

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

MAESTRÍA EN AUTOMATIZACIÓN Y SISTEMAS DE CONTROL SEGUNDA COHORTE

Tema: “Sistema de Control de Termografía 3D y su incidencia en el Mantenimiento Predictivo de los Equipos de la Dirección de Educación a Distancia y Virtual”

Trabajo de Investigación, previo a la obtención del Grado Académico de Magíster en
Automatización y Sistemas de Control

Autor: Ingeniero, Luis Danilo Flores Rivera

Director: Ingeniero, Eddie Egberto Galarza Zambrano, Magíster

Ambato – Ecuador

2019

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

El Tribunal receptor del Trabajo de Investigación presidido por la Ingeniera, Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Magíster, e integrado por los señores Ingeniero Carlos Diego Gordón Gallegos, Doctor, Ingeniero Franklin Wilfrido Salazar Logroño, Magíster, Ingeniero Patricio Germán Encalada Ruiz, Magíster, designados por la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Investigación con el tema: “Sistema de Control de Termografía 3D y su incidencia en el Mantenimiento Predictivo de los Equipos de la Dirección de Educación a Distancia y Virtual”, elaborado y presentado por el señor Ingeniero, Luis Danilo Flores Rivera, para optar por el Grado Académico de Magíster en Automatización y Sistemas de Control; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Investigación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.



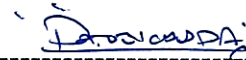
Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Mg.
Presidenta del Tribunal



Ing. Carlos Diego Gordón Gallegos, Dr.
Miembro del Tribunal



Ing. Franklin Wilfrido Salazar Logroño, Mg.
Miembro del Tribunal



Ing. Patricio Germán Encalada Ruiz, Mg.
Miembro del Tribunal

AUTORÍA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Investigación presentado con el tema: “Sistema de Control de Termografía 3D y su incidencia en el Mantenimiento Predictivo de los Equipos de la Dirección de Educación a Distancia y Virtual”, le corresponde exclusivamente a: Ingeniero, Luis Danilo Flores Rivera, Autor bajo la Dirección de Ingeniero, Eddie Egberto Galarza Zambrano, Magíster, Director del Trabajo de Investigación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.



Ingeniero, Luis Danilo Flores Rivera
C.C. 1802766897
AUTOR



Ingeniero, Eddie Egberto Galarza Zambrano, Magíster
C.C. 1303128514
DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Investigación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.



Ingeniero, Luis Danilo Flores Rivera
C.C. 1802766897

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

Portada	i
A la Unidad Académica de Titulación	ii
AUTORÍA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE GRÁFICOS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
AGRADECIMIENTO	xv
DEDICATORIA	xvi
RESUMEN EJECUTIVO	xvii
EXECUTIVE SUMMARY	xix
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.1. Tema de Investigación	3
1.2. Planteamiento del problema	3
1.2.1. Contextualización	3
1.2.2. Análisis crítico	5
1.2.3. Prognosis	6
1.2.4. Formulación del problema	6
1.2.5. Preguntas directrices	6
1.2.6. Delimitación del problema	7
1.2.6.1. Contenido	7
1.2.6.2. Espacial	7
1.2.6.3. Temporal	7

1.3.	Justificación	7
1.4.	Objetivos	9
1.4.1.	General	9
CAPÍTULO II		10
MARCO TEÓRICO		10
2.1.	Antecedentes investigativos	10
2.2.	Fundamentación filosófica	14
2.3.	Fundamentación legal	14
2.4.	Categorías fundamentales	16
2.4.1.	Ingeniería de control	17
2.4.1.1.	Diseño de sistemas de control	18
2.4.2.	Sistemas de control	20
2.4.2.1.	Lazo abierto	21
2.4.2.2.	Lazo cerrado	22
2.4.3.	Termografía industrial	23
2.4.3.1.	Detección sistemas eléctricos	25
2.4.4.	Termografía 3D	27
2.4.5.	Sistemas Productivos	29
2.4.5.1.	Manufactura	31
2.4.6.1.	Planeación	32
2.4.6.2.	Ejecución	33
2.4.6.3.	Control	33
2.4.7.	Mantenimiento industrial	34
2.4.7.1.	Mantenimiento correctivo	35
2.4.7.2.	Mantenimiento preventivo	36
2.4.8.	Mantenimiento predictivo	38
2.5.	Hipótesis	39

2.6. Señalamiento de variables de la hipótesis	39
2.6.1. Variable independiente	39
2.6.2. Variable dependiente	39
2.6.3. Término de relación	39
CAPÍTULO III	40
METODOLOGÍA.....	40
3.1. Enfoque	40
3.2. Modalidad básica de investigación	40
3.2.1. Aplicada.....	40
3.2.2. De campo.....	41
3.2.3. Bibliográfico.....	41
3.2.4. Inductivo	41
3.3. Nivel o tipo de investigación.....	41
3.3.1. Experimental.....	41
3.4. Población y muestra.....	41
3.5. Operacionalización de variables	43
3.6. Recolección de información	45
3.6.1. Plan para la recolección de la información	45
3.6.2. Plan de procesamiento de información	46
CAPÍTULO IV.....	47
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	47
4.1. Análisis del aspecto cuantitativo e interpretación de resultados	47
4.2. Verificación de hipótesis.....	58
CAPÍTULO V	65
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
5.1. Conclusiones	65
5.2. Recomendaciones	66

CAPÍTULO VI	68
PROPUESTA	68
6.1. Datos informativos	68
6.2. Antecedentes de la propuesta	68
6.3. Justificación	69
6.4. Objetivos	70
6.5. Análisis de factibilidad	70
6.6. Fundamentación científico-técnica	71
6.7. Modelo operativo	151
6.8. Administración de la propuesta	155
6.9. Plan de monitoreo y evaluación de la propuesta	160
BIBLIOGRAFÍA	163
ANEXOS	174
Anexo 1: Encuesta dirigida al personal que integra la DEaDV.....	174
Anexo 2: Estándar ASTM E 1934-99a.....	177
Anexo 3: Elementos del procedimiento para inspección por termografía infrarroja según estándar ASTM E-1934-99.....	180
Anexo 4: Estándar ASTM E 1933 – 99a.....	182
Anexo 5: Cámara micro-termal de alta resolución FLIR LEPTON 3 & 3.5	185
Anexo 6: Tarjeta inteligente <i>PureThermal 2</i> con entradas y salidas para el control de la cámara micro-termal de alta resolución FLIR LEPTON 3 & 3.5	187
Anexo 7: Sensor Kinect para Xbox 360.....	193
Anexo 8: Algoritmos del sistema de control de termografía 3D	194

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1. Árbol de Problemas.	5
Gráfico 2.1. Red de inducciones conceptuales.	16
Gráfico 2.2. Constelación de ideas variable independiente.	17
Gráfico 2.3. Constelación de ideas variable dependiente.	17
Gráfico 2.4. Diagrama de bloques de un sistema de control industrial (un controlador automático, un actuador, una planta y un sensor [elemento de medición]).....	18
Gráfico 2.5. Esquema general de un sistema de control.	21
Gráfico 2.6. Bloque de un proceso de control en lazo abierto.	21
Gráfico 2.7. Bloque de un proceso de control en lazo abierto.....	21
Gráfico 2.8. Bloque proceso de control lazo abierto con transductor-actuador.	22
Gráfico 2.9. Sistema de control lazo cerrado en bloques.	23
Gráfico 2.10. Termografía tecnología de medición de última generación de producción de imágenes.	23
Gráfico 2.11. Espectro electromagnético.....	24
Gráfico 2.12. Longitud de onda.	24
Gráfico 2.13. Cámara termográfica.	25
Gráfico 2.14. Reporte predictivo con información radiométrica del espacio analizado.25	
Gráfico 2.15. Ejemplo de detección fallo sistema eléctrico.	26
Gráfico 2.16. Aplicación común de la termografía en la localización de niveles de material en depósitos.	27
Gráfico 2.17. Proceso de digitalización y reconstrucción de imágenes 3D + Térmicas.....	28
Gráfico 2.18. Mantenimiento correctivo.	36
Gráfico 2.19. Mantenimiento preventivo.....	38
Gráfico 2.20. Mantenimiento predictivo.	39
Gráfico 4.1. Género.	47
Gráfico 4.2. Nivel de educación.	48
Gráfico 4.3. Edades.....	48
Gráfico 4.4. Cargo desempeñado.....	49
Gráfico 4.5. Conocimiento del mantenimiento de equipos.	50
Gráfico 4.6. Tipos de mantenimiento.	50
Gráfico 4.7. Frecuencia del mantenimiento.....	51
Gráfico 4.8. Horarios de mantenimiento.	52

Gráfico 4.9. Tiempo en actividades de mantenimiento.....	52
Gráfico 4.10. Medios o Herramientas utilizadas para el mantenimiento.	53
Gráfico 4.11. La gestión de mantenimiento extiende la vida útil de equipos.....	54
Gráfico 4.12. Necesidad de un sistema de control para predecir mantenimiento de los equipos.....	54
Gráfico 4.13. Conocimiento de la termografía.	55
Gráfico 4.14. La alta temperatura afecta la funcionalidad de dispositivos, equipos y sistemas electrónicos.	56
Gráfico 4.15. Sistema de termografía asista al mantenimiento de los equipos electrónicos.....	56
Gráfico 4.16. La termografía 3D favorece las labores de mantenimiento de los equipos electrónicos.....	57
Gráfico 4.17. Prueba de χ^2	61
Gráfico 6.1. Estructura organizacional DEaDV.	71
Gráfico 6.2. Análisis de termografía IR.....	72
Gráfico 6.3. Espectro electromagnético clasificado por longitud de onda.	73
Gráfico 6.4. Transferencia de energía.....	75
Gráfico 6.5. Comparación de escalas de temperatura Celsius y Kelvin.	75
Gráfico 6.6. Transferencia de calor.	76
Gráfico 6.7. Radiación incidente.	80
Gráfico 6.8. Radiación incidente y saliente.	81
Gráfico 6.9. Radiación específica espectral $M\lambda_s$ del cuerpo negro en función de la longitud de onda.	84
Gráfico 6.10. Termografía radiométrica.	87
Gráfico 6.11. Método termográfico cualitativo y cuantitativo.	87
Gráfico 6.12. Elementos técnicos de la resolución.....	88
Gráfico 6.13. Matriz de plano focal.....	89
Gráfico 6.14. Sensor IR.	89
Gráfico 6.15. Diagrama simplificado en bloques de una cámara IR.	90
Gráfico 6.16. Campo de visión (FOV).	90
Gráfico 6.17. Campo de visión (FOV) con distintos tipos de lentes.....	91
Gráfico 6.18. Campo de visión instantáneo (IFOV).....	92
Gráfico 6.19. Campo de visión instantáneo (IFOV) resolución espacial y de medida. .	92
Gráfico 6.20. Cámara de termografía en apreciación visual	92

Gráfico 6.21. Esquema de las técnicas TIR activa y TIR pasiva.....	95
Gráfico 6.22. Técnica óptica de termografía pulsada.	96
Gráfico 6.23. Técnica óptica de termografía fija (<i>lock-in</i>) por modulación.	97
Gráfico 6.24. Técnica óptica de termografía de fase pulsada.	98
Gráfico 6.25. Técnica mecánica de vibro-termografía por ráfaga o modulada.	98
Gráfico 6.26. Cámara Kinect XBOX 360 componentes esenciales y accesorios.....	102
Gráfico 6.27. Estructura interna del sensor Kinect.	102
Gráfico 6.28. Rango visible de la cámara Kinect.	103
Gráfico 6.29. Emisor IR y al el sensor de profundidad IR Kinect.....	104
Gráfico 6.30. Procesamiento de datos en profundidad.	105
Gráfico 6.31. Procesamiento de datos en profundidad.	106
Gráfico 6.32. Conjunto de micrófonos Kinect.....	106
Gráfico 6.33. Componentes instalados por el SDK y kit de herramientas de desarrollo. .	108
Gráfico 6.34. Kinect detectado en el sistema Windows del computador.	108
Gráfico 6.35. Capas generales para el SDK de Kinect.	109
Gráfico 6.36. Clasificación y trabajo de la API con el SDK de Kinect.....	109
Gráfico 6.37. Figuras del Interface PureThermal 2.	112
Gráfico 6.38. Cámara Lepton de FLIR 3.5.	112
Gráfico 6.39. Representación Modelo <i>Pinhole</i>	114
Gráfico 6.40. Aplicativo para la calibración de la cámara.	115
Gráfico 6.41. Parámetros intrínsecos, resultado de la calibración de la cámara	116
Gráfico 6.42. Proceso de superposición de la imagen RGB y térmica.	116
Gráfico 6.43. Escalado de píxeles por resolución y dimensiones.....	117
Gráfico 6.44. Representación de una nube de puntos.....	118
Gráfico 6.45. Matriz R T combinada.	119
Gráfico 6.46. Multiplicación matricial utilizada para una transformación rígida. Los elementos resaltados a la derecha se utilizan para calcular la coordenada "y" del punto transformado.....	120
Gráfico 6.47. Diagrama de clase para la captura de imágenes del sistema de termografía 3D....	121
Gráfico 6.48. Carta de responsabilidad de la clase LPT.	123
Gráfico 6.49. Carta de responsabilidad de la clase LogKinectDataApp.	123
Gráfico 6.50. Carta de responsabilidad de la clase GUI_Cap.	123
Gráfico 6.51. Paletas de colores del módulo de la cámara FLIR Lepton.	124
Gráfico 6.52. Imágenes térmicas con las distintas paletas de color.....	125

Gráfico 6.53. Ventana del programa capturar.	126
Gráfico 6.54. Diagrama de clase programa Kinect.....	127
Gráfico 6.55. Carta de responsabilidad de la clase GUI_3D.	128
Gráfico 6.56. Reporte del análisis termográfico.....	131
Gráfico 6.57. Integración del hardware y software sistema de control de termografía 3D.	134
Gráfico 6.58. Instalación del sistema control termográfico 3D.....	139
Gráfico 6.59. Configuración del sistema control termográfico 3D.	139
Gráfico 6.60. Comparación de la cámara termográfica HT-175 versus el sistema control termográfico 3D.....	140
Gráfico 6.61. Reporte de termografía 2D y 3D al computador de escritorio con acceso remoto al sitio Web DEaDV.....	141
Gráfico 6.62. Registro de temperaturas del computador con acceso remoto en horario de 08:00 h a 09:00 h.	142
Gráfico 6.63. Registro de temperaturas del computador con acceso remoto en horario de 12:00 h a 13:00 h.	143
Gráfico 6.64. Registro de temperaturas del computador con acceso remoto en horario de 18:00 h a 19:00 h.	144
Gráfico 6.65. Inspecciones a los servidores de la DEaDV.	145
Gráfico 6.66. Inspecciones al UPS de la DEaDV.....	146
Gráfico 6.67. Inspección termográfica 2D y 3D del servidor DEaDV.....	146
Gráfico 6.68. Inspección termográfica 2D y 3D de los interruptores DEaDV.....	147
Gráfico 6.69. Inspección termográfica 2D y 3D de la parte posterior del servidor DEaDV.	147
Gráfico 6.70. Inspección termográfica 2D y 3D de los enrutadores DEaDV.....	148
Gráfico 6.71. Informe del análisis termográfico 3D del computador de acceso remoto al sitio Web de la DEaDV.....	149
Gráfico 6.72. Informe del análisis termográfico 3D del servidor de la DEaDV.	150
Gráfico 6.73. Proceso de inspección de termografía	154
Gráfico 6.74. Cronograma de actividades de mantenimiento.....	155
Gráfico 6.75. Modelo de informe 1.	157
Gráfico 6.76. Modelo de informe 2.	158
Gráfico 6.77. Modelo de informe 3 con análisis termográfico 3D.	159
Gráfico 6.78. Monitoreo e integración de un sistema de control de termografía.	161

