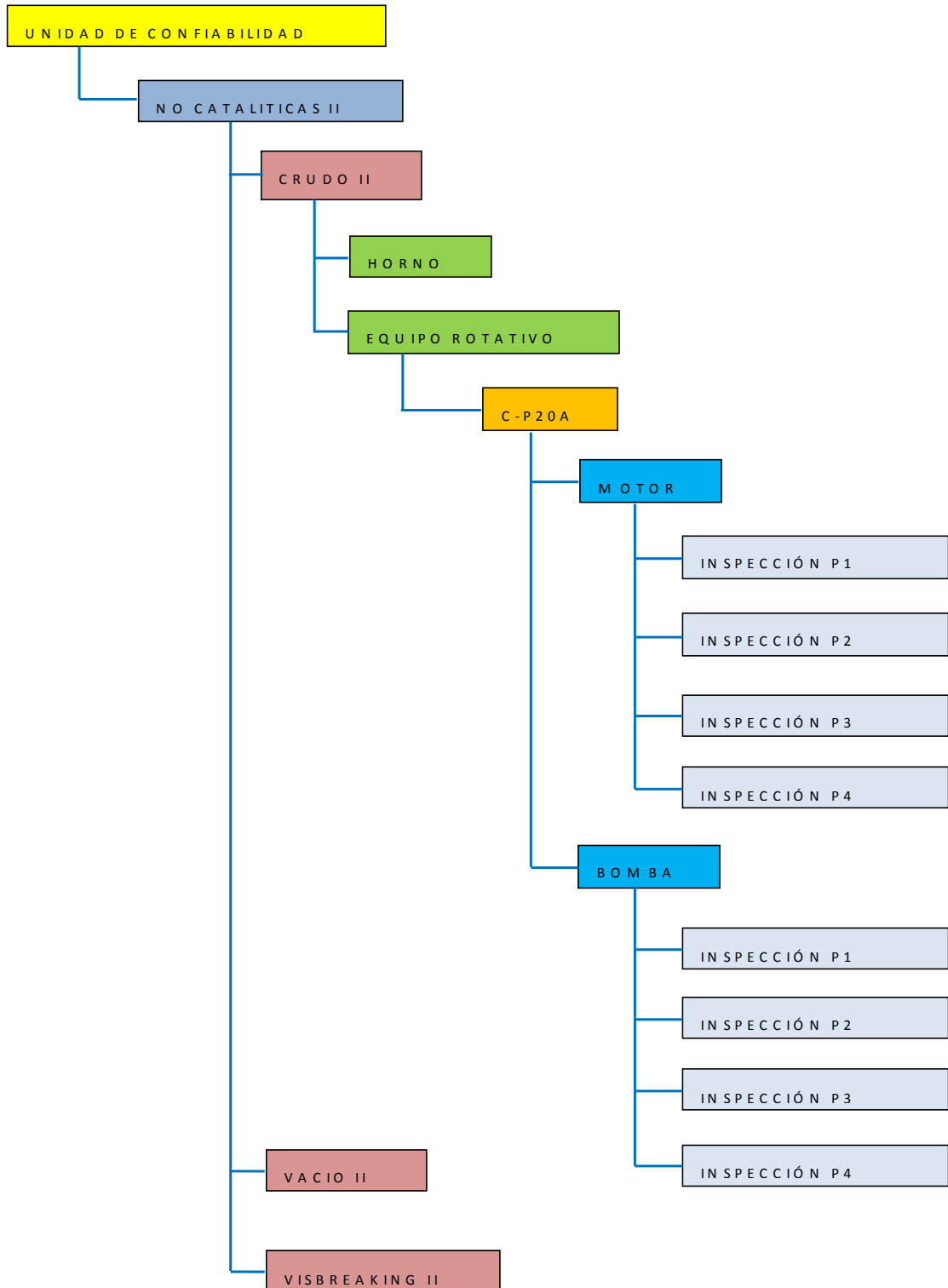


Figura 4.19: Diagrama de Configuración

4.6.1 Rutas Cargadas en el Software Condition RED.

Se empezó colocando la unidad a la que pertenece las rutas de monitoreo termográfico.

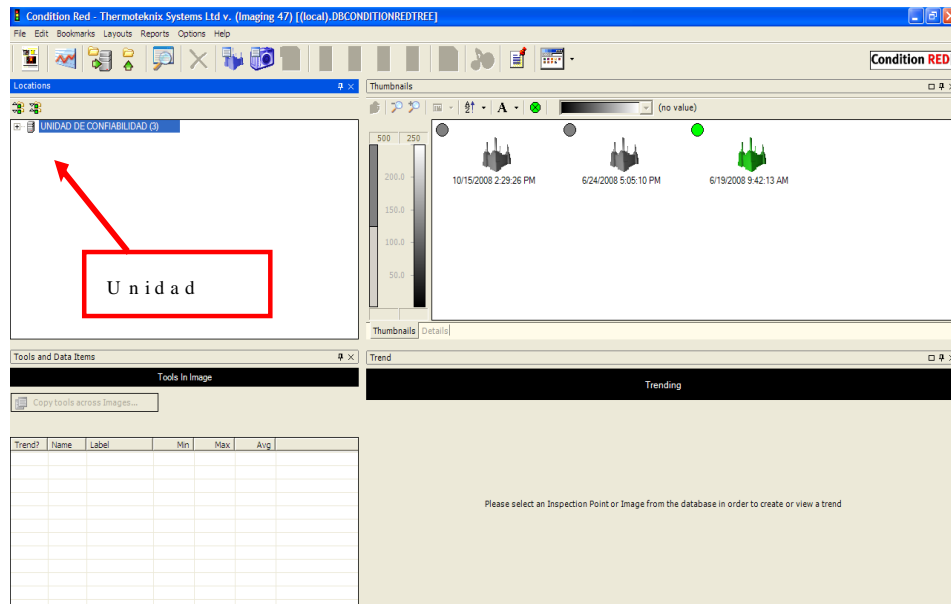


Figura 4.20: Condition RED Inicio de las Rutas de Medición

Mediante un click derecho se creó la ubicación de la ruta escogida para la realización de la tesis.

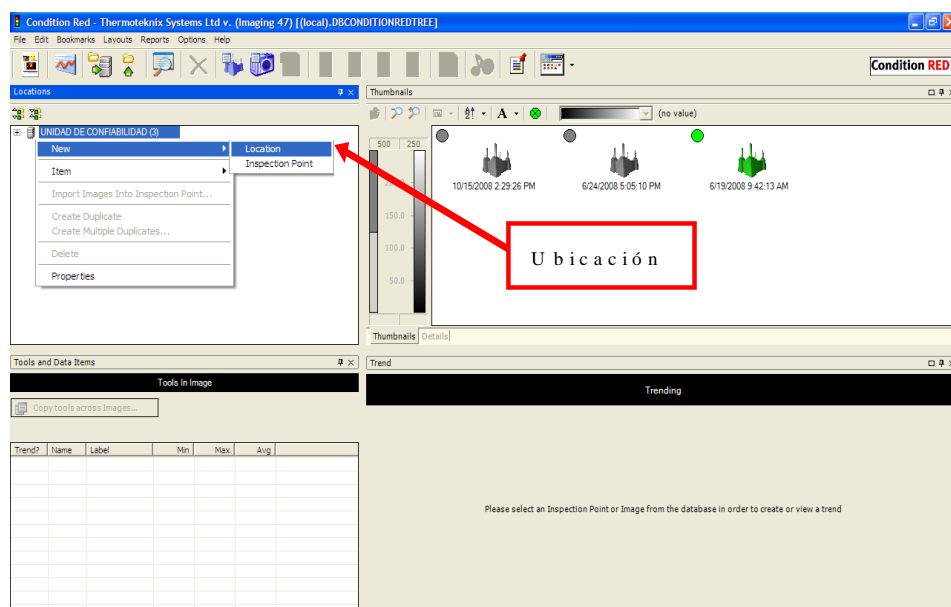


Figura 4.21: Creación de la Localización (Ubicación)