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Recursos Institucionales.	42
Tabla 3.2. Operacionalización de la variable independiente.	43
Tabla 3.3. Operacionalización de la variable dependiente.	44
Tabla 3.4. Recolección de información.	45
Tabla 4.1. Género.	47
Tabla 4.2. Nivel de educación.	48
Tabla 4.3. Edades.....	48
Tabla 4.4. Cargo desempeñado.....	49
Tabla 4.5. Conocimiento del mantenimiento de equipos.	50
Tabla 4.6. Tipos de mantenimiento.	50
Tabla 4.7. Frecuencia del mantenimiento.....	51
Tabla 4.8. Horarios de mantenimiento.	52
Tabla 4.9. Tiempo en actividades de mantenimiento.	52
Tabla 4.10. Medios o Herramientas utilizadas para el mantenimiento.....	53
Tabla 4.11. La gestión de mantenimiento extiende la vida útil de equipos.....	54
Tabla 4.12. Necesidad de un sistema de control para predecir mantenimiento de los equipos.	54
Tabla 4.13. Conocimiento de la termografía.	55
Tabla 4.14. La alta temperatura afecta la funcionalidad de dispositivos, equipos y sistemas electrónicos.	56
Tabla 4.15. Sistema de termografía asista al mantenimiento de los equipos electrónicos. .	56
Tabla 4.16. La termografía 3D favorece las labores de mantenimiento de los equipos electrónicos.....	57
Tabla 4.17. Frecuencia observada.	59
Tabla 4.18. Frecuencia esperada.....	59
Tabla 4.19. Frecuencia observada (o), frecuencia esperada (e) y prueba χ^2	61
Tabla 6.1. Tipos de radiación.	80
Tabla 6.2. Valores de emisividad de materiales comunes.....	82
Tabla 6.3. Bandas espectrales de IR y los materiales típicos del sensor correspondiente..	89
Tabla 6.4. Técnicas comunes de termografía activa.....	99
Tabla 6.5. Comparación de lenguajes y bibliotecas de programación.	100
Tabla 6.6. Características de la cámara Kinect V1 de Microsoft.	107

Tabla 6.7. Especificaciones del módulo de micro-cámara térmico LWIR de Lepton 3.5 de Flir.....	113
Tabla 6.8. Especificaciones y comparación de las cámaras termográficas.	135
Tabla 6.9. Consideraciones para las pruebas de medición.	138
Tabla 6.10. Temperaturas medidas en el computador con acceso remoto en horario de 08:00 h a 09:00 h.	141
Tabla 6.11. Temperaturas medidas en el computador con acceso remoto en horario de 12:00 h a 13:00 h.	142
Tabla 6.12. Temperaturas medidas en el computador con acceso remoto en horario de 18:00 h a 19:00 h.	143
Tabla 6.13. Control termográfico: acciones sugeridas basadas en el aumento de la temperatura.	145
Tabla 6.14. Niveles de certificación para inspección termográfica.....	161
Tabla 6.15. Plan de evaluación.....	162

AGRADECIMIENTO

Mi reconocimiento a la Universidad Técnica de Ambato, por la orientación y el apoyo para la culminación del trabajo investigativo.

Al Ingeniero Eddie Egberto Galarza Zambrano, Magíster, quien con sus conocimientos orientó el desarrollo y culminación del presente trabajo investigativo.

A la Dirección de Educación a Distancia y Virtual, que brindaron facilidades para la recopilación y estructuración de forma desinteresada en el presente trabajo investigativo.

El autor.

DEDICATORIA

A mi Dios, por ser mi fortaleza y guía en constantes desafíos.

A mi Mami (†) un ejemplo de constancia y sacrificio Blanca Rivera, que desde el cielo con sus bendiciones me acompaña en la vida.

A mi Amor Silvana que es mi mar y mi sol.

A mi Papi, mis hermanos y sobrina que complementan mi vida.

Luis Danilo Flores Rivera

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL**

DIRECCIÓN DE POSGRADO

**MAESTRÍA EN AUTOMATIZACIÓN Y SISTEMAS DE CONTROL SEGUNDA
COHORTE**

TEMA:

**“SISTEMA DE CONTROL DE TERMOGRAFÍA 3D Y SU INCIDENCIA EN EL
MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE LOS EQUIPOS DE LA DIRECCIÓN DE
EDUCACIÓN A DISTANCIA Y VIRTUAL”**

AUTOR: Ingeniero, Luis Danilo Flores Rivera

DIRECTOR: Ingeniero, Eddie Egberto Galarza Zambrano, Magíster

FECHA: 14 de Enero de 2019

RESUMEN EJECUTIVO

El trabajo investigativo “Sistema de Control de Termografía 3D y su incidencia en el Mantenimiento Predictivo de los Equipos de la Dirección de Educación a Distancia y Virtual” tiene como objetivo final diseñar un sistema de control confiable que permita un eficiente y efectivo mantenimiento predictivo de los equipos computacionales de la DEaDV.

La necesidad y problemática surge de la complejidad del mantenimiento de equipos electrónicos que inciden en etapas vinculadas a bases de datos, transmisión - recepción de datos y control automático afectando a las actividades y procesos que realiza la DEaDV.

Una solución fiable y viable a la gestión de mantenimiento predictivo es por medio de un sistema de control de termografía 3D que inspeccione las actividades y procesos. Su aplicación e implementación por medio de una cámara térmica interconectada al sistema de

control, facilitan la detección y el pronóstico de posibles averías de los equipos electrónicos que almacenan y controlan la información. Otra particularidad del sistema es proporcionar una gestión planificada del mantenimiento, determinada en la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de equipos.

Se eligió el presente trabajo investigativo porque en la actualidad la DEaDV, no cuenta con un sistema de control predictivo para sus equipos electrónicos. El desarrollo del sistema y su aplicabilidad permitirá optimizar y beneficiar los procesos administrativos, continuidad en las actividades de las distintas modalidades de estudio que maneja la Dirección; así como el no incurrir en paradas inesperadas que pueden generarse por no tener un control automatizado que posibilite la gestión de mantenimiento predictivo.

La investigación permite proyectar e innovar nuevas alternativas en la gestión asistida de sistemas de control predictivo apoyado de la termografía 3D, asimismo ser una plataforma que viabilice opciones e iniciativas para desarrollos y estudios de imágenes térmicas, termografía infrarroja y 3D, en cualquier campo de las ciencias y / o procesos industriales, contribuyendo a la sociedad y a la comunidad universitaria.

Descriptores: Automatización, cámara térmica infrarroja, control, confiabilidad, disponibilidad, gestión del mantenimiento, información, mantenibilidad, mantenimiento, procesos, procesos industriales, mantenimiento predictivo, sistemas de control, termografía.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL**

DIRECCIÓN DE POSGRADO

**MAESTRÍA EN AUTOMATIZACIÓN Y SISTEMAS DE CONTROL SEGUNDA
COHORTE**

THEME:

**“3D THERMOGRAPHY CONTROL SYSTEM AND ITS INCIDENCE IN THE
PREDICTIVE MAINTENANCE OF THE EQUIPMENT OF THE DIRECTION
OF DISTANCE AND VIRTUAL EDUCATION”**

AUTHOR: Engineer, Luis Danilo Flores Rivera

DIRECTED BY: Engineer, Eddie Egberto Galarza Zambrano, Master

DATE: January 14, 2019

EXECUTIVE SUMMARY

The research work "3D Thermography Control System and its incidence in the Predictive Maintenance of the Equipment of the Direction of Distance and Virtual Education" has as final objective to design a reliable control system that allows an efficient and effective predictive maintenance of the DEaDV computational equipment.

The need and problems arise from the complexity of the maintenance of electronic equipment that incise in the stages linked to databases, transmission - reception of data and automatic control affecting the activities and processes carried out by DEaDV

A reliable and viable solution to predictive maintenance management is by means of a 3D thermography control system that inspects activities and processes. Its application and implementation by means of a thermal camera interconnected to the control system, facilitate the detection and the prognosis of possible failures of the electronic equipment

that stores and controls the information. Another particularity of the system is to provide a planned maintenance management, determined in the reliability, maintainability and availability of equipment.

The research work was chosen because DEaDV currently does not have a predictive control system for its electronic equipment. The development of the system and its applicability will allow to optimize and benefit the administrative processes, continuity in the activities of the different modalities of study that the Direction handles; as well as not incur unexpected stops that can be generated by not having an automated control that enables the management of predictive maintenance.

The research allows us to project and innovate new alternatives in the assisted management of predictive control systems supported by 3D thermography, as well as being a platform that enables options and initiatives for developments and studies of thermal imaging, infrared and 3D thermography, in any field of research sciences and / or industrial processes, contributing to society and the university community.

Keywords: Automation, availability, control, control systems, industrial processes, information, infrared thermal camera, maintainability, maintenance, maintenance management, predictive maintenance, processes, reliability, thermography.

INTRODUCCIÓN

La gestión del mantenimiento es un componente esencial en el ámbito productivo, que hoy en día se combina con los sistemas de control para realizar tareas más eficientes y efectivas. Tal es el caso, que la industria considera desarrollos y aplicaciones para optimizar y generar continuidad en sus procesos, así como reducir los tiempos no operativos que perjudiquen la productividad.

El sistema de control de termografía 3D, será una herramienta que facilite las actividades de mantenimiento de los equipos de la Dirección de Educación a Distancia y Virtual, de este modo se podrá predecir posibles averías que puedan originarse en el proceso informático que maneja la Dirección.

Cabe indicar, que en el trabajo investigativo se integrarán a los procedimientos que ejecutará la Dirección de Educación a Distancia y Virtual, aportando a la gestión administrativa y beneficiando a la continuidad de los procesos académicos.

El trabajo de investigación se compone de los siguientes capítulos:

Capítulo I, que corresponde al problema de investigación y está formado por: el tema de investigación; planteamiento del problema que comprende la contextualización, el análisis crítico, prognosis, formulación del problema, preguntas directrices, delimitación del problema considerada en el contenido, espacial y temporal; la justificación; objetivo general y objetivos específicos.

Capítulo II, que corresponde al marco teórico y está formado por: antecedentes investigativos; fundamentación filosófica, legal; categorías fundamentales; hipótesis; señalamiento de variables de la hipótesis independiente y dependiente.

Capítulo III, se describe la metodología y está formada por: el enfoque; modalidades de investigación (aplicada, de campo, bibliográfica e inductiva);

nivel de investigación experimental; población y muestra; operacionalización de variables independiente y dependiente; plan de recolección de información y procesamiento de información.

Capítulo IV, en el que se realiza el análisis e interpretación de resultados está formado por: el análisis del aspecto cuantitativo; interpretación de resultados; verificación de hipótesis.

Capítulo V, que corresponde a conclusiones y recomendaciones del trabajo de investigación.

Capítulo VI, se desarrolla la propuesta, que está constituida por: datos informativos; antecedentes de la propuesta; justificación; objetivos; análisis de factibilidad; fundamentación científico-técnica; modelo operativo; administración de la propuesta; plan de monitoreo y evaluación de la propuesta. Finalmente materiales de referencia: bibliografía y anexos.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Tema de Investigación

“Sistema de Control de Termografía 3D y su incidencia en el Mantenimiento Predictivo de los Equipos de la Dirección de Educación a Distancia y Virtual”

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Contextualización

En el mundo de hoy en día, la creciente revolución industrial ha ocasionado complejidad en la mantenibilidad de los procesos industriales. Esto plantea la necesidad de gestionar un mantenimiento implementando sistemas de control que permitan monitorear su funcionamiento y tomar acciones racionales e inteligentes que pueden ser correctivas, preventivas y/o predictivas entre las más destacadas. Lo dicho apalanca, en la importancia del mantenimiento industrial y la optimización de recursos (Ballesteros Robles, 2017). Se debe tener presente la definición de *mantenimiento* que “son acciones necesarias para que un ítem sea conservado o restaurado de manera que pueda permanecer de acuerdo con una condición especificada” (Mantenimiento Mundial, 2011). Cabe indicar que las empresas, industrias y organizaciones solo se centran en la facilidad que ofrecen los sistemas automatizados en sus procesos, pero no en la confiabilidad para dar continuidad al proceso productivo; considerándose elementos de interés general y en particular del sector industrial.

El estado ecuatoriano con el Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021, dentro de sus objetivos nacionales de desarrollo referente a la economía al servicio de la sociedad se plantea: “Impulsar la productividad y competitividad para el

crecimiento económico sostenible de manera redistributiva y solidaria”. Lo señalado muestra el valor de la productividad que se relaciona con la innovación tecnológica y la gestión empresarial. Este lineamiento se respalda de la política “Promover la investigación, la formación, la capacitación, el desarrollo y la transferencia tecnológica, la innovación y el emprendimiento, la protección de la propiedad intelectual, para impulsar el cambio de la matriz productiva mediante la vinculación entre el sector público, productivo y las universidades”. (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo - Senplades 2017, 2017). La perspectiva descrita profundiza la acción que deben emprender empresas, industrias y organizaciones del país, para ser eficientes y eficaces en sus procesos productivos. La universidad eje de este giro con Investigación Desarrollo e Innovación (I + D + I), debe liderar proyectos que optimizan la productividad. Es así que se plantean investigaciones que implican sistemas de control que benefician a la gestión del mantenimiento y por ende a la productividad; además se guarda un respeto a las normas ambientales, originando reconocimiento a esta labor.

En la provincia de Tungurahua y la región centro, empresas e industrias están acogiendo de forma limitada los cambios tecnológicos inmersos en los procesos productivos. Esto se debe al alto costo que involucra una inversión tecnológica. La Universidad Técnica de Ambato (UTA), por medio de sus proyectos de grado ha gestionado investigaciones que integran y trabajan con el sector productivo (Revista Líderes, 2014); siendo la pauta para que empresarios inviertan en tendencias tecnológicas actuales y beneficiosas para sus procesos. Al mismo tiempo dispongan de sistemas de control automatizados que beneficien la gestión del mantenimiento en sus plantas industriales.

La creación de un sistema de control de termografía 3D, permitirá un mantenimiento predictivo, obteniendo una continuidad en los procesos y la confiabilidad de los equipos que manejan la información de la dirección de educación a distancia y virtual. Así mismo el personal técnico podrá revisar periódicamente la temperatura de funcionamiento de equipos considerados críticos, generar un historial de funcionamiento, apoyarse de esto para identificar

irregularidades en función del tiempo y actuar rápidamente para evitar paradas innecesarias del sistema.

1.2.2. Análisis crítico

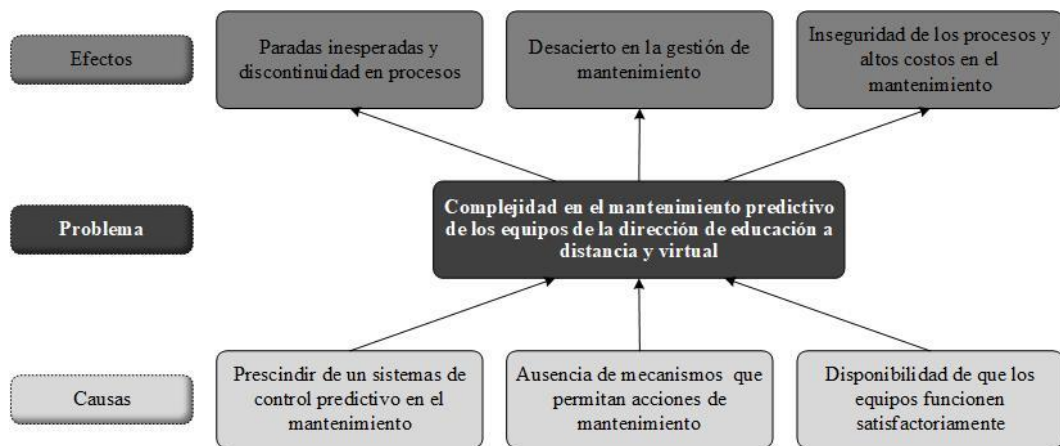


Gráfico 1.1. Árbol de Problemas.

El desarrollo tecnológico en la era de la industria 4.0, pone evidencia la complejidad de las acciones de mantenibilidad en los sectores productivos industriales del país; sobre todo a los procesos que involucran equipos electrónicos de potencia que tienen incidencia en etapas finales de control automático. El prescindir de sistemas de control predictivo en el mantenimiento compromete a paradas inesperadas, así como discontinuidad de sus procesos productivos, siendo negativo para las actividades que se realiza la dirección de educación a distancia y virtual.

Otro aspecto, es la ausencia de mecanismos que permitan acciones de mantenimiento, lo que deriva en desaciertos en la gestión de mantenimiento por no contar con equipos y expertos en el área que produzcan una gestión eficiente, eficaz y efectiva del mantenimiento desarrollado por la dirección de educación a distancia y virtual.

Este tipo de cuestionamientos pone en discusión la disponibilidad de que los equipos funcionen satisfactoriamente, originando una inseguridad de los procesos, conjuntamente altos costos en el mantenimiento de equipos de la dirección de educación a distancia y virtual. Por ello es valioso tomar acciones, que permitan proyectar e innovar una mejor gestión asistida de sistemas de control predictivo apoyada de la termografía 3D.

1.2.3. Prognosis

La complejidad en el mantenimiento predictivo de los equipos de la dirección de educación a distancia y virtual, por prescindir de sistemas de control de termografía generará paradas inesperadas y discontinuidad en procesos que necesitan continuidad de actividades. Si a esto se suma la ausencia de mecanismos que permitan acciones de mantenimiento generará desacierto en la gestión de mantenimiento. Una característica primordial en el mantenimiento es la disponibilidad, si los equipos no funcionen satisfactoriamente se producirá inseguridad de los procesos consecuentemente altos costos en el mantenimiento, siendo negativo para los intereses que persigue la dirección.

1.2.4. Formulación del problema

¿De qué manera incide un sistema de control de termografía 3D para el mantenimiento predictivo de los equipos de la dirección de educación a distancia y virtual?

1.2.5. Preguntas directrices

¿Qué factores son los que limitan un adecuado mantenimiento predictivo de los equipos de la dirección de educación a distancia y virtual?

¿Cómo se podría realizar un adecuado mantenimiento predictivo de los equipos de la dirección de educación a distancia y virtual?

¿Cuál es el aporte de los sistemas de control en el mantenimiento predictivo de los equipos de la dirección de educación a distancia y virtual?

1.2.6. Delimitación del problema

1.2.6.1. Contenido

Campo: Mantenimiento predictivo.

Área: Automatización y Sistemas de Control.

Aspecto: Sistema de control de termografía 3D.

1.2.6.2. Espacial

La investigación tendrá como escenario la Dirección de Educación a Distancia y Virtual de la Universidad Técnica de Ambato.

1.2.6.3. Temporal

El proyecto investigación se realizará previo a la aprobación del perfil en un lapso aproximado de seis meses.

1.3. Justificación

El mantenimiento predictivo son un conjunto de técnicas instrumentadas de medida y análisis de variables para caracterizar en términos de fallos potenciales la condición operativa de los equipos productivos. Su misión principal es optimizar la fiabilidad y disponibilidad de equipos al mínimo costo. (Preditec GRUPO ÁLAVA, 2018)

La aplicación de sistemas de control, es *importante* en la gestión de mantenimiento predictivo, puesto que permite conseguir la eficiencia de los equipos y por tanto del proceso productivo (Zonapredictiva, 2015). Es así que una implementación de un sistema de control predictivo de termografía permitirá detectar irregularidades en procesos donde existen altos índices de calor y puedan causar perturbaciones a sistemas electrónicos que manejan grandes cantidades de información.

Adicionalmente el seguimiento y monitoreo continuo de los parámetros de operación se adelanta al estado de cada equipo previniendo posibles averías o fallos en los procesos productivos. La gestión se ve asistida y es eficiente para no tener inesperadas detenciones, con lo que logra la reducción de costos, prevención de averías mayores y suspensión de la operación (Transmidiesel S.A.S., 2016). Este tipo de implementación permite desarrollar mejores prácticas, por tanto mayores beneficios para las organizaciones que implica el empleo de este recurso tecnológico.

Como se explica, el valor agregado es determinante, puesto que incide en disminución de gastos, así como optimización de los tiempos de producción, visiblemente porque un sistema predictivo conserva equipos, instrumentos, maquinaria e instalaciones.

Los beneficiarios de esta gestión son organizaciones, empresas e industrias que utilizarán adecuadamente este recurso tecnológico; a la par de este desarrollo estudiantes e investigadores podrán tener una base que permita desarrollar nuevos sistemas con los avances tecnológicos del momento.

El impacto será en corto plazo, puesto que el software para el sistema de control, debe mostrar resultados que se visualizan inmediatamente.

1.4. Objetivos

1.4.1. General

Implementar un sistema de control de termografía 3D que incida en el mantenimiento predictivo de los equipos de la dirección de educación a distancia y virtual.

1.4.2. Específicos

Identificar los factores que limitan el correcto mantenimiento predictivo de los equipos de la dirección de educación a distancia y virtual.

Determinar lineamientos del mantenimiento predictivo, apoyado de manuales técnicos, buenas prácticas y experiencias de expertos que permitan la optimización en los equipos de la dirección de educación a distancia y virtual.

Diseñar un sistema de control confiable que permita un eficiente y efectivo mantenimiento predictivo en equipos de la dirección de educación a distancia y virtual.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes investigativos

La presente investigación guarda relación con varias temáticas investigadas en el país, siendo fuente principal la Red de Repositorios de Acceso Abierto del Ecuador (RRAAE). Además se consideran investigaciones internacionales de repositorios de publicaciones científicas que se articulan al proyecto con diferentes estudios y aplicaciones. Esto es un punto de partida para establecer la base del conocimiento de la nueva investigación que se realizará. A continuación los proyectos de investigación que se han considerado de acuerdo al criterio técnico.

El proyecto investigativo realizado por Arias Hermida, Galo Edwin y Carrasco Torres, Paúl Alejandro año (2016), Escuela Politécnica Nacional (EPN) con el tema: *Simulación de una inspección termográfica de una configuración específica de materiales de construcción*, presenta a la termografía como un ensayo no destructivo que tiene gran oportunidad de desarrollarse y con varias ventajas en la inspección, generando un conjunto de imágenes que servirán como referencia para los posibles defectos que se puedan encontrar dentro de una configuración de materiales, este proceso puede ser analizado en base a la simulación con software de elementos finitos, luego se pueden comparar las imágenes térmicas con las imágenes simuladas detectándose los defectos. Lo dicho debe acompañarse de un procedimiento general para la inspección y visualizar de manera sencilla los fallos (Arias Hermida & Carrasco Torres, 2016). El trabajo muestra a la simulación como una herramienta que puede generar imágenes que luego pueden compararse con imágenes obtenidas a través de la cámara de

termografía; esto permite una interpretación y un diagnóstico más acertado del objeto analizado.

El proyecto investigativo realizado por Guamán Tisalema, Diana Paola año (2015), Universidad Técnica de Ambato (UTA) con el tema: *Análisis, evaluación y caracterización de imágenes termográficas utilizando redes neuronales artificiales y técnicas de extracción de características de textura de haralick*, presenta a la termografía como una herramienta alternativa para la detección precoz del cáncer de mama, siendo un método de una gran acogida en el ámbito de la medicina, debido a que permite calcular la temperatura a distancia, con exactitud y sin contacto físico directo, la obtención de los datos se realiza mediante una cámara Térmica FLIR, conjuntamente se efectúa una segmentación mediante la técnica de *watershed*, la obtención texturas *Haralick* y finalmente se clasifican las imágenes mediante redes neuronales artificiales con su respectiva evaluación (Guamán Tisalema, 2015). El trabajo muestra la técnica de imagen funcional no invasiva que se utiliza junto a la mamografía, este método detecta y representa la variación de la temperatura de la superficie de la piel en forma de imágenes de color mapeados que se los llama termogramas; este procedimiento permite detectar tumores tempranamente. La investigación se apoya con el análisis de los termogramas.

El proyecto investigativo realizado por Caiza López, Néstor Adán año (2016), Universidad Técnica de Ambato (UTA) con el tema: *Termografía industrial en motores eléctricos de la planta SOGUAR S.A. para determinar parámetros de mantenimiento predictivo*, presenta un plan de mantenimiento predictivo mediante la termografía industrial, siendo un instrumento de medición que permite el diagnóstico y que evita averías que ocasionen pérdidas en la producción (Caiza López, 2016). El trabajo permite analizar imágenes termográficas que permiten la elaboración de historiales y la planificación de actividades de mantenimiento, optimizando el rendimiento y eficiencia de los motores.

El proyecto investigativo realizado por Aldana Rodríguez, Didier año (2017), Maestría Universidad Nacional de Colombia con el tema: *Aplicación de la termografía infrarroja como método de inspección no destructivo para el mantenimiento predictivo del proceso de extrusión de tubería en PVC*, presenta una inspección por Termografía Infrarroja (IRT) bajo el Estándar ASTM E 1934-99a, de una extrusora de tubería en PVC (Aldana Rodríguez, 2017). El trabajo permite obtener termogramas que diagnostican el estado de los componentes (nivel de criticidad), evalúa las discontinuidades del producto (anomalías encontradas) y se realizó pronósticos del comportamiento de la temperatura. Para esto se utilizó software especializado FLIRTools herramienta de mantenimiento predictivo IRT.

El proyecto investigativo realizado por Picazo Ródenas, María José año (2016), Tesis Doctoral Universitat Politècnica de València con el tema: *Diagnóstico de máquinas eléctricas mediante técnicas de termografía infrarroja*, presenta un sistema de diagnóstico automático de averías en motores de inducción, basado principalmente en el uso de la técnica de termografía infrarroja (Picazo Ródenas, 2016). El trabajo permite la obtención del modelo térmico, fundamentado por el balance energético del motor de inducción, así como curvas de calentamiento. Para ello se utiliza la tecnología infrarroja experimental y las ecuaciones de la teoría de transferencia de calor. El análisis detalla la información procedente de las imágenes infrarrojas, encamina la obtención de datos relevantes para poder efectuar un diagnóstico de mayor precisión. La combinación de la termografía infrarroja con la técnica de análisis de corrientes consigue un aumento en la fiabilidad del diagnóstico. La información procedente de ensayos, análisis previos por medio de sistemas de procesamiento y algoritmos de inteligencia artificial, permite el reconocimiento de patrones térmicos, evitando la intervención humana en el proceso, aumentando la efectividad del sistema de diagnóstico automático de detección de averías.

Las investigaciones indicadas son una muestra de proyectos o tesis desarrolladas en el plano nacional e internacional, pero existen otras investigaciones que facilitan más información a la investigación, tal es el caso de *“3D Thermal Imaging: Fusion of Thermography and Depth”*, presenta un enfoque para crear automáticamente modelos térmicos 3D, utiliza mediciones de múltiples perspectivas con un sistema de cámara multimodal que se basa en una cámara térmica y una cámara de profundidad (Rangel, Soldan, & Kroll, 2014). La investigación *“Image Fusion Improvements applied at the Generation of 3D Thermal Models”* muestra la aplicación del registro de imagen multimodal a diversas aplicaciones médicas. La fusión de imágenes involucra imágenes térmicas 3D e imágenes de resonancia magnética (*Magnetic Resonance Imaging* [MRI]) o tomografía computadorizada (*Computerized Tomography* [CT]), estas permiten extracción de información funcional y anatómica funcionalidades que pueden adaptarse a la investigación planteada (De Souza, Sanches, Gamba, & Nohama, 2013). La investigación *“Aplicaciones de la termografía infrarroja en el mantenimiento industrial para mejorar la productividad y sustentabilidad”* presenta al mantenimiento predictivo como una herramienta importante en la industria que por medio de equipos de termografía se puede inspeccionar y detectar temperaturas críticas de funcionamiento de máquinas, equipos o elementos (Pérez Villegas, 2016). La investigación *“A 3D Scan Model and Thermal Image Data Fusion Algorithms for 3D Thermography in Medicine”* muestra un método generalmente aplicable para mejorar la captura datos tridimensionales espaciales que llevan información relacionada con la temperatura; en este contexto, se derivan todas las ecuaciones requeridas para otras fusiones de datos. El método se puede utilizar para nubes de puntos de alta densidad o mallas detalladas de alta resolución, pero se puede usar convenientemente en objetos grandes con puntos dispersos. La técnica ofrece un amplio potencial de aplicación en medicina y múltiples dominios tecnológicos, incluida la ingeniería eléctrica y mecánica (Chromy & Klima, 2017). La investigación *“3D thermography for improving temperature measurements in thermal vacuum testing”* presenta la aplicación de la termografía a pruebas de vacío térmico (TV) de naves espaciales, que es en una herramienta vital adicional

en el mapeo de estructuras durante los ciclos térmicos y pruebas de balance térmico (TB). Su acción es mapear la geometría de la muestra de prueba y el entorno de prueba térmica; para modelar las temperaturas de la superficie y las variaciones de emisividad de las estructuras y materiales; y utilizar este modelo para corregir las temperaturas aparentes registradas por la cámara térmica. El sistema de termografía 3D debe proporcionar los medios para validar las temperaturas de las cámaras térmicas, basadas en la combinación de fotogrametría de imágenes térmicas y modelado escenas (trazos y rayas) (Robinson, y otros, 2017).

2.2. Fundamentación filosófica

El enfoque de la investigación se ajusta al paradigma filosófico crítico-propositivo; es crítico porque analiza el problema desde una óptica real y es propositivo porque busca plantear una alternativa de solución factible a la problemática investigada.

2.3. Fundamentación legal

La investigación hace referencia a las Normas ISO concernientes a los trabajos y certificaciones en termografía infrarroja.

ISO 18434-1:2008

Esta norma proporciona una introducción al uso de la termografía infrarroja a nivel directivo para la inspección y diagnóstico de las condiciones de la maquinaria y de sus elementos auxiliares tales como válvulas, líquido y los equipos eléctricamente accionados y sistemas relacionados con el intercambio de calor. Asimismo, se trata la utilidad de la termografía infrarroja pertinente a la evaluación del desempeño de la maquinaria. Se adjuntan recomendaciones de seguridad; se entrega la información en la interpretación de los datos, criterios de la evaluación y requisitos de la investigación; otro aspecto es los procedimientos

que permiten determinar y compensar la temperatura aparente reflejada, emisividad, y atenuación de medios cuando se mide la temperatura de la superficie de un objetivo cuantitativo con una cámara de termografía infrarroja.