En el siguiente cuadro de dialogo fue colocado el nombre de la ubicación escogida

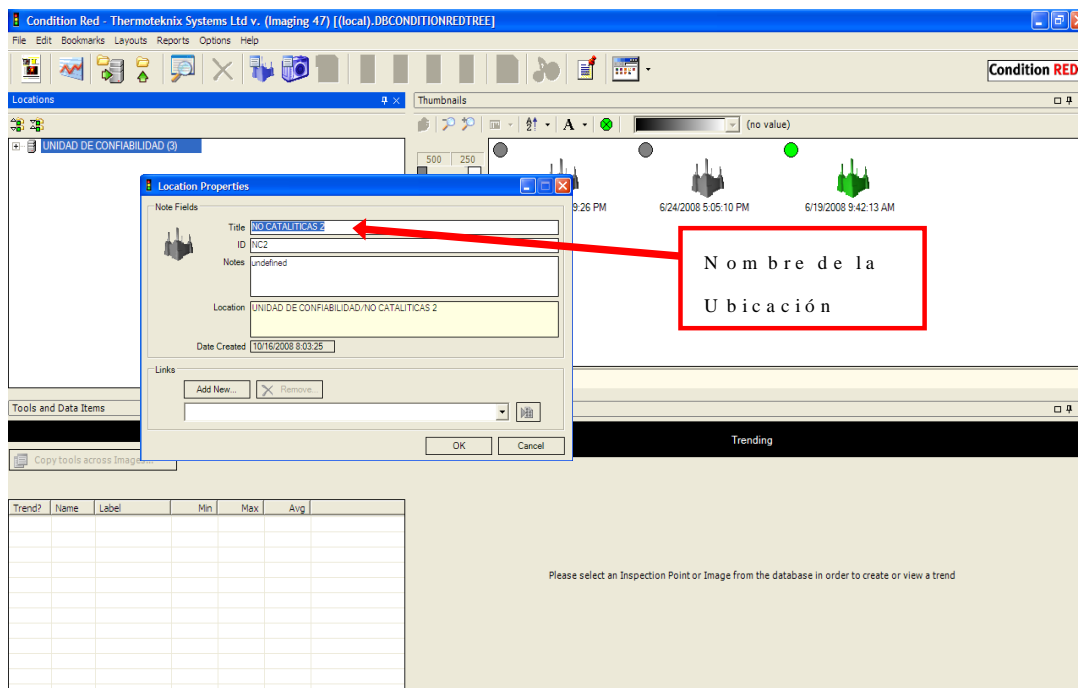


Figura 4.22: Cuadro de Dialogo para la Ubicación

Fue obtenido el nombre de la ubicación Unidad No Catalíticas II que es el área escogida para el estudio.

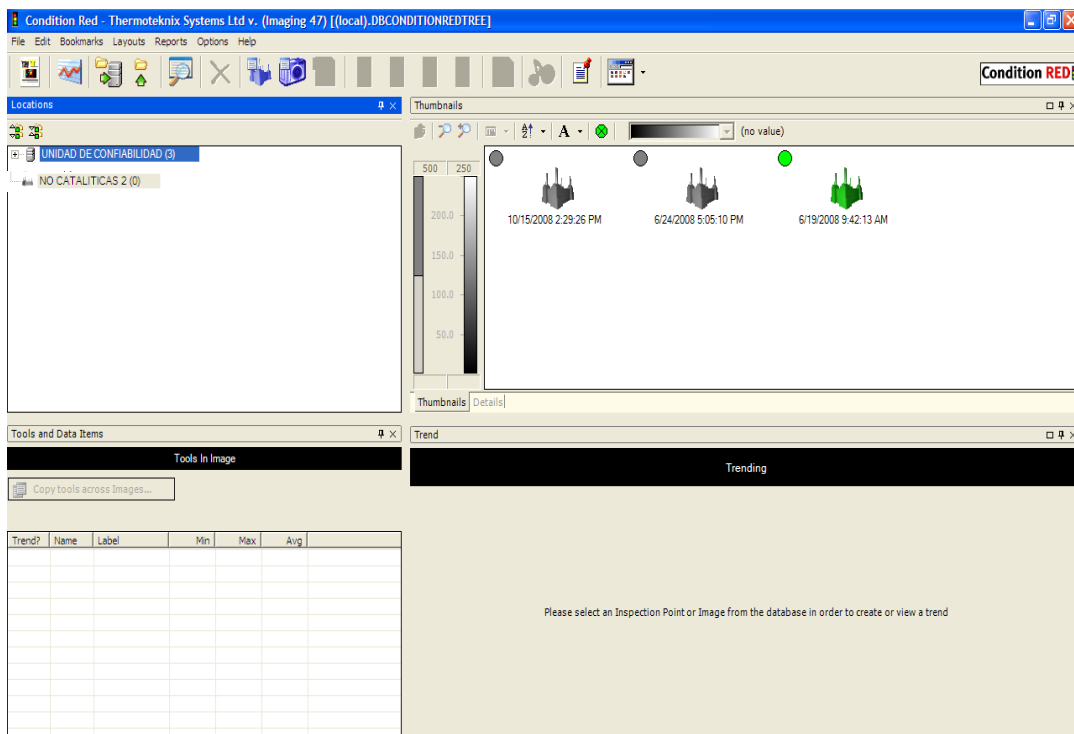


Figura 4.23: Ubicación No Catalíticas II

Luego de la ubicación se creó sub-ubicaciones realizando el mismo proceso mediante el click derecho y posteriormente colocando el nombre correspondiente.