ISO 18436-1:2004

Esta norma define los requisitos para los organismos que ofrecen los sistemas de certificación para el personal que realiza la supervisión de condición de la maquinaria, identifica averías de la máquina, y recomienda la acción correctiva. Conjuntamente en la norma se especifican los procedimientos para la certificación de la supervisión de condición y del personal de diagnóstico.

ISO / FDIS 18436-7:2008

Esta norma define los requisitos para la calificación y la evaluación del personal que realiza la supervisión y el diagnóstico de la condición de la maquinaria usando la técnica de termografía infrarroja. Un certificado o una declaración de la conformidad de la ISO 18436-7: 2008 otorgan el reconocimiento de las calificaciones y de la capacidad de los individuos para realizar medidas y análisis térmicos para la supervisión de condición de la maquinaria usando el cámaras térmicas portátiles de la proyección de imagen. Este procedimiento puede no aplicarse al equipo especializado u otras situaciones específicas (Barajas, 2009). (International Organization for Standardization, 2008)

Además se debe considerar el criterio de diseño de software que se respalda de la siguiente normativa.

Título I: De los Derechos de Autor y Derechos Conexos

Capítulo I: Del Derecho de Autor

Sección I: Preceptos Generales

Programa de ordenador (software): Toda secuencia de instrucciones o indicaciones destinadas a ser utilizadas, directa o indirectamente, en un dispositivo de lectura automatizada, ordenador, o aparato electrónico o similar con capacidad de procesar información, para la realización de una función o tarea, u obtención de un resultado determinado, cualquiera que fuere su forma de expresión o fijación. El programa de ordenador comprende también la documentación preparatoria, planes y diseños, la documentación técnica, y los manuales de uso (LEGISLACIÓN NACIONAL - ECUADOR, 1998).

2.4. Categorías fundamentales

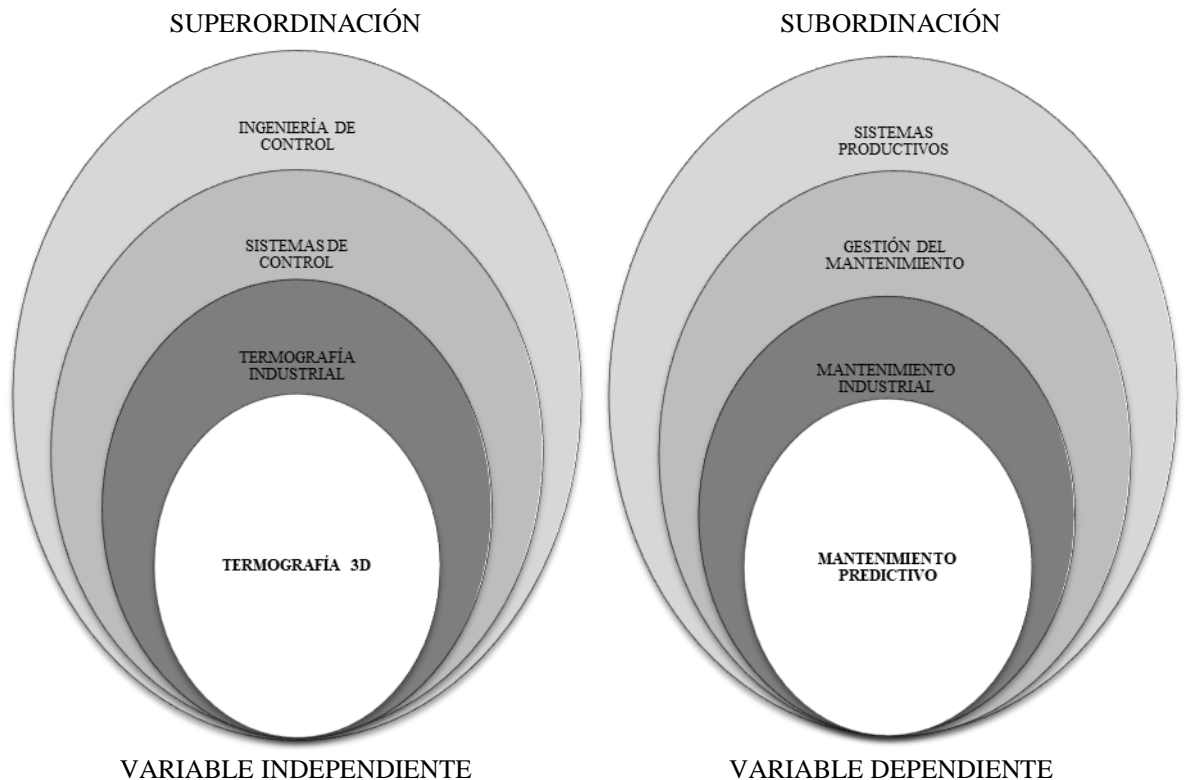


Gráfico 2.1. Red de inducciones conceptuales.

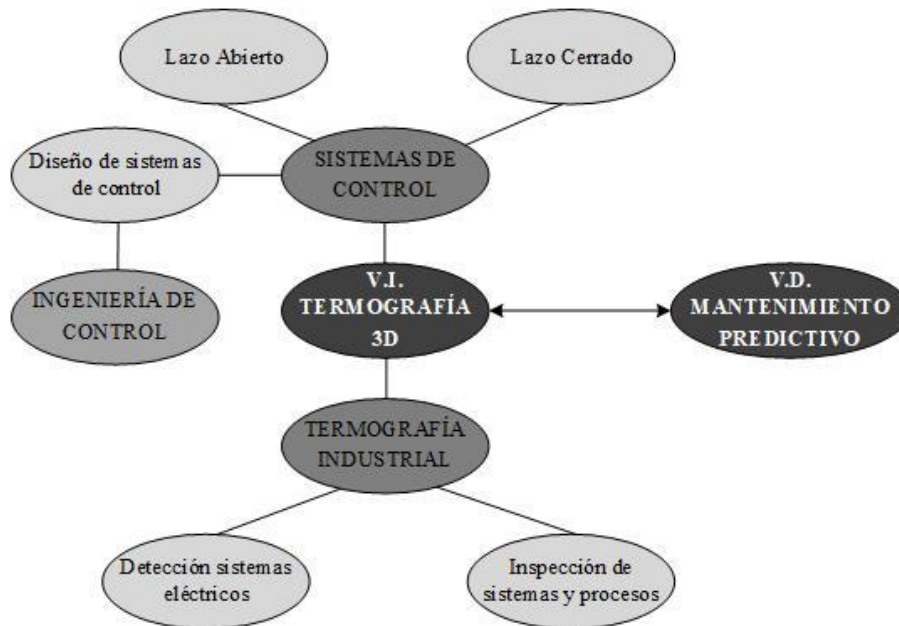


Gráfico 2.2. Constelación de ideas variable independiente.



Gráfico 2.3. Constelación de ideas variable dependiente.

2.4.1. Ingeniería de control

La ingeniería en control es una disciplina físico-matemática que analiza un ambiente eléctrico, mecánico, físico, químico, financiero y biológico, con el fin de generar modelos matemáticos que representen estos ambientes. A partir de esto se pueden diseñar sistemas de detección eléctricos, mecánicos o programas (software), que funcionen como medios de monitoreo de lo que ocurre en cada

ambiente. Además se pueden desarrollar sistemas combinados o híbridos (mecánico-eléctricos-electrónicos-neumáticos-hidráulicos) con software que controle óptima y eficiente entornos industriales.

Otra definición de la *ingeniería de control* es que está a cargo del diseño de un conjunto de componentes con una estructura definida, que se pueda regular una energía de entrada y obtener una salida deseada en cada ambiente (Polochè Arango, 2011). La gráfica 2.4, se puede observar un diagrama de bloque de un sistema de control.

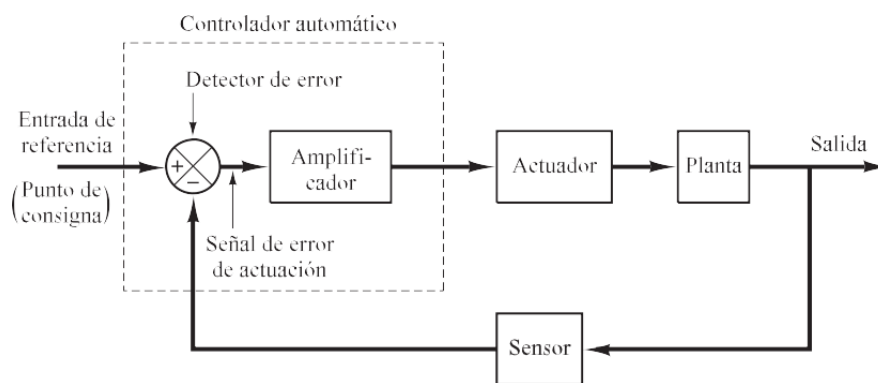


Gráfico 2.4. Diagrama de bloques de un sistema de control industrial (un controlador automático, un actuador, una planta y un sensor [elemento de medición]) (Ogata, 2010).

2.4.1.1. Diseño de sistemas de control

El proceso de diseñar un sistema de control normalmente exige una serie de demandas por parte del equipo de ingeniería encargado de llevarlo a la práctica. Un procedimiento de diseño *paso a paso* es como se indican a continuación (Skogestad & Postlethwaite, 1995):

1. Estudiar el sistema que se desea controlar y obtener información inicial acerca de los objetivos de control. Es muy conveniente considerar el sistema desde un punto de vista «sistémico».
2. Modelar el sistema. El modelo debe reflejar los aspectos más importantes del problema que se trata. Hay que tener en cuenta que los modelos muy detallados y precisos suelen ser demasiado complejos para utilizarlos en este campo (los modelos pueden ser simplificados si se conocen).

3. Analizar el modelo resultante y determinar propiedades que puedan ser interesantes para la síntesis del algoritmo (controlador).
4. Decidir qué variables se desea controlar (salidas controladas).
5. Decidir ¿qué? variables se miden y ¿cuáles? se manipulan: ¿qué sensores y accionadores se utilizarán y donde se colocarán?
6. Seleccionar la configuración de control.
7. Decidir el tipo de controlador que se va a emplear teniendo en cuenta el modelo previamente desarrollado.
8. Basándose en los objetivos de control dados en el paso 1, decidir las especificaciones que deberá satisfacer el sistema de control una vez implementado.
9. Diseñar el controlador (síntesis del algoritmo de control). El algoritmo se puede diseñar utilizando multitud de técnicas, en función de los objetivos que se persigan con el control.
10. Analizar el sistema controlado resultante para ver si se satisfacen las especificaciones impuestas en el paso 8 y si no se cumplen modificar las especificaciones (ir al paso 8) o el tipo de controlador (ir al paso 7).
11. Simular el sistema controlado resultante utilizando un computador o un modelo a escala del proceso. Esta etapa es conveniente para prevenir posibles fallos del sistema de control sin que se dañe al sistema real.
12. Si es necesario repetir todo el procedimiento desde el paso 2.
13. Seleccionar el hardware y el software e implementar el controlador en una plataforma adecuada para que pueda ser ejecutado. Hoy en día, las plataformas más habituales suelen ser sistemas más o menos complejos, basados en microcontroladores, microprocesadores, tarjetas de adquisición de datos. En este punto es conveniente recordar la analogía: «el control es a la electrónica como la inteligencia al cerebro». Esto significa que el control no será mejor porque el microprocesador sea mejor (siempre que se cumplan unos mínimos), sino porque el algoritmo proponga actuaciones mejores.
14. Comprobar y validar el sistema de control y si es necesario realizar un ajuste fino en línea del controlador.

(Libro Blanco del Control Automático, 2009)

2.4.2. Sistemas de control

Se caracteriza por el procedimiento y la presencia de una serie de elementos que permiten influir en el funcionamiento del sistema. La finalidad de un sistema de control es alcanzar, mediante la manipulación de las variables de control, un dominio sobre las variables de salida, de modo que estas obtengan unos valores prefijados (consigna).

Un sistema de control *ideal* debe ser capaz de conseguir su objetivo cumpliendo los siguientes requisitos:

1. Garantizar la estabilidad, específicamente ser robusto frente a perturbaciones y errores en los modelos.
2. Ser tan eficiente como sea operable, según un criterio preestablecido. Normalmente este criterio consiste en que la acción de control sobre las variables de entrada sea realizable, evitando comportamientos bruscos e irreales.
3. Ser fácil de implementar y cómodo de operar en tiempo real con la ayuda de un computador.

Los elementos *básicos* que forman parte de un sistema de control y permiten su manipulación son los siguientes:

- **Sensores:** Permiten conocer los valores de las variables medidas del sistema.
- **Controlador:** Utilizando los valores determinados por los sensores y la consigna impuesta, calcula la acción que se debe aplicar para modificar las variables de control en base a cierta estrategia.
- **Actuador:** Es el mecanismo que ejecuta la acción calculada por el controlador y que modifica las variables de control.

(Alvarez Brotons, 2004)

En la gráfica 2.5, se observa el esquema de funcionamiento de un sistema de control genérico.

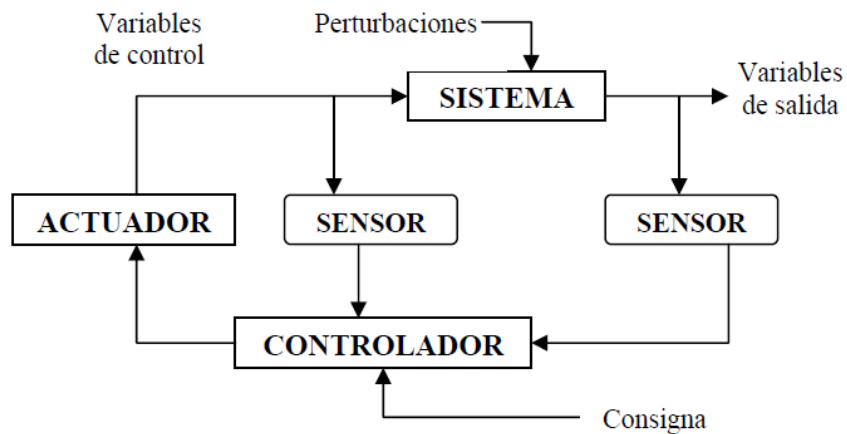


Gráfico 2.5. Esquema general de un sistema de control (Alvarez Brotons, 2004).

2.4.2.1. Lazo abierto

Un sistema de control es a *lazo abierto* es cuando la salida no se compara con la entrada de referencia, por lo tanto a cada entrada de referencia le pertenece una condición de operación fija (Rocha Núñez & Lara Hernández, 2008).

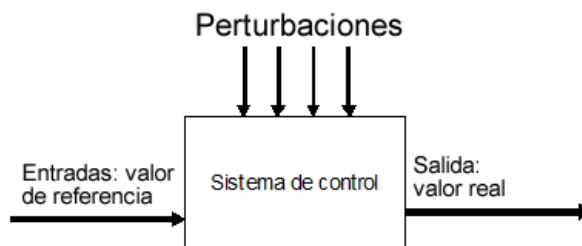


Gráfico 2.6. Bloque de un proceso de control en lazo abierto (Ruiz Canales & Molina Martínez, 2007).

La exactitud de estos sistemas se debe a su calibración, de manera que al calibrar se fija una relación entre la entrada y la salida con el fin de obtener del sistema la exactitud deseada.

Sistema en bloques en lazo abierto es:

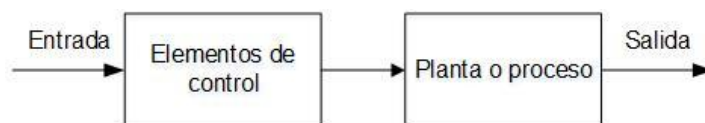


Gráfico 2.7. Bloque de un proceso de control en lazo abierto (IES Huelin, 2012).

El esquema típico de un sistema con un transductor y un actuador será:

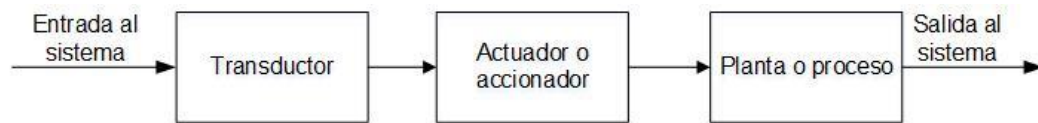


Gráfico 2.8. Bloque proceso de control lazo abierto con transductor-actuador (IES Huelin, 2012).

El transductor modifica o adapta la naturaleza de la señal de entrada al sistema de control.

2.4.2.2. Lazo cerrado

Si en un sistema en lazo abierto existen perturbaciones, no se obtiene siempre la variable de salida deseada. Es aquí cuando conviene utilizar un sistema en el que haya una relación entre la salida y la entrada (IES Huelin, 2012). Este es el sistema de control de *lazo cerrado*, mantiene una relación prescrita entre la salida y la entrada de referencia, se comparan y la diferencia es el medio de control. Lo que se desea es mantener la salida constante a pesar de los cambios en las condiciones de operación (Rocha Núñez & Lara Hernández, 2008).

El sistema de control *lazo-bucle cerrado* es aquel en que la acción de control es de cierto modo, dependiente de la salida.

La señal de salida opera con la entrada o referencia, para lo cual es necesario que la entrada sea cambiada en cada instante en función de la salida. Esto se consigue por medio de lo que llamamos realimentación o retroalimentación (*feedback*).

La *retroalimentación (feedback)*, es la propiedad de un sistema en *lazo cerrado* por la cual la salida (o cualquier otra variable del sistema que esté controlada) se compara con la entrada del sistema (o una de sus entradas), de manera que la acción de control se establezca como una función de ambas.

Dicho de manera general la realimentación en un sistema de control es cuando existe una secuencia cerrada de relaciones causa y efecto entre las variables del sistema (Diestefano, Stubberud, & Williams, 1992).

Por lo tanto “*los sistemas de control en lazo cerrado es el modo en que existe una realimentación de la señal de salida, de manera que ésta ejerce un efecto sobre la acción de control*”.

(IES Huelin, 2012)

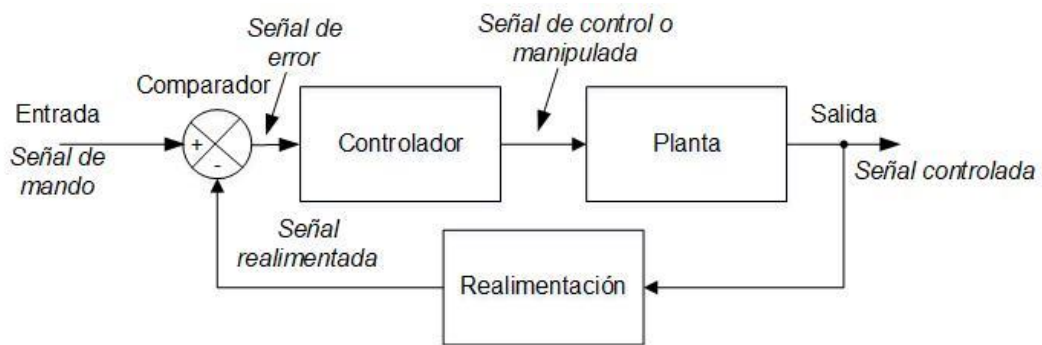


Gráfico 2.9. Sistema de control lazo cerrado en bloques (IES Huelin, 2012).

2.4.3. Termografía industrial

La termografía es una técnica que permite medir temperaturas a distancia y sin necesidad de contacto físico con el objeto a estudiar. Mediante la captación de la radiación infrarroja del espectro electromagnético. Utilizando cámaras de termografía se podrá convertir la energía radiada en información sobre temperatura.

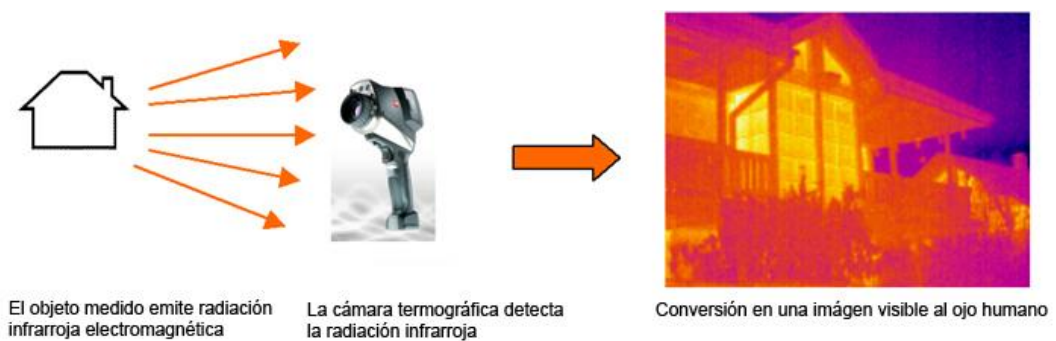


Gráfico 2.10. Termografía tecnología de medición de última generación de producción de imágenes (Testo Argentina SA., 2010).

El espectro electromagnético es donde se encuentran todos los tipos de radiación electromagnética especificados por longitud de onda que tienen.

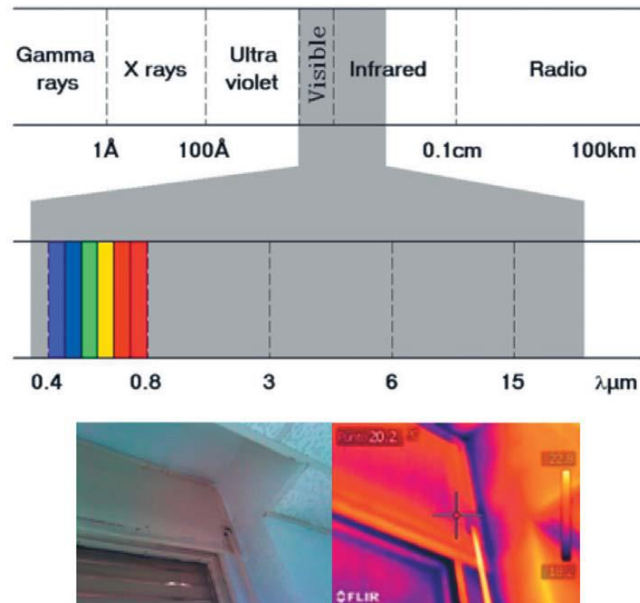


Gráfico 2.11. Espectro electromagnético (Fundación de la Energía de la Comunidad, 2011).

Una onda (señal) es la propagación de una perturbación que transmite energía gradualmente de un punto a otro a través de un medio. También puede ser una deformación elástica; un cambio de presión; una intensidad magnética, eléctrica o de temperatura. En la gráfica 2.12, se ejemplifica la longitud de onda.

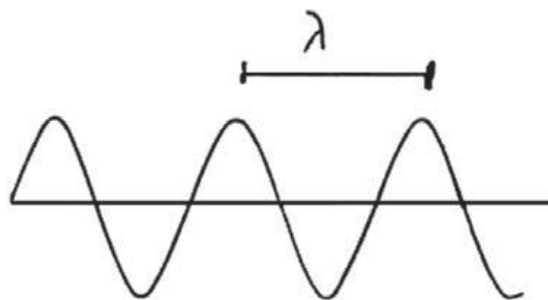


Gráfico 2.12. Longitud de onda (Fundación de la Energía de la Comunidad, 2011).

Una cámara termográfica es el dispositivo que va a detectar un patrón térmico del cuerpo que se localiza, en el espectro de la longitud de onda infrarroja y sin tener contacto con ese objeto.

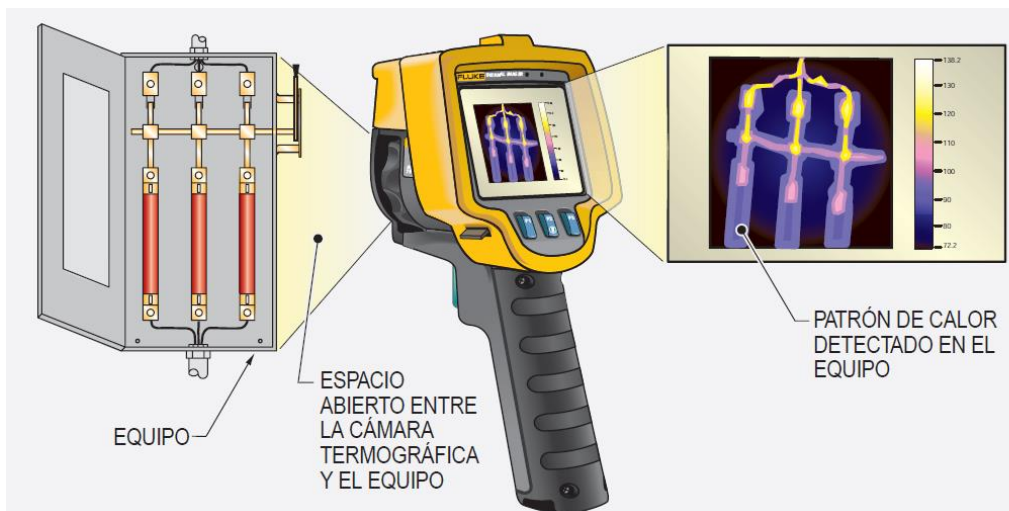


Gráfico 2.13. Cámara termográfica (Fluke Corporation y The Snell Group, 2016).

Una imagen radiométrica es un mapa de calor del análisis de un objeto en revisión, esta contiene información (cálculos) de las medidas de temperatura en todos los puntos que comprende la imagen.

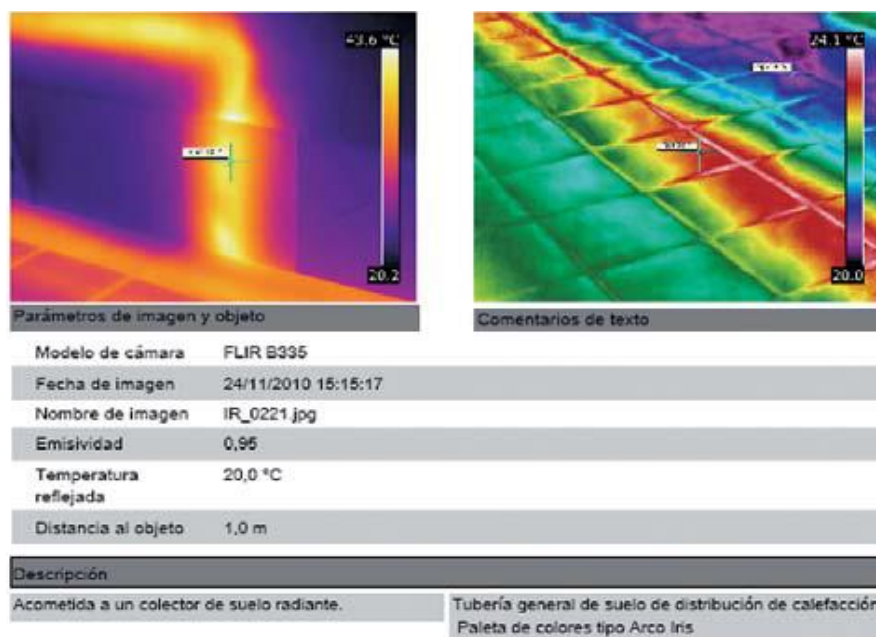


Gráfico 2.14. Reporte predictivo con información radiométrica del espacio analizado (Fluke Corporation y The Snell Group, 2016).

2.4.3.1. Detección sistemas eléctricos

La termografía es característicamente efectiva porque los fallos de los equipos suelen tener firmas térmicas claras y reconocibles. Además, se pueden considerar

excepciones térmicas inclusive cuando se aprecie una mínima parte mediante la inspección visual, si es que se detecta algún indicio. Una excepción térmica es un estado anormal o de desconfianza localizado en un equipo. Sin embargo a veces no es posible descubrir las irregularidades térmicas o entender bien la raíz del problema, es indudable que el calor producido por la alta resistencia eléctrica suele anteceder a las *fallos eléctricos* (Fluke Corporation y The Snell Group, 2016).

Las imágenes térmicas de los sistemas eléctricos pueden indicar el estado de funcionamiento de un equipo. La gráfica 2.15, muestra un ejemplo de fallo eléctrico. De hecho, desde el comienzo de la termografía, hace cuatro décadas aproximadamente, su principal aplicación ha sido la inspección de *sistemas eléctricos* (Fluke Ibérica, S.L., 2005).

Con el tiempo, la resistencia de las conexiones eléctricas aumenta, debido a la holgura y la corrosión. El correspondiente incremento de la temperatura puede hacer que los componentes fallen, lo que puede provocar cortes de tensión inesperados e incluso lesiones. Además, la energía empleada en generar calor provoca pérdidas de energía innecesarias. Si no se comprueba, el calor podría acumularse hasta el punto de fundir conexiones y provocar averías e incluso incendios (Alava Ingenieros, 2011).



Gráfico 2.15. Ejemplo de detección fallo sistema eléctrico (Alava Ingenieros, 2011).

2.4.3.2. Inspección de sistemas y procesos

Las inspecciones térmicas se suelen aplicar para verificar las altas temperaturas que pueden soportar los equipos, es decir, equipos refractarios.

Al iniciar una inspección se pretende determinar un punto de referencia del equipo cuando trabaja en condiciones normales y sin dificultades. Una inspección de tendencia es ejecutada después de la inspección inicial para obtener imágenes y poder observar su variación. El control por variaciones en función del tiempo entrega información para diagnóstico y predicción; lo cual ayuda al técnico a verificar cualquier diferencia o similitud existente en el rendimiento del equipo en el sistema o proceso. Las inspecciones se deben programar con una frecuencia establecida en función de los resultados “fallos” y de la condición del equipo.



Gráfico 2.16. Aplicación común de la termografía en la localización de niveles de material en depósitos (Fluke Corporation y The Snell Group, 2016).

2.4.4. Termografía 3D

La termografía es una derivación de la Teledetección que se encarga de la medición de la temperatura radiada por los fenómenos de la superficie de la Tierra desde una cierta distancia. La termografía infrarroja es la técnica de producir una imagen visible de luz infrarroja invisible (para nuestros ojos) emitida por objetos de acuerdo a su condición térmica (Amperis, 2007).

El escaneo tridimensional (3D) basado en la visión para aplicaciones de metrología e inspección, es un área de interés creciente en la industria. Está impulsado por los avances en las tecnologías 3D, que permiten mediciones de alta precisión a un costo asequible. La visión 3D permite modelar e inspeccionar la superficie visible de los objetos. Cuando es necesario detectar defectos sub-superficiales, la termografía infrarroja activa (IR) es una de las herramientas más utilizadas en la actualidad para la prueba y evaluación no destructiva de materiales. La fusión de estas dos modalidades permite la detección simultánea de defectos superficiales y sub-superficiales y la visualización de estos defectos superpuestos en el modelo 3D de las piezas escaneadas y modeladas o su diseño 3D asistido por computadora (CAD) (Moulay A. , Yannis , Clemente-Ibarra , & Abdelhakim , 2016).