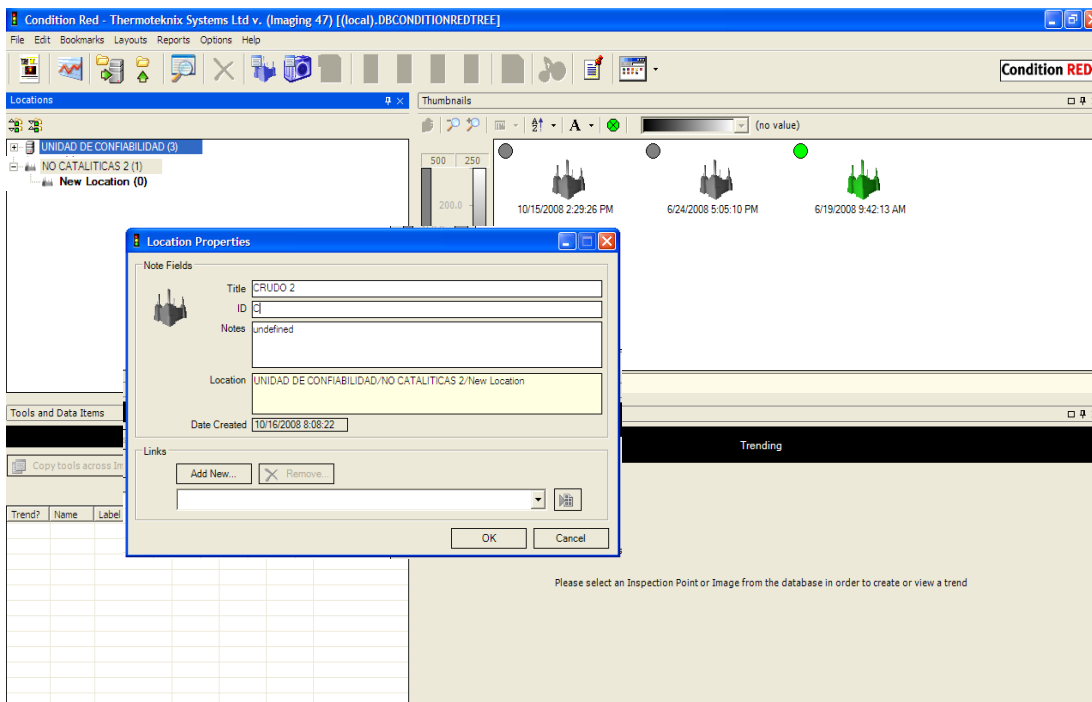


Figura 4.24: Creación de la Sub-ubicación Crudo II

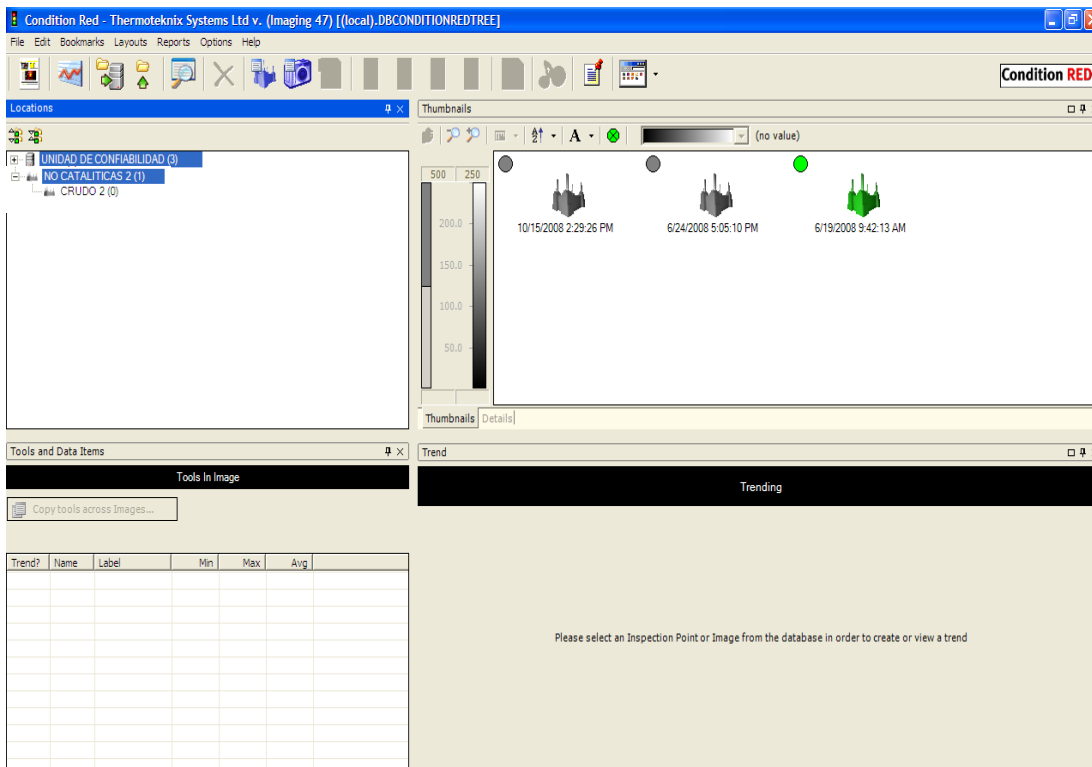


Figura 4.25: Sub-ubicación Crudo II

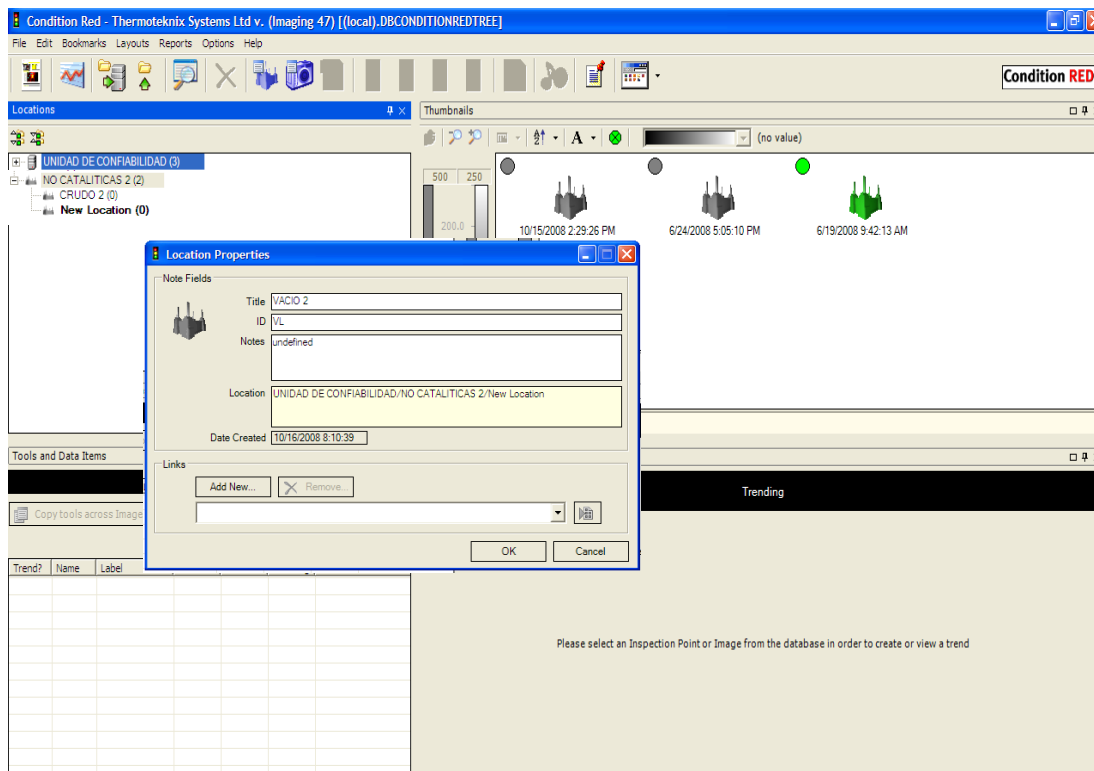


Figura 4.26: Creación de la Sub-ubicación Vacio II

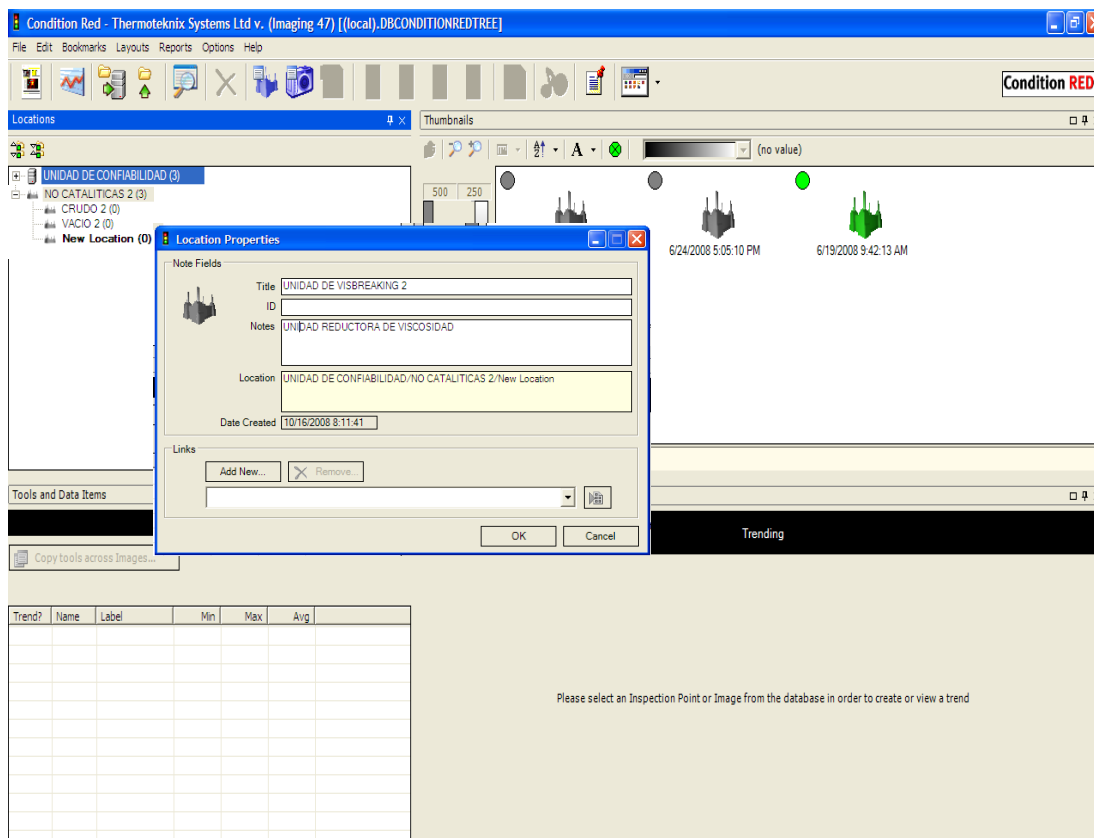


Figura 4.27: Creación de la Sub-ubicación Visbreaking II

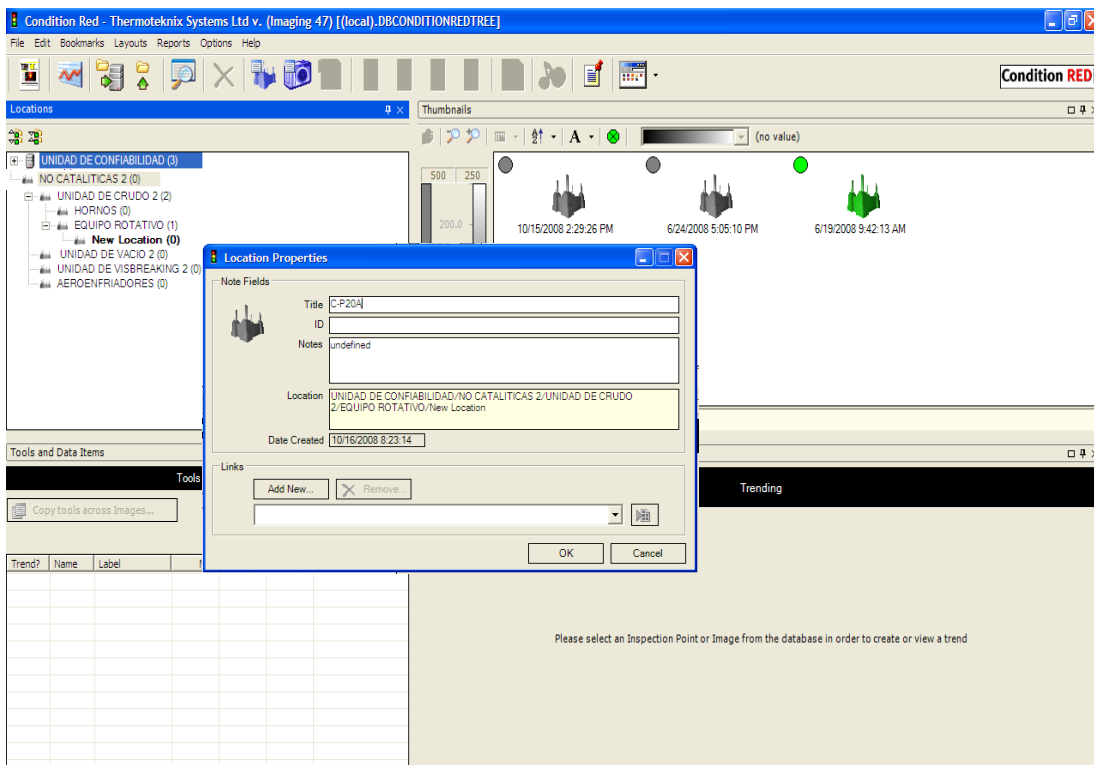


Figura 4.28: Sub-ubicación del Equipo a Inspeccionar

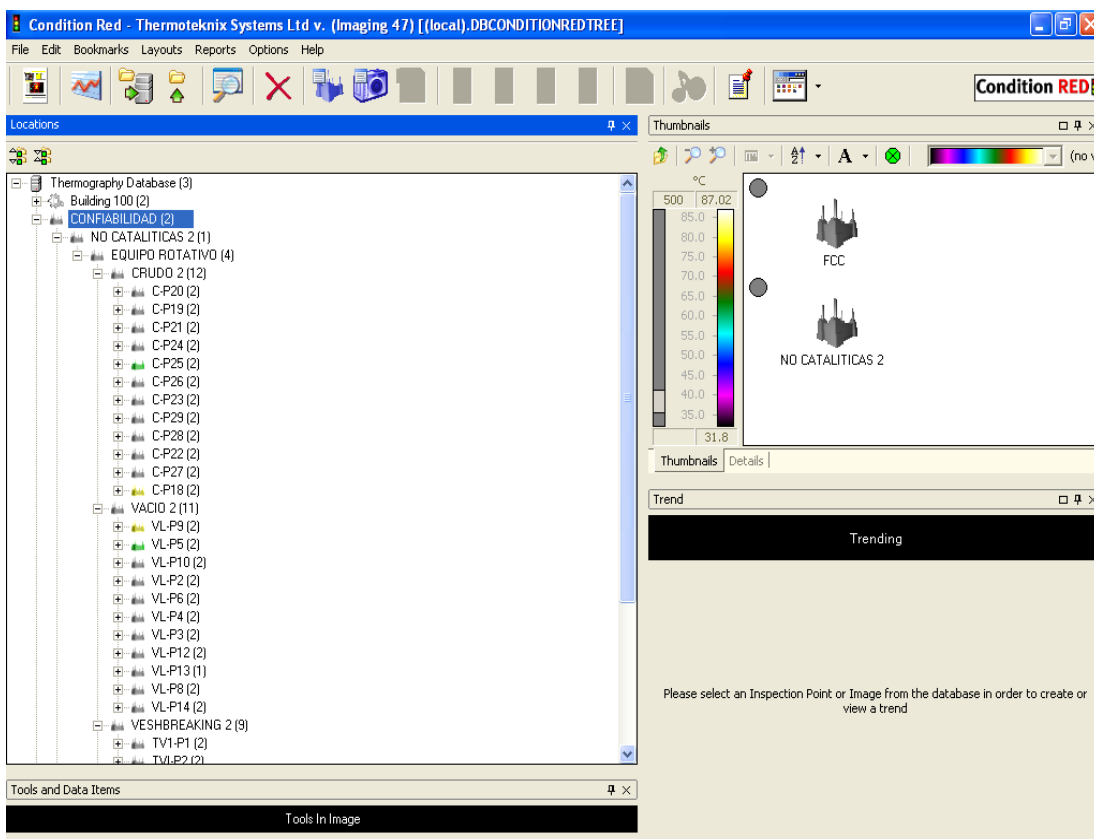


Figura 4.29: Equipos a Inspeccionar