El sistema de digitalización 3D+Térmico genera información x-y-z-T para cada pixel de la imagen. Es así que los análisis y estudios que se realizan son de gran interés en algunas aplicaciones (New Optical Applications, 2018).

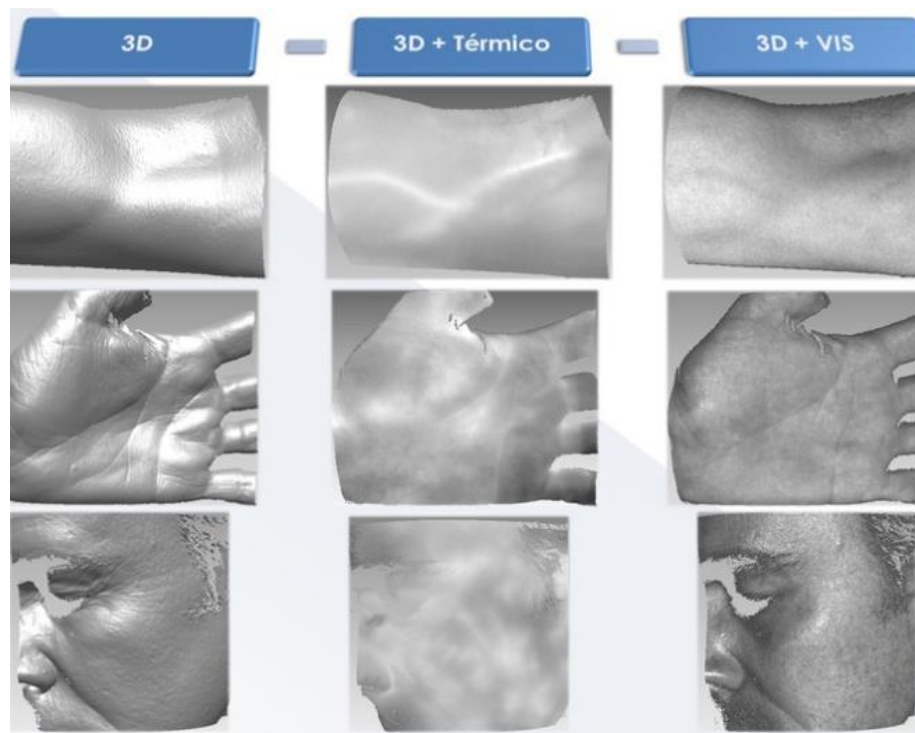


Gráfico 2.17. Proceso de digitalización y reconstrucción de imágenes 3D + Térmicas (New Optical Applications, 2018).

2.4.5. Sistemas Productivos

Conjunto de agentes y relaciones productivas que tienen lugar sobre un espacio determinado (Méndez, 1997).

Los principales sistemas de producción industrial son cuatro: por trabajo, por lotes, en masa y de flujo continuo. Cada procedimiento indicado, opera de menor a mayor escala. El beneficio de los recursos, la flexibilidad para actuar a los cambios y el trabajo en situaciones de calidad suficientes, permiten escenarios de sostenibilidad y productividad.

Producción por trabajo: a esta modalidad productiva se la identifica como producción bajo pedido. Es decir concentra todos sus esfuerzos en fabricar un solo producto cada vez. El resultado es otro en cada oportunidad, por lo que se trata de un concepto relacionado a un uso intensivo en mano de obra. Los productos pueden elaborarse a mano o por medio de una combinación de métodos manuales y mecánicos.

Es necesario determinar una directriz de trabajo:

- Lista de materiales y maquinarias para realizar el pedido.
- Un modelo que explique todos los lineamientos que deben realizarse.
- Plan con secuencia cronológica, que proyecte en profundidad, todos los ítems a desarrollar, su tiempo y lo esencial para llevarlo a cabo.

Producción por lotes: se describen a los sistemas de producción industrial que en particular crean una pequeña cantidad de productos idénticos y limitada. Esta característica productiva también puede ser intensiva en mano de obra, aunque habitualmente no lo es tanto, ya que se introduce el concepto de los modelos, que favorecen a agilizar la producción, disminuyendo también el factor de personalización que está dado en la producción por trabajo. Los lotes de producto se pueden realizar con la frecuencia precisa y las máquinas pueden también ser sustituidas por otras simplemente cuando sea conveniente producir un lote de un producto diferente. El sistema puede aportar grandes beneficios, en oposición a su

fabricación se generan más conflictos al instante de organizar el funcionamiento por área de producción.

Producción en masa: es la que se encarga de la producción de cientos de productos idénticos, en una línea de producción. La alternativa frecuentemente implica el ensamblaje de un indeterminado número de elementos con características particulares, componentes que pueden ser adquiridos a otras compañías. Por lo general, en este sistema de producción industrial existen actividades automatizadas, que permiten la salida de un gran volumen de productos, con la diferencia de que en el proceso se requieren menos trabajadores.

Producción de flujo continuo: es la fabricación de miles de productos idénticos. La diferencia de la producción de flujo continuo versus la producción en masa es que la línea de producción se mantiene en funcionamiento 24/7 (24 horas, 7 días a la semana). Por consiguiente, se maximiza la producción y se elimina los costos añadidos de iniciar y detener el proceso productivo. La producción de flujo continuo cuenta con procesos altamente automatizados y es la que requiere de menos trabajadores. Además, los procesos automatizados consiguen productos con menos errores, siendo el proceso productivo ampliamente más efectivo y eficiente. Se deben anticipar los siguientes lineamientos:

- Demanda sustancialmente alta. Se debe tener una demanda continua de productos, ya la discontinuidad en el proceso originaría grandes costos de almacenamiento en los períodos en los que la demanda disminuiría.
- Producto normalizado. El producto no debe ser alterado ni modificado para poder realizar este tipo de producción.
- Las operaciones deben estar bien definidas. Es preciso conocer en qué consiste cada fase de la producción, la secuencia y los elementos a seguir, así como cualquier inconveniente que influya en el proceso productivo, de tal forma que todo esté dispuesto en el instante requerido.

(EAE Business School, 2017)

2.4.5.1. Manufactura

Las manufacturas son materias primas que han sido fabricadas para transformarlas en un producto con valor agregado, su nombre se deriva de las primeras manufacturas que se elaboraban a mano, debido a que el trabajo era artesanal, hasta que apareció la industria con la creación de las máquinas, revolucionando la producción, en la era Industrial (Deconceptos, 2018).

- Generalmente, el producto es concreto.
- La propiedad se transfiere cuando se realiza una compra.
- El producto puede ser revendido.
- El producto puede ser demostrado.
- El producto se puede almacenar por vendedores y compradores.
- El consumo depende de la producción.
- Producción, venta y consumo se realizan en diferentes sitios.
- El producto puede ser transportado.
- El vendedor fabrica.
- Es posible contacto indirecto entre empresa y cliente.

(Escuelapedia, 2015)

2.4.5.2. Servicios

El servicio es un conjunto de acciones las cuales son realizadas para servir a alguien, algo o alguna causa. Los servicios son funciones ejercidas por las personas hacia otras personas con la finalidad de que estas cumplan con la satisfacción de recibirlos (Conceptodefinicion.de, 2018).

- Por lo regular el servicio es intangible.
- En general, la propiedad no se transfiere.
- El servicio no puede ser revendido.
- Habitualmente, el servicio no se puede mostrar efectivo (si no existe una compra).
- El servicio no puede ser almacenado.
- La producción y consumo generalmente coinciden.

- La producción, consumo y la venta regularmente se realizan en el mismo lugar.
- El servicio no se puede transportar (a pesar de que los productores frecuentemente puedan realizarlo).
- El comprador/cliente participa directamente en la producción.
- En la mayoría de casos, es necesario el contacto directo.

(Escuelapedia, 2015)

2.4.6. Gestión del Mantenimiento

La gestión de mantenimiento contempla la planeación, la organización, la coordinación, la dirección, la ejecución y el control de todas las actividades inherentes a mantenimiento, con el fin de cumplir su misión.

La misión principal de mantenimiento es garantizar que el parque industrial esté con la máxima disponibilidad cuando lo requiera el usuario, durante el tiempo solicitado para operar, con las velocidades requeridas, en las condiciones técnicas y tecnológicas exigidas previamente.

(Mora Gutiérrez, 2009)

2.4.6.1. Planeación

Es la capacidad que tienen mantenimiento y la organización para diseñar su futuro y alcanzarlo. Está referida a las metas, a los deseos que se anhela lograr en el presente y en el futuro (Mora Gutiérrez, 2009).

Los beneficios de la planeación:

- Menor consumo de horas hombre.
- Disminución de inventarios
- Menor tiempo de paradas de equipos.
- Mejora el clima laboral en el personal de mantenimiento.
- Mejora la productividad (Eficiencia y Eficacia).
- Ahorra costos.

- Disminución de defectos.
- Identificación de riesgos.

(Silva, 2011)

2.4.6.2. Ejecución

La ejecución del mantenimiento se efectúa en las instalaciones fijas y móviles; en equipos y maquinarias; en edificios industriales, comerciales o de servicios específicos; en las mejoras introducidas al terreno y en cualquier otro tipo de bien productivo.

Para la ejecución de las actividades de mantenimiento se puede implementar una gama de documentación administrativa y técnica:

- Manual de Sistema de Gestión
- Procedimientos Administrativos
- Procedimientos de Trabajo
- Instructivos Técnicos
- Registro Administrativos
- Registros de Mantenimiento
- Registro de Planificación Diaria
- Registros de Análisis de Fallas

Se debe desarrollar los medios documentales que intervienen directamente en la ejecución de dicho mantenimiento, así como el conocimiento de los equipos y su mantenimiento específico (Ros Moreno, 2010).

2.4.6.3. Control

La gran parte de las técnicas de control de condición suponen la aplicación sistemática de los métodos comúnmente admitidos en el diagnóstico de fallos. El número de métodos utilizados es muy extenso. Determinados métodos tienden a ser asociados con algunas plantas o industrias (Muñoz Abella, 2008).

Se deben identificar y planificar los procesos de mantenimiento y se debe asegurar que estos procesos se ejecuten de manera controlada. Las condiciones controladas deben incluir lo siguiente:

- Procedimientos documentados que definan la forma de mantenimiento.
- Uso de equipos adecuados y ambientes amigables para operaciones de mantenimiento.
- Conformidad con las normas, códigos de referencia, planes de calidad y procedimientos documentados de mantenimiento de mejora continua.
- Monitoreo y control de parámetros adecuados para los procesos y características de mantenimiento.

Cuando los resultados del mantenimiento se pueden verificar plenamente por inspección y ensayo posterior, el mantenimiento debe ser realizado por operadores especializados o necesitará seguimiento y control continuo para asegurar que el mantenimiento cumpla con los parámetros especificados. El control del mantenimiento en una organización es sumamente importante ya que las mismas permiten verificar que a las máquinas se les esté realizando el mantenimiento que les corresponde (Coello, 2012).

2.4.7. Mantenimiento industrial

El mantenimiento industrial es el control continuo de las instalaciones o de los dispositivos, así como el grupo de trabajos de reparación y revisión obligatorios para garantizar el funcionamiento normal y la buena condición de un sistema industrial. Consiguientemente, las actividades de mantenimiento deben ser aplicadas en las instalaciones fijas y móviles; en elementos y dispositivos; en equipos y maquinarias; en edificios industriales, comerciales o de servicios específicos; en las mejoras introducidas al terreno y en cualquier otro tipo de bien productivo.

El objetivo primordial del mantenimiento industrial se resume en los siguientes ítems:

- Evitar, reducir, y de ser el caso reparar los fallos sobre los bienes.
- Disminuir la gravedad de las averías.
- Prevenir paros inútiles de las máquinas.
- Prevenir accidentes.
- Prevenir incidentes y mejorar la seguridad del personal.
- Conservar los equipos y maquinaria en condiciones seguras y eficientes de operación.
- Disminuir costos.
- Extender la vida útil de los equipos y maquinaria.

El mantenimiento oportuno, tiende a extender la *vida útil* de los bienes, productos y/o servicios para alcanzar un óptimo rendimiento de los mismos durante más tiempo y disminuir el número de fallos.

(Muñoz Abella, 2008)

2.4.7.1. Mantenimiento correctivo

Es el conjunto de acciones como reparación y sustitución de elementos defectuosos por nuevos elementos, cuando aparece un fallo.

El mantenimiento correctivo, resulta aplicable en sistemas complejos, un ejemplo de ello, son los sistemas electrónicos, donde resulta difícil predecir fallos. Otro caso son los procesos que pueden ser interrumpidos en cualquier instante de tiempo, sin que afecte la seguridad. Además el mantenimiento correctivo es útil en equipos que tienen antigüedad de funcionamiento.

El principal inconveniente es que el fallo puede ocurrir en cualquier instante, muchas veces, el menos indicado, debido a que en esos instantes el bien se sujeta a una mayor exigencia.

Asimismo los fallos no registrados a tiempo, ocurridos en partes cuyo cambio resulto un costo mínimo, pueden generar inconvenientes de consideración a elementos relacionados y que tengan buen estado de empleo y conservación.

Otra desventaja del mantenimiento correctivo, es que se deben tener recursos económicos considerables para la inversión de elementos, dispositivos o piezas de repuesto.

(Muñoz Abella, 2008)

En la gráfica 2.18, se observa el nivel de rendimiento del mantenimiento correctivo versus el tiempo.

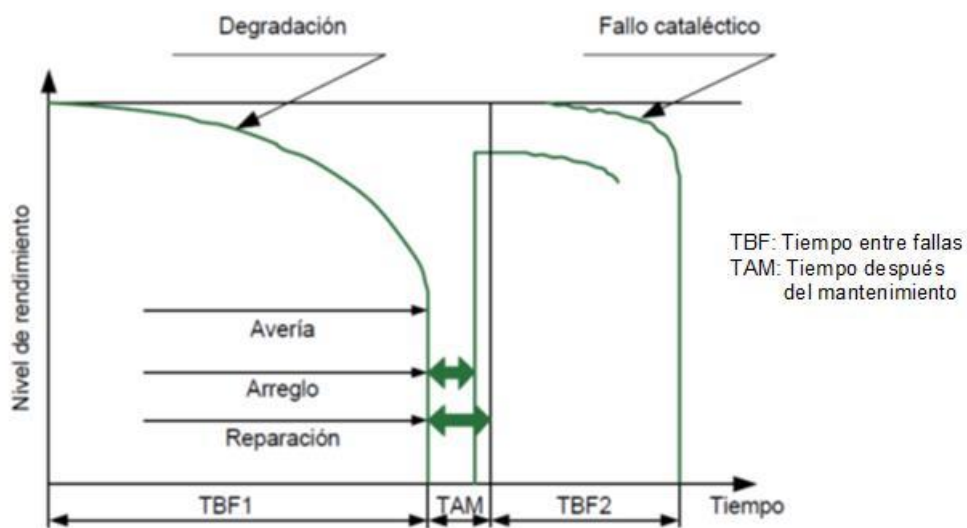


Gráfico 2.18. Mantenimiento correctivo (SEAS, Estudios Superiores Abiertos, 2013).

2.4.7.2. Mantenimiento preventivo

Es el conjunto de actividades programadas *antes*, que pueden ser inspecciones continuas, pruebas, correcciones, etc., dirigidas a disminuir la frecuencia y las consecuencias de las fallas de un sistema.