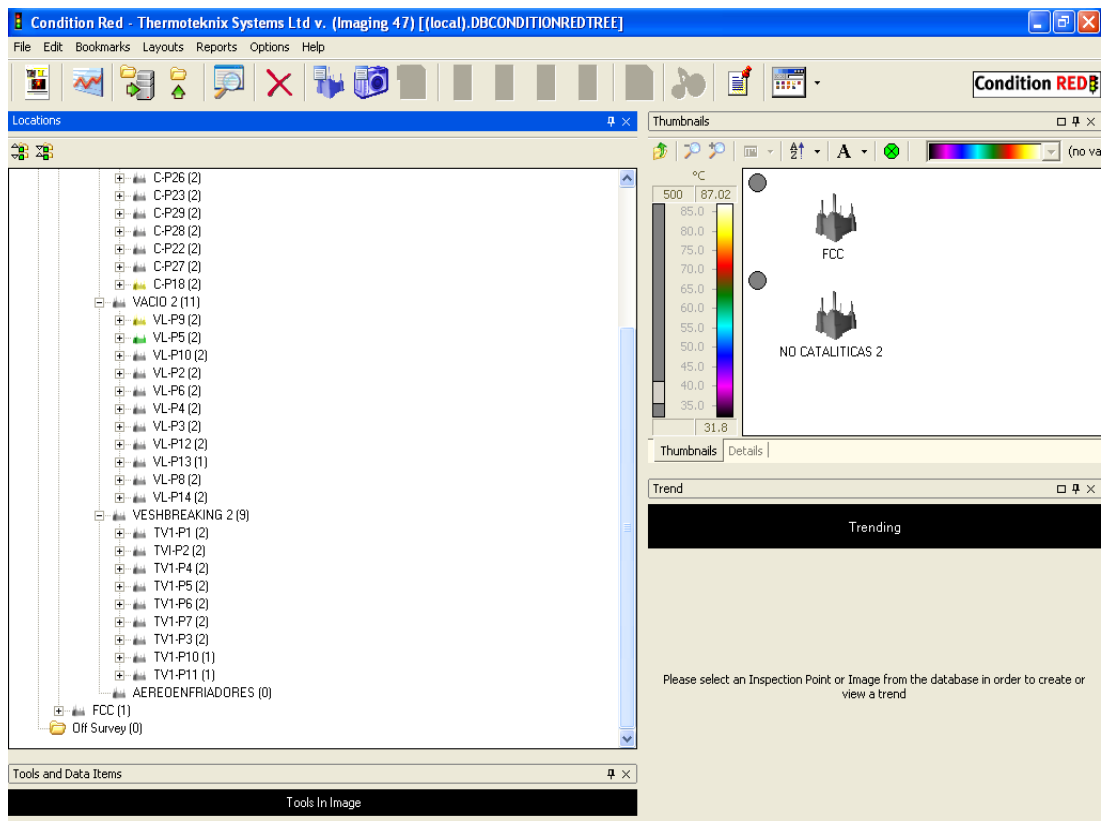


Figura 4.30: Total de Equipos a Inspeccionar

4.7 Tom as Term ográficas

Todas las tomas term ográficas realizadas a los equipos rotativos durante la realización de la tesis fueron con la cámara VisIR Ti 200.



Figura 4.31: Cámara VisIR Ti 200

4.7.1 Termogramas Realizadas en el Campo Industrial

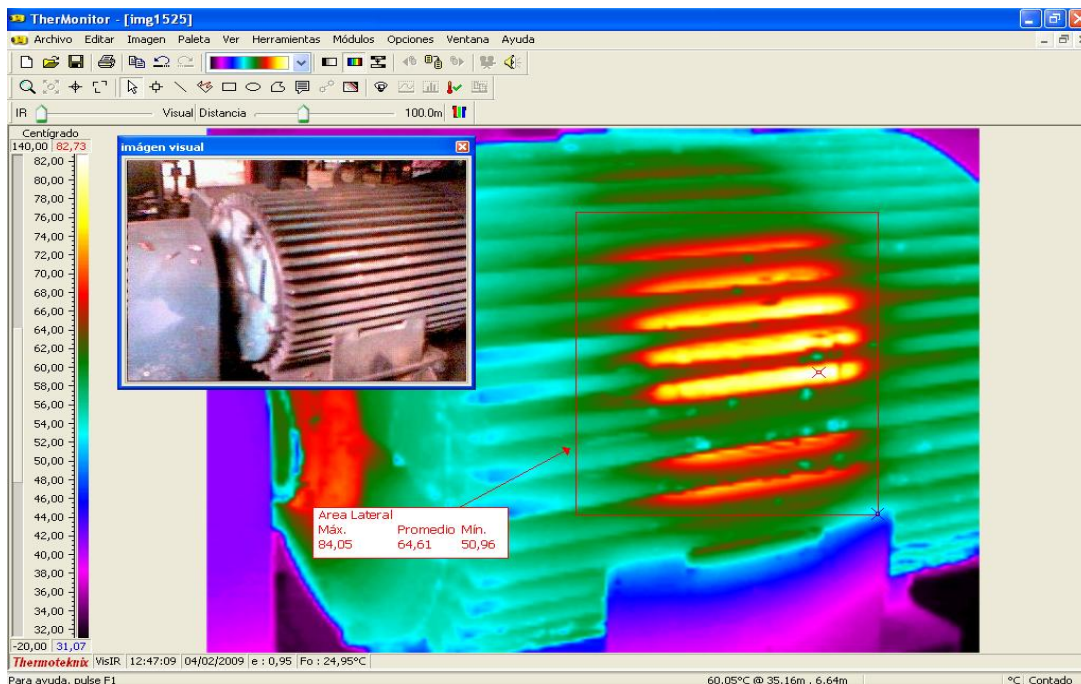


Figura 4.32: Toma Realizada en el Campo al Motor CP21A

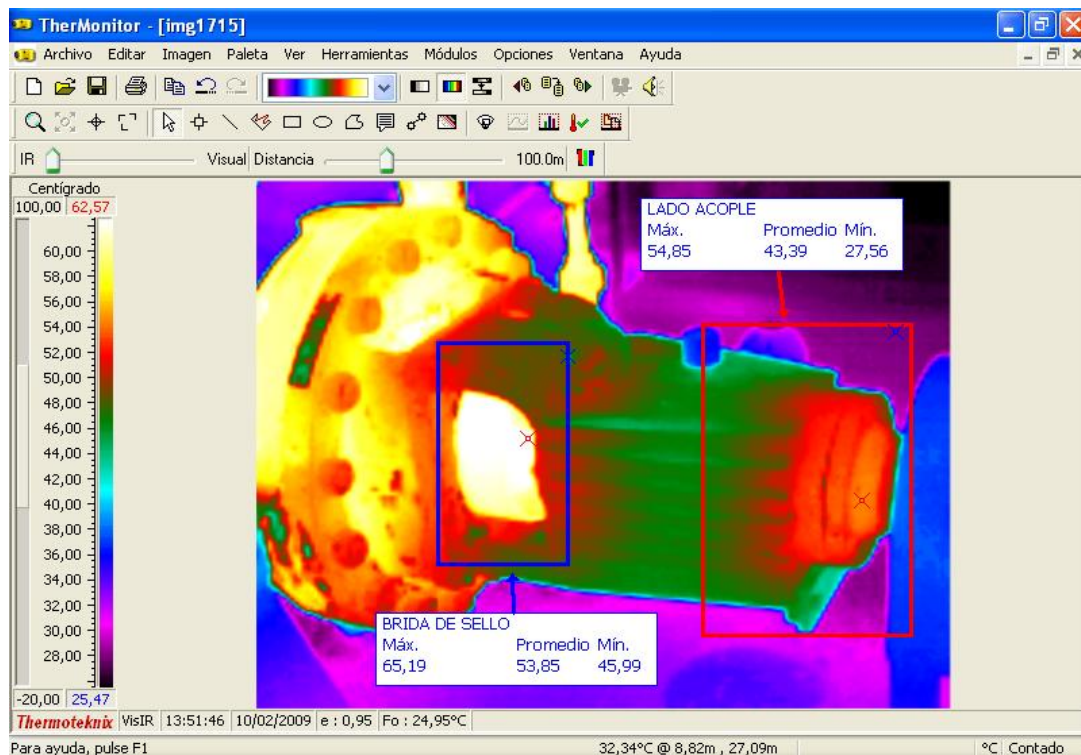


Figura 4.33: Toma Realizada en el Campo a la Bomba CP21A

4.7.2 Tom as Efectuadas en el Campo Industrial



Figura 4.34: Práctica en el Campo Industrial

4.8 Parámetros Estandarizados en la Inspección Termográfica

A los termogramas, durante el análisis correspondiente se aplicó los parámetros estandarizados a los siguientes equipos:

4.8.1 Motores Eléctricos Trifásicos

Son motores que requieren fases equilibradas y temperaturas de trabajo correctas. Se ha comprobado que si superan las temperaturas de trabajo correctas el aislamiento pierde tiempo de vida útil.