Las desventajas del mantenimiento preventivo son:

Cambios innecesarios: Al revisar la vida útil de un elemento se procede a su cambio, comprobando numerosas veces que el elemento o dispositivo que se cambia, a veces puede ser utilizado durante más tiempo. Asimismo en considerables ocasiones con el equipo ya desarmado, se puede observar la necesidad de reemplazar piezas (elementos menores en buena condición), cuyo costo económico es no representativo frente al correspondiente desmontaje y

montaje, con la intención de extender la vida del conjunto. Siendo una anticipación a la sustitución.

Problemas iniciales de operación: Cuando se desmonta, se colocan piezas nuevas, se ensambla y se ejecutan las primeras pruebas de funcionamiento, pueden presentarse diferencias en la estabilidad y seguridad del sistema.

Costo en inventarios: El costo en los inventarios es de gran valor económico aunque predecible, lo que permite hacer una mejor gestión.

Mano de obra: Es necesario contar con mano de obra eficiente y especial para períodos breves, a efectos de la disponibilidad del equipo o maquinaria en las actividades productivas.

Mantenimiento no efectuado: Si por alguna causa, no se ejecuta un servicio de mantenimiento programado, se afectan los períodos de operación y se produce mal servicio de mantenimiento.

Por consiguiente, la planificación en la gestión del mantenimiento preventivo se fundamenta en:

- Precisar ¿qué partes o elementos serán el foco de este mantenimiento?
- Establecer la vida útil de elementos, equipos y/o maquinaria.
- Fijar las actividades que se deben realizar para cada caso.
- Agrupar las actividades según período en que deberán efectuarse las intervenciones.

(Muñoz Abella, 2008)

En la gráfica 2.19, se observa el nivel de rendimiento del mantenimiento preventivo versus el tiempo.

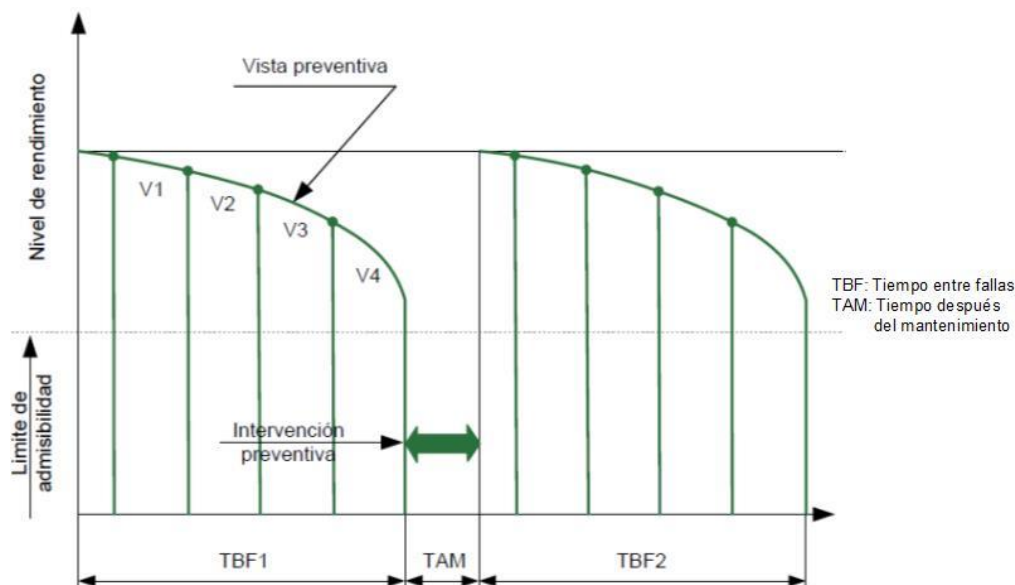


Gráfico 2.19. Mantenimiento preventivo (SEAS, Estudios Superiores Abiertos, 2013).

2.4.8. Mantenimiento predictivo

Es el conjunto de actividades que ejecutan un continuo (monitoreo) y diagnóstico de un sistema o equipo. Esto permite una acción correctiva oportuna como consecuencia del registro o síntoma de fallo.

El mantenimiento predictivo se fundamenta en el hecho de que la mayoría de los fallos se originan anticipadamente y lentamente, en algunos casos, muestran pruebas de futuros fallos, puedan suceder a simple vista, o realizando monitoreo, es decir, mediante la configuración de algunos parámetros importantes que representen el buen funcionamiento del equipo analizado. Este método, trata de seguir la tendencia de los futuros fallos.

El mantenimiento predictivo, tiene la ventaja de que el seguimiento permite generar históricos con características útiles para el análisis de fallos repetitivos; permitiendo programar y reprogramar la reparación de equipos y/o dispositivos. A todo esto es importante reconocer que existen menos intervenciones de la mano de obra en el mantenimiento.

(Muñoz Abella, 2008)

En la gráfica 2.20, se observa la zona viable de predicción del mantenimiento versus la criticidad y frecuencia de ocurrencia de eventos.

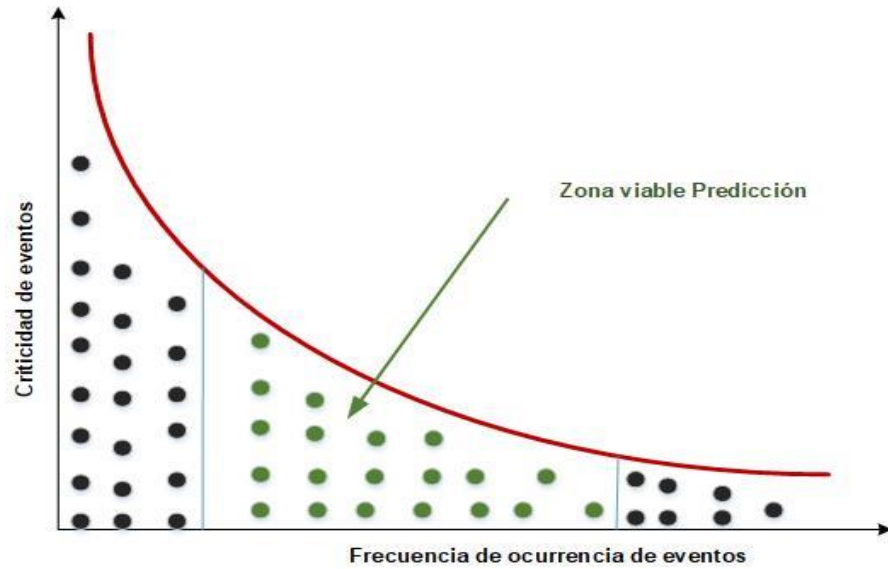


Gráfico 2.20. Mantenimiento predictivo.

2.5. Hipótesis

Un sistema de control de termografía 3D incidirá en el mantenimiento predictivo de los equipos de la dirección de educación a distancia y virtual.

2.6. Señalamiento de variables de la hipótesis

2.6.1. Variable independiente

Sistema de control de termografía 3D.

2.6.2. Variable dependiente

Mantenimiento predictivo

2.6.3. Término de relación

Incidirá.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Enfoque

La investigación tendrá predominante un enfoque cuantitativo, sin prescindir de una investigación cualitativa. En el análisis cuantitativo se realizará una medición controlada, con orientación a la comprobación e investigación con expertos en el uso de sistemas de control aplicados a la termografía 3D. En cambio el análisis cualitativo permitirá detectar las virtudes y características esenciales del sistema de control aplicado a la termografía 3D en el mantenimiento predictivo de equipos de la dirección de educación a distancia y virtual.

Estos dos enfoques, permitirán determinar las mejores conclusiones en el diseño de un sistema de control de termografía 3D; así como el mantenimiento predictivo de equipos de la dirección de educación a distancia y virtual.

3.2. Modalidad básica de investigación

3.2.1. Aplicada

La investigación aplicada tiene como objetivo la utilización de toda la información disponible para la creación de nuevas tecnologías y métodos (Rivera, 2017); lo cual es un punto de partida para el estudio de un sistema de control 3D y su aplicación al mantenimiento predictivo con termografía.

3.2.2. De campo

La investigación de campo se caracteriza, por el hecho de ser *in situ* la información que se recopilará por esta técnica será de primera mano, porque será extraída de los experimentos, pruebas de un sistema de control de termografía 3D.

3.2.3. Bibliográfico

El estudio bibliográfico en la investigación estará caracterizado, por el uso de manuales y buenas prácticas, así como artículos que mencionan aplicaciones, utilidades y usos de un sistema de control de termografía 3D.

3.2.4. Inductivo

Este método permitirá estudiar un caso en particular que será el punto de partida para determinar un aspecto general de un sistema de control de termografía 3D.

3.3. Nivel o tipo de investigación

3.3.1. Experimental

La investigación es de carácter experimental porque relacionará variables, tal es caso, que la variable independiente “sistema de control de termografía 3D” y su variable dependiente “mantenimiento predictivo de los equipos de la dirección de educación a distancia y virtual”. Se debe señalar que pueden agregarse otras variables independientes que corroborarán en una mejor conclusión en favor de un mejor enfoque investigativo.

3.4. Población y muestra

La Dirección de Educación a Distancia y Virtual (DEaDV), será considerada como la población del proyecto de investigación que está integrada por el Director

y el grupo de profesionales encargados del uso de Tecnología de Información y Comunicación (TIC); así como manejo de contenidos.

Tabla 3.1. Recursos Institucionales.

Personal	Número	Cargo	Porcentaje
Director	1	Dirección del Departamento DEaDV.	11,11 %
Asistentes	8	Analistas TIC, mercadeo.	88,89 %
Total	9		100 %

En la Tabla 3.1, se puede observar el número de personas que conforman la DEaDV, por ser un número pequeño de población se trabajará con el 100% de la misma.

3.5. Operacionalización de variables

Variable independiente:

Sistema de control de termografía 3D.

Tabla 3.2. Operacionalización de la variable independiente.

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICA	INSTRUMENTO
El sistema de control con termografía infrarroja (IR), se usa para inspeccionar y revisar equipos en el área industrial. La termografía 3D posibilita una mejor perspectiva de la superficie a hacer inspeccionada.	Sistemas de Control.	Eficiencia de los equipos.	¿Considera Usted qué es necesario un sistema de control para predecir el mantenimiento de los equipos?	Encuesta.	Cuestionario.
	Termografía.	Imágenes térmicas.	¿Conoce Usted lo qué es la termografía o captura de imágenes térmicas a distancia?		
		Equipos electrónicos.	¿Considera Usted que la alta temperatura es un factor que afecta la funcionalidad de dispositivos, equipos y sistemas electrónicos? ¿Encuentra conveniente que un sistema de termografía asista al mantenimiento de los equipos electrónicos?		
		Imágenes térmicas 3D.	¿Cree Usted que las imágenes térmicas en tres dimensiones favorezcan las labores de mantenimiento de los equipos electrónicos?		

Variable dependiente:

Mantenimiento predictivo.

Tabla 3.3. Operacionalización de la variable dependiente.

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMES	TÉCNICA	INSTRUMENTO
El mantenimiento predictivo permite detectar los fallos o averías antes de que sucedan, para proporcionar un tiempo a corregirlos sin perjuicio de la producción o del proceso. Además, es una técnica que puede ser llevada a cabo durante el funcionamiento normal de equipos y/o dispositivos y permite planificar de forma óptima las acciones de mantenimiento. (Sinai Ingeniería de Mantenimiento, 2013)	Mantenimiento Industrial.	Mantenimiento.	¿Conoce Usted lo qué es el mantenimiento de equipos?	Encuesta.	Cuestionario.
		Tipos de mantenimiento.	¿Qué tipos de mantenimiento conoce?		
	Continuidad en los procesos.	Frecuencia de mantenimiento.	¿Con qué frecuencia realiza actividades de mantenimiento en su área?		
		Tiempo de ejecución.	¿En qué horario realiza las actividades de mantenimiento? ¿Qué tiempo destina a las actividades de mantenimiento?		
		Medios o herramientas utilizadas	¿Cuál o cuáles medios o herramientas utiliza para realizar actividades de mantenimiento?		
Disponibilidad de equipos.	¿Cree Usted que la gestión de mantenimiento ayuda a la continuidad y vida útil de los equipos?				

3.6. Recolección de información

3.6.1. Plan para la recolección de la información

Para concretar la descripción del plan de recolección conviene contestar a las siguientes preguntas:

Tabla 3.4. Recolección de información.

PREGUNTAS BÁSICAS	EXPLICACIÓN
1. ¿Para qué?	Para alcanzar los objetivos de investigación planteados.
2. ¿De qué personas u objetos?	Personal del DEaDV, sistemas y dispositivos que posibiliten el control.
3. ¿Sobre qué aspectos?	Indicadores (matriz de operacionalización de variables).
4. ¿Quién?	Investigador: Ing. Luis Flores.
5. ¿Cuándo?	De acuerdo con el cronograma establecido.
6. ¿A quiénes?	A los miembros de la DEaDV.
7. ¿Dónde?	DEaDV.
8. ¿Cuántas veces?	Las veces necesarias hasta alcanzar los objetivos planteados.
9. ¿Qué técnicas de recolección?	Encuesta.
10. ¿Con qué?	Cuestionario.

3.6.2. Plan de procesamiento de información

Los datos recolectados se procesarán siguiendo ciertos procedimientos:

- Revisión crítica de la información recogida; es decir, limpieza de la información defectuosa: contradictoria, incompleta, no pertinente, etc.
- Repetición de la recolección, en ciertos casos individuales, para corregir fallas de las pruebas o experimentos realizados.
- Tabulación o cuadros según variables de cada hipótesis: cuadros de una sola variable, cuadro con cruce de variables, etc.
 - Manejo de información (reajuste de cuadros con casillas vacías o con datos tan reducidos cuantitativamente, que no influyen significativamente en los análisis).
 - Estudio estadístico de datos para presentación de resultados.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis del aspecto cuantitativo e interpretación de resultados

Los resultados que detallan a continuación son obtenidos de la encuesta aplicada al personal que labora en la Dirección de Educación a Distancia y Virtual de la Universidad Técnica de Ambato, han sido tratados estadísticamente, para ser relacionados con los objetivos planteados en el trabajo de investigación.

Inicialmente se destaca el género, nivel de estudio, edades y cargo que desempeñan. Esto con el fin de identificar las características del grupo analizado.

Datos generales

Género

Tabla 4.1. Género.

Género	Frecuencia	Porcentaje
Masculino	5	56%
Femenino	4	44%
Total	9	100%

Elaborado por: El investigador.



Gráfico 4.1. Género.

Elaborado por: El investigador.

Análisis e interpretación de resultados

Del personal DEaDV analizado, predomina levemente el género masculino con el 56 %; esta particularidad, se debe por las funciones administrativas-técnicas de la DEaDV; además se aplican acciones afirmativas para promover una igualdad real; por tanto el análisis de los resultados guardará validez para su interpretación.

Nivel de educación

Tabla 4.2. Nivel de educación.

Educación	Frecuencia	Porcentaje
Superior	2	22%
Posgrado	7	78%
Total	9	100%

Elaborado por: El investigador.

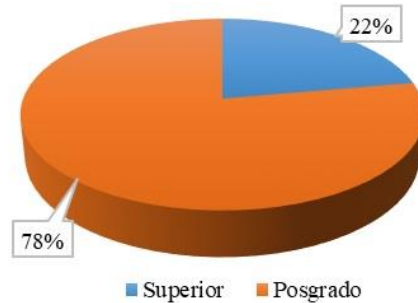


Gráfico 4.2. Nivel de educación.
Elaborado por: El investigador.

Análisis e interpretación de resultados

Del personal DEaDV encuestado, el 78 % de los profesionales tiene educación superior, consolidando un alto nivel de desempeño en las actividades a su cargo; el 22 % restante tiene nivel de posgrado, siendo un valor agregado y beneficioso para los intereses y objetivos que persigue la Dirección y la Universidad.