Los motores se dimensionan normalmente para una vida teórica del orden de 25.000 horas de servicio (aproximadamente 10 años) con el aislamiento sometido a una temperatura máxima admisible en permanencia (120°C para clase B). Cuando se sobrepasa esta temperatura, la vida del motor se reduce según una regla generalmente aceptada, llamada **regla de Montsinger**

Según esta regla, cuando a un motor se le hace trabajar en permanencia a 10°C por encima de su temperatura límite, su vida se reduce aproximadamente a la mitad, de 25.000 horas a 10.000 horas, y si se le hace trabajar a 20°C más, su vida se reduce aproximadamente a la quinta parte, es decir, a unas 4.500 horas.

➤ **Las normas [NEMA Standards Publication, 1993]**

Indican que por cada 10°C que el motor opere sobre su valor límite de elevación de temperatura, la vida útil de su aislamiento se reduce a la mitad.

Regla de Montsinger

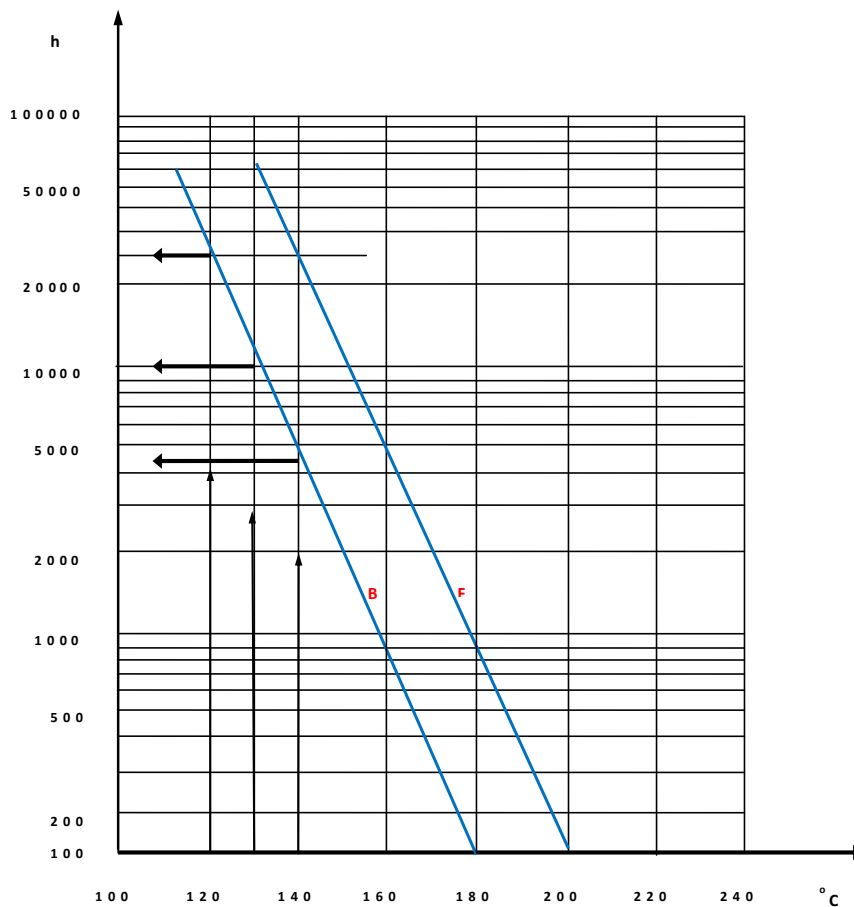


Figura 4.35: Regla de Montsinger

4.8.2 Aislamiento

Cuando hablamos de la condición de aislamiento nos referimos a la resistencia que existe entre este a tierra, indica que tan limpio ó sano esta un aislamiento.

La máxima temperatura de operación de un motor / generador depende principalmente de los materiales usados en su construcción, existen varias clases de aislamiento. A continuación se señala el alcance de temperatura máxima permitida para el aislamiento de un devanado, atendiendo a su clase (letra indicativa).

Tabla 4.21: TEMPERATURA MÁXIMA PERMITIDA PARA EL AISLAMIENTO

ATENDIENDO A SU CLASE

CLASE	TEMPERATURA MÁXIMA
Y	90 °C
A	105 °C
E	120 °C
B	130 °C
F	155 °C
H	180 °C
C	Más de 180 °C

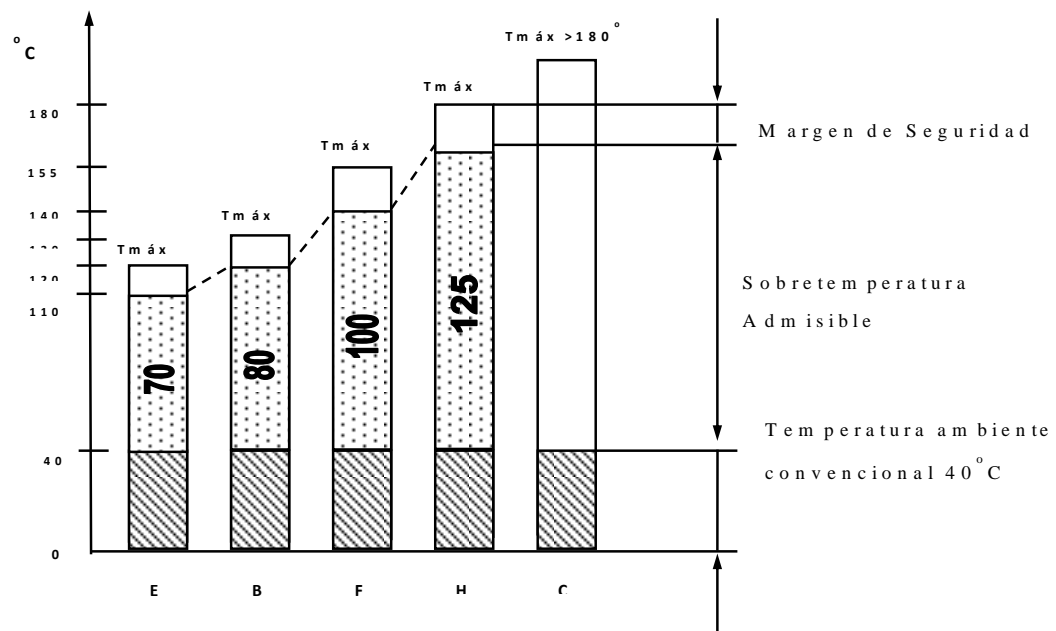


Figura 4.36: Niveles de Temperatura para las Diferentes Clases

Dichas temperaturas máximas, son a las cuales el aislamiento podría colapsar.

En termografía IR es posible detectar una falla en el aislamiento de un motor si se tiene la clase de aislamiento del mismo (dato de placa). Generalmente al medir la temperatura de la carcasa del motor, asumimos que el aislamiento está en 20°C más alto que ésta.

Por ejemplo, si observamos que la temperatura de la carcasa de un motor clase B es de 120°C, podría estar muy seguro que la temperatura del aislamiento está a por lo menos 140°C excediendo la temperatura máxima permitida para esa clase de aislamiento.

La termografía IR es una herramienta muy útil para detectar un sobrecalentamiento en el motor, y aunque podría precisar el área donde se produce el calentamiento (corto entre espiras), sin embargo es todavía bastante limitada en su capacidad de indicar el porqué se produce éste.

4.8.3 Temperatura Ambiente

Con temperatura ambiente nos referimos a la temperatura del medio empleado para enfriamiento, directo ó indirecto, esta temperatura se resta de la temperatura medida en la máquina para determinar el aumento de temperatura bajo condiciones específicas de prueba.

➤ Estándar A I E E No. 1, 1947

El aumento máximo permisible de temperatura es sobre el estándar de 40 °C.

➤ **IEEE 43-2000 (Institute of Electrical and Electronic Engineers)**

La norma de la IEEE basa los límites de aislamiento a una temperatura de 40°C.

➤ **IEC 85 (Internacional Electrotechnical Commission)**

Según esta norma todos los motores deberán estar diseñados de forma que los calentamientos en las diferentes partes del mismo no superen los límites establecidos.

Por ejemplo la IEC 34-1 para la clase B de aislamiento la temperatura ambiente máxima es de 40 °C y cuando el motor esté trabajando a su tensión y frecuencia nominales y suministrando su potencia nominal, la máxima temperatura permisible alcanzada en el punto más caliente de los devanados del motor, será de 125 °C.

Tabla 4.22: TEMPERATURA DEL AIRE DE REFRIGERACIÓN DE UN MOTOR EN FUNCIÓN DE LA ALTITUD DEL LUGAR DE EMPLAZAMIENTO.

Altitud en m	Temperatura máxima del aire de refrigeración
0 hasta 1000	40 °C
1000 hasta 2000	35 °C
2000 hasta 3000	30 °C
3000 hasta 4000	25 °C

4.8.4 Inspección de Equipos Mecánicos

Los equipos mecánicos inspeccionados son, máquinas giratorias. El incremento de temperaturas superficiales pueden deberse a fallos internos. Puede generarse un calor excesivo por fricción en rodamientos defectuosos debido al desgaste, mal alineamiento o mala lubricación. Es deseable realizar la inspección con los sistemas operativos, basándose la interpretación de los resultados en la comparación entre componentes trabajando en condiciones similares de carga.

Los equipos habitualmente inspeccionados son:

- Rodamientos
- Cojinetes

Y en elementos donde existan:

- Correas
- Bandas, etc.

Mediante las imágenes térmicas que capturan mapas infrarrojos bidimensionales de las temperaturas de los rodamientos y del alojamiento, los técnicos podrán comparar las temperaturas de funcionamiento actuales con las especificaciones de referencia y localizar posibles fallos de funcionamiento.

Los problemas en los rodamientos se suelen encontrar comparando sus temperaturas con las temperaturas de superficie de rodamientos similares que funcionan en circunstancias parecidas. En una imagen por infrarrojos, el sobrecalentamiento se

muestra como “puntos calientes” y se suele localizar comparándolo con las imágenes térmicas de un equipo similar. Uno de los procedimientos que se realiza durante la comprobación de rodamientos es la comparación entre las temperaturas de los bloques motor (para motores y rodamientos del mismo tipo), o bien de las temperaturas del estator y del bloque motor.

4.8.5 Temperatura de Servicio y Comportamiento del Material de un Rodamiento

Los aros de los rodamientos y los cuerpos rodantes son fabricados de acero al cromo templable y son endurecidos y revenidos hasta obtener los valores estandarizados.

Con esta dureza los rodamientos logran las capacidades de carga indicadas para una temperatura de servicio constante de hasta 120°C (393 K); temperaturas punta de hasta 150°C (423 K) son admisibles. A temperaturas más altas se modifica la estructura del material y aparecen pérdidas de la dureza y variaciones de las medidas.

Mediante un tratamiento térmico especial de los aros del rodamiento se pueden compensar las variaciones en las medidas. Para distinguir estos aros con estabilización de las medidas de los aros normales, se proveen con un símbolo adicional.

El tratamiento térmico especial produce la mencionada pérdida de dureza y en consecuencia, una disminución de la capacidad de carga dinámica, la que se toma en cuenta mediante el factor de temperatura f_t .

Tabla 4.23: SIMBOLO ADICIONAL PARA RODAMIENTOS CON
TRATAMIENTO TÉRMICO ESPECIAL

Símbolo adicional	Temperatura de servicio [°C (K)]	Factor de temperatura f_t
S 0	150 (423)	1,0
S 1	200 (473)	0,9
S 2	250 (523)	0,75
S 3	300 (573)	0,6

La temperatura de servicio del rodamiento depende de las siguientes influencias:

- Calentamiento propio
- Calentamiento exterior a través del eje, o por radiación
- Superficie de refrigeración de la caja
- Efecto refrigerante del eje
- Efecto de ventilación de las partes vecinas
- Temperatura de la atmósfera circundante
- Tipo y cantidad de lubricante.

Debido a esta gran cantidad de influencias es difícil hacer una estimación de la verdadera temperatura en un caso determinado. Por esto se limita generalmente a la determinación de la dirección y de la magnitud del gradiente térmico.

De la observación de máquinas de construcción semejante, que ya han funcionado bajo condiciones semejantes, puede estimarse el orden de magnitud de la temperatura de servicio probable.

4.8.6 Datos de Referencia

Siempre necesitamos comparar con algo. En termografía deben haber varios componentes similares, ó al menos disponer de patrón térmico que suponemos normal. Si un punto en particular se desvía del patrón normal, deberíamos de poder darnos cuenta.

Algunas veces podemos quedarnos tratando de adivinar qué ocurre. ¿El componente está normal ó presenta una anomalía? Sin nada tangible para comparar y sin experiencia en el tipo de componente, es difícil decidir.

Aquí tenemos un ejemplo de cómo podríamos aplicar este tipo de necesidades de datos de referencia.



Figura 4.37: Fotografía e Imagen Térmica de una Bomba con Rodamientos Sospechosos

Los rodamientos de esta bomba parecen sospechosos. Hay un gradiente térmico en ellos ¿Pero está realmente mal?

La distribución térmica podría ser normal, si el fluido que se bombea estuviera enfriando el alojamiento de los rodamientos por su parte inferior.

En este caso se dispone de otras dos bombas como referencia. Así es como están.

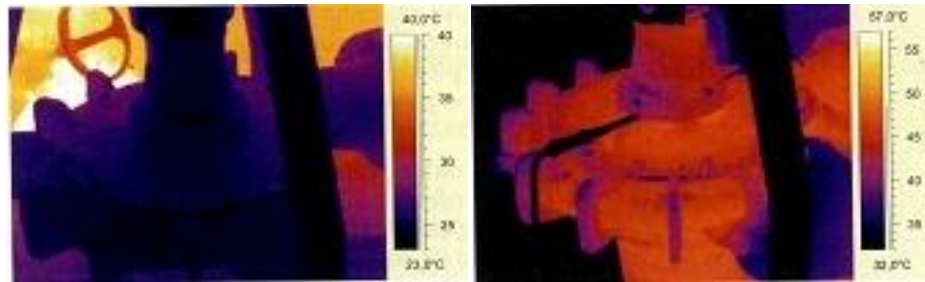


Figura 4.38: Bombas de Referencia, una Desconectada y la otra Funcionando Correctamente

La bomba de la izquierda está claramente desconectada y la otra está en funcionamiento. Comparemos el alojamiento de los rodamientos de la bomba derecha con la sospechosa.

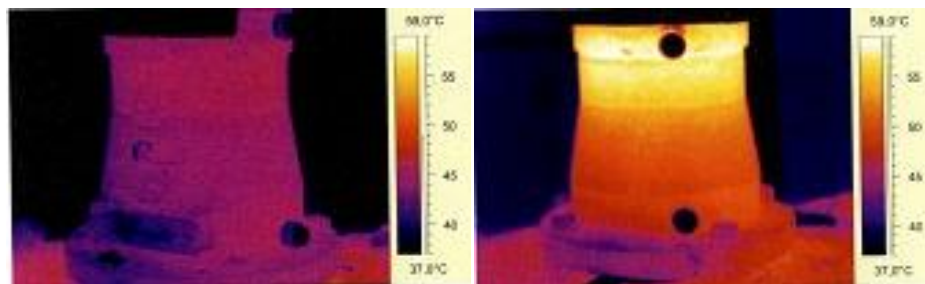


Figura 4.39: Alojamiento del Rodamiento de la Bomba Normal y de la Defectuosa

Concluimos que existe una anomalía en la bomba sospechosa, porque tanto la imagen térmica como el nivel de temperatura son diferentes. Si la carga es la misma, las temperaturas deberían también coincidir. Si la carga es diferente, la imagen térmica es aún prueba suficiente de que hay algo mal en la bomba sospechosa.

En este caso tenemos dos bombas trabajando juntas en las mismas condiciones de carga. Si este es el caso, debemos aprovecharlo.

Pero si no tenemos la suerte de tener objetos similares uno al lado del otro, necesitamos datos históricos.

Los datos históricos son los que llamamos datos de referencia. Deben ser adquiridos de forma sistemática y consistente, comenzando en el mismo momento en que se quiere aplicar la termografía dentro del programa de mantenimiento.

La situación ideal es disponer de un equipo que se acaba de instalar, ó que se acaba de reparar para empezar a recoger los datos de referencia.

En aplicaciones de seguimiento de equipos que ya han venido funcionando, la línea de referencia llega a ser una parte integral del propio proceso por tanto es importante empezar a recoger los datos cuanto antes.

CAPÍTULO V

5. RESULTADOS

5.1 Evaluación de Resultados

Para la evaluación del estado de un equipo mediante las imágenes termográficas realizadas en la tesis fue tomado en cuenta dos principios importantes de análisis distintos el **Cualitativo** y **Cuantitativo**.

5.2 Análisis Cualitativo

Mediante este análisis cualitativo se pudo en la imagen térmica revelar y localizar la existencia de posibles anomalías, y evaluarlas.

En todas las termografías se realizó análisis cualitativo. Siempre que se miraba se estaba analizando, aunque solo fuese durante una fracción de segundo. Si algo parecía normal, se miraba otra cosa. Si había algo sospechoso, se analizaba en mayor profundidad.

5.2.1 Características del Principio Cualitativo

- Se analizó PATRONES TERMICOS en la imagen.
- Se determinó SI hay una anomalía.
- Se miró DONDE está.
- Se basó SOLO en temperatura aparente.
- Generalmente se realizó primero.

5.3 Análisis Cuantitativo

Con la termografía cuantitativa se utilizó la medida de temperatura como criterio para determinar la gravedad de un problema, y así establecer su prioridad.

Cuando se localizaba una anomalía, se debía saber cuál es su gravedad. Normalmente no se tenía que tratar de reparar todos los problemas que se encontraba. Si hubiera sido ese el caso, con la termografía cualitativa se hubiera tenido suficiente, y la medida de temperatura no hubiera sido necesaria.

5.3.1 Características del Principio Cuantitativo

- Se utilizó para ayudar a CLASIFICAR la seriedad de una anomalía.
- Implicó la medida de Temperatura.
- Se realizó la compensación.
- No siempre era relevante.

5.4 Delta T

La medida del Delta T se utilizó para determinar cuánto se aleja la temperatura actual de un componente “anomalía” y alguna temperatura de referencia valor “normal”. A esto se llamó una medida cuantitativa, comparativa.

Se necesitó establecer una referencia de lo que se consideraba como “normal”, y se utilizó como explicamos en el capítulo anterior especificaciones del fabricante (datos de placa) y el software MAIN/TRACKER.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Las rutas implementadas mediante termografía se convertirá en una guía técnica práctica que permitirá monitorear los equipos rotativos, para llevar tendencias confiables en busca de fallas prematuras que indicarán de manera exacta la tendencia del deterioro que tienen los diferentes componentes y en base a ello realizar las correcciones que sean necesarias para restablecer las condiciones normales de operación.
- La termografía infrarroja es una técnica que permite, a distancia y sin ningún contacto, medir y visualizar temperaturas de superficie con precisión.
- Detecta problemas rápidamente sin interrumpir el funcionamiento del equipo, minimizando el mantenimiento preventivo y el tiempo en localizar problemas.
- Las técnicas de inspección infrarroja, han demostrado sus bondades, sin embargo, también se han encontrado serias limitaciones en su aplicación. Múltiples factores pueden afectar nuestros resultados positivos. Deberán considerarse los aspectos teóricos y prácticos del análisis infrarrojo.
- La termografía IR es una herramienta muy útil para detectar un sobrecalentamiento en el motor, y aunque podría precisar el área donde se

produce el calentamiento, sin embargo es todavía bastante limitada en su capacidad de indicar el porqué se produce éste.

- El análisis termográfico, puede utilizarse como un instrumento de análisis preventivo de equipo e instalaciones, las mismas que puedan presentar cierto riesgo mecánico, no verificable por los métodos convencionales.
- Los estudios de análisis termográficos son una parte del programa de mantenimiento predictivo, que puede mejorar tanto la confiabilidad de las instalaciones y equipos así como los tiempos de producción.
- La termografía infrarroja permite la confección de perfiles térmicos de objetos en estado de operación. Evaluando adecuadamente los datos obtenidos durante la inspección, se puede reconocer a tiempo defectos por causas térmicas antes que se produzca una falla., constituyendo un valioso método no destructivo de prevención de siniestros

6.2 Recomendaciones

- El análisis mediante termografía infrarroja debe complementarse con otras técnicas y sistemas de ensayo conocidos, como pueden ser el análisis de aceites, análisis de vibraciones, ultrasonido.
- Debe determinar la emisividad correcta del material que está midiendo.

- Se recomienda determinar la emisividad colocando sobre el objeto una cinta de un material cuya emisividad sea conocida (por ejemplo: cinta aisladora negra (0.95), para luego dejarlo un tiempo prudente a fin de que adquieran ambos (cinta y objeto) la misma temperatura. Posteriormente se mide con la cámara la temperatura sobre la cinta, ajustando la emisividad en 0.95; después se mide la temperatura sobre el objeto y se ajusta la emisividad hasta que marque la temperatura medida sobre la cinta.

- No se sitúe directamente enfrente de su objetivo, evite reflejarse usted mismo.

- Muévase alrededor, si el punto caliente también se mueve, se trata de un reflejo

- Si empieza a llover no es recomendable llevar a cabo la inspección termográfica, dado que el agua modificará drásticamente la temperatura de la superficie del objeto que esté midiendo.

- Al contrario de lo que muchos opinan, la temperatura de un dispositivo no siempre es el mejor método para localizar una avería. Debemos tener en cuenta muchos otros factores, entre los que se incluyen cambios en la temperatura ambiente y de las cargas mecánicas ó eléctricas, indicaciones visuales, gravedad del estado del equipo, histórico de reparaciones, averías en componentes similares y resultados de otras comprobaciones, etc.