Edades

Tabla 4.3. Edades.

Edad	Frecuencia	Porcentaje
Entre 20 y 25	1	11%
Entre 26 y 35	6	67%
Entre 36 y 45	2	22%
Total	9	100%

Elaborado por: El investigador.

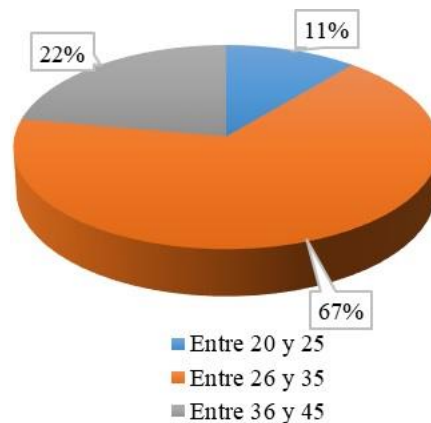


Gráfico 4.3. Edades.
Elaborado por: El investigador.

Análisis e interpretación de resultados

De los datos generales analizados, se han considerado las edades entre 20 y 25 años como profesionales jóvenes, esta categoría comprende el 11 % de los encuestados; a diferencia de las edades comprendidas entre 26 a 35 años que tiene un 67 % que son las de mayor predominio de los encuestados, seguida de la edades comprendidas entre 36 y 45 años con un 22 %. Estos datos determinan que el personal DEaDV combina la juventud con la experiencia, así como la preparación universitaria.

Cargo que desempeña

Tabla 4.4. Cargo desempeñado.

Educación	Frecuencia	Porcentaje
Administrativo	8	89%
Gerencial	1	11%
Total	9	100%

Elaborado por: El investigador.

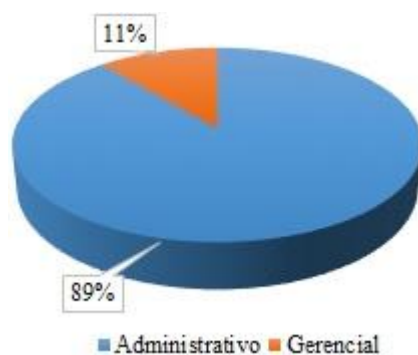


Gráfico 4.4. Cargo desempeñado.

Elaborado por: El investigador.

Análisis e interpretación de resultados

Se observa que los puestos de trabajo del personal DEaDV, mayoritariamente se compone de cargos administrativos con el 89 %, estas actividades se combinan con acciones operativas, procesos académicos y soporte tecnológico. El 11 % corresponde al puesto gerencial o directivo, encargado de gestionar y coordinar labores en beneficio de la educación continua de la Universidad.

Las siguientes preguntas de la encuesta, recogen información del personal DEaDV, sobre la gestión y procesos de mantenimiento que se vienen realizando en los equipos de computación de la dirección.

Pregunta 1: ¿Conoce Usted lo qué es el mantenimiento de equipos?

Tabla 4.5. Conocimiento del mantenimiento de equipos.

Pregunta 1	Frecuencia	Porcentaje
Sí	8	89%
No	1	11%
Total	9	100%

Elaborado por: El investigador.

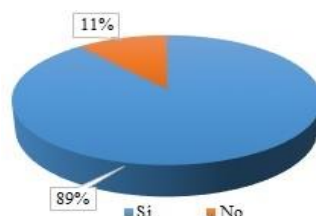


Gráfico 4.5. Conocimiento del mantenimiento de equipos.

Elaborado por: El investigador.

Análisis e interpretación de resultados

De acuerdo a la encuesta aplicada, se observa que el personal DEaDV, con un 89 % conoce sobre el mantenimiento de equipos; esto resulta favorable para los objetivos planteados en el trabajo investigativo, el 11 % que desconoce del mantenimiento de equipos, puede deberse a las funciones administrativas que desempeñan en la DEaDV. Para este caso, si es necesario el personal puede ser capacitado para que cumpla con dichas funciones.

Pregunta 2: ¿Qué tipos de mantenimiento conoce?

Tabla 4.6. Tipos de mantenimiento.

Pregunta 2	Frecuencia	Porcentaje
Correctivo	6	33%
Preventivo	8	45%
Predictivo	4	22%
Total	18	100%

Elaborado por: El investigador.

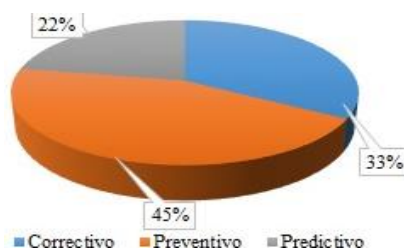


Gráfico 4.6. Tipos de mantenimiento.

Elaborado por: El investigador.

Análisis e interpretación de resultados

De acuerdo a los ítems de la encuesta de la pregunta 2, existe personal que tiene conocimiento de uno, dos o todos los tipos de mantenimiento consultados, siendo el mantenimiento preventivo el que predomina en el personal DEaDV con el 45 %, el mantenimiento correctivo con el 33 % y el mantenimiento predictivo con un 22 %. Estos datos precisan la actualización y capacitación en la gestión de mantenimiento, lo que permitirá mejorar labores de mantenimiento en favor del rendimiento de equipos.

Pregunta 3: ¿Con qué frecuencia realiza actividades de mantenimiento en su área?

Tabla 4.7. Frecuencia del mantenimiento.

Pregunta 3	Frecuencia	Porcentaje
Diaria	1	8%
Semanal	2	17%
Mensual	3	25%
Semestral	5	42%
Anual	1	8%
Total	12	100%

Elaborado por: El investigador.

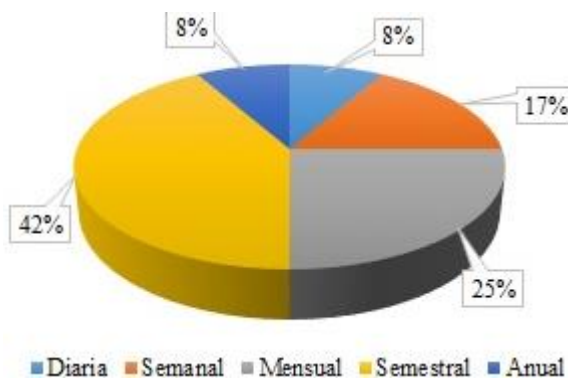


Gráfico 4.7. Frecuencia del mantenimiento.

Elaborado por: El investigador.

Análisis e interpretación de resultados

De acuerdo a los resultados obtenidos y considerando que la mayor parte del personal DEaDV, son operadores y técnicos, indican que la mayor frecuencia de mantenimiento es semestral con el 42 %, mantenimiento mensual con el 25 %, mantenimiento semanal con el 17 %, mantenimiento diario y anual con el 8 %. Los datos reflejan que la mayoría de actividades de mantenimiento en los procesos de educación continua, son de forma semestral, considerando esta particularidad, la propuesta investigativa debe motivar a una planeación en la gestión del mantenimiento y ajustarse a las necesidades actuales de la dirección.

Pregunta 4: ¿En qué horario realiza las actividades de mantenimiento?

Tabla 4.8. Horarios de mantenimiento.

Pregunta 4	Frecuencia	Porcentaje
Mañana	5	56%
Tarde	3	33%
Noche	1	11%
Total	9	100%

Elaborado por: El investigador.

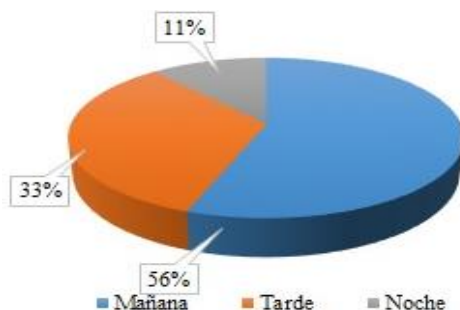


Gráfico 4.8. Horarios de mantenimiento.

Elaborado por: El investigador.

Análisis e interpretación de resultados

La encuesta muestra que el horario escogido para las actividades mantenimiento es la mañana con el 56 %, tarde 33 %, noche 11 %. Estos horarios deben ser considerados y en ciertos casos modificados para la programación del mantenimiento, con el fin de no afectar la continuidad de los procesos, así como las actividades administrativas y operativas del personal DEaDV.

Pregunta 5: ¿Qué tiempo destina a las actividades de mantenimiento?

Tabla 4.9. Tiempo en actividades de mantenimiento.

Pregunta 5	Frecuencia	Porcentaje
1 a 2 horas	4	44%
2 a 4 horas	4	45%
5 a 10 horas	1	11%
Total	9	100%

Elaborado por: El investigador.



Gráfico 4.9. Tiempo en actividades de mantenimiento.

Elaborado por: El investigador.

Análisis e interpretación de resultados

La encuesta indica que el tiempo destinado para las actividades mantenimiento está en el siguiente orden: 2 a 4 horas 45 %, 1 a 2 horas 44 %, 5 a 10 horas 11 %. El tiempo preferido para la realización de actividades de mantenimiento está en un intervalo de 1 a 4 horas con un 89 %. Por tanto, se debe considerar un tiempo promedio de lo investigado, para ejecutar acciones eficientes y efectivas en el mantenimiento de equipos DEaDV.

Pregunta 6: ¿Cuál o cuáles medios o herramientas utiliza para realizar actividades de mantenimiento?

Tabla 4.10. Medios o Herramientas utilizadas para el mantenimiento.

Pregunta 6	Frecuencia	Porcentaje
Herramientas para computador	5	31%
Herramientas eléctricas	2	13%
Software (Antivirus, instaladores)	8	50%
Otros (Seguridades)	1	6%
Total	16	100%

Elaborado por: El investigador.



Gráfico 4.10. Medios o Herramientas utilizadas para el mantenimiento.

Elaborado por: El investigador.

Análisis e interpretación de resultados

De acuerdo a los ítems consultados en la encuesta, los medios mayormente utilizados para el mantenimiento son: programas (software antivirus e instaladores) con el 50 %, herramientas para computador (brochas, desarmadores, paños de limpieza, pinzas, spray, etc.) con el 31 %, herramientas eléctricas (cautín, soplador, taladro) con el 13 % y otros (seguridades) con un 6 %. Estos datos evidencian que no se consideran instrumentos de medida (multímetro, osciloscopio), indispensables y muy útiles para el mantenimiento de equipos eléctricos y electrónicos. Por ende, es importante asesorar en el uso de instrumentos de medida para un control eficiente y efectivo en las tareas de mantenimiento.

Pregunta 7: ¿Cree Usted que la gestión de mantenimiento ayuda a la continuidad y vida útil de los equipos?

Tabla 4.11. La gestión de mantenimiento extiende la vida útil de equipos.

Pregunta 7	Frecuencia	Porcentaje
Sí	9	100%
No	0	0%
Total	9	100%

Elaborado por: El investigador.

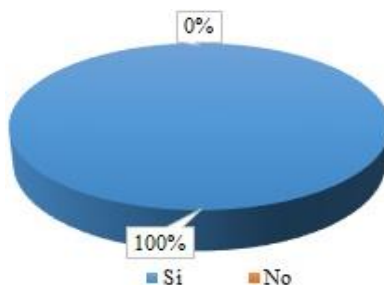


Gráfico 4.11. La gestión de mantenimiento extiende la vida útil de equipos.

Elaborado por: El investigador.

Análisis e interpretación de resultados

De acuerdo a la encuesta aplicada, se observa que el personal DEaDV, en su totalidad 100 %, cree que la gestión de mantenimiento ayuda en la continuidad y vida útil de los equipos. Resultado de lo analizado se justifica respaldar las labores de mantenimiento para extender la operatividad de los equipos.

Pregunta 8: ¿Considera Usted que es necesario un sistema de control para predecir el mantenimiento de los equipos?

Tabla 4.12. Necesidad de un sistema de control para predecir mantenimiento de los equipos.

Pregunta 8	Frecuencia	Porcentaje
Sí	8	89%
No	1	11%
Total	9	100%

Elaborado por: El investigador.



Gráfico 4.12. Necesidad de un sistema de control para predecir mantenimiento de los equipos.

Elaborado por: El investigador.

Análisis e interpretación de resultados

De la encuesta efectuada al personal DEaDV, sobre la necesidad de un sistema de control para predecir el mantenimiento de los equipos, el 89 % está de acuerdo, un 11 % no lo considera. Los resultados con un alto porcentaje evidencian que la implementación de un sistema de control de mantenimiento prevendrá posibles alteraciones a la continuidad del funcionamiento de los equipos.

Pregunta 9: ¿Conoce Usted lo qué es la termografía o captura de imágenes térmicas a distancia?

Tabla 4.13. Conocimiento de la termografía.

Pregunta 9	Frecuencia	Porcentaje
Sí	4	44%
No	5	56%
Total	9	100%

Elaborado por: El investigador.

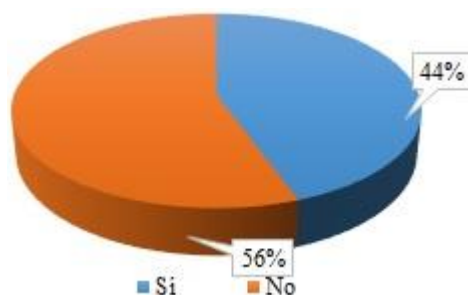


Gráfico 4.13. Conocimiento de la termografía.

Elaborado por: El investigador.

Análisis e interpretación de resultados

De los resultados obtenidos de la encuesta, se observa que el 56 % no conoce del procedimiento de la termografía, un 44 % tiene conocimiento de esta ciencia. Esto apunta a que se debe capacitar al personal DEaDV, para que adquiera competencias y luego puedan realizar procedimientos técnicos de la aplicación termográfica; con lo que puedan emitir sugerencias para mantener la calidad y continuidad de los equipos.

Pregunta 10: ¿Considera Usted que la alta temperatura es un factor que afecta la funcionalidad de dispositivos, equipos y sistemas electrónicos?

Tabla 4.14. La alta temperatura afecta la funcionalidad de dispositivos, equipos y sistemas electrónicos.

Pregunta 10	Frecuencia	Porcentaje
Sí	7	78%
No	2	22%
Total	9	100%

Elaborado por: El investigador.

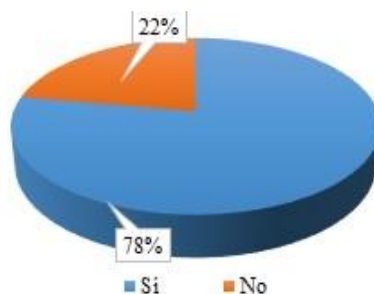


Gráfico 4.14. La alta temperatura afecta la funcionalidad de dispositivos, equipos y sistemas electrónicos.

Elaborado por: El investigador.

Análisis e interpretación de resultados

De acuerdo a los resultados obtenidos, un 78 %, del personal DEaDV considera que la alta temperatura es un factor que afecta la funcionalidad de dispositivos, equipos y sistemas electrónicos; mientras que el 22 % no lo cree así. Por tanto, será ventajoso contar con un sistema de control que detecte alteraciones de temperatura en los equipos electrónicos.

Pregunta 11: ¿Encuentra conveniente que un sistema de termografía asista al mantenimiento de los equipos electrónicos?

Tabla 4.15. Sistema de termografía asista al mantenimiento de los equipos electrónicos.

Pregunta 11	Frecuencia	Porcentaje
Sí	5	56%
No	4	44%
Total	9	100%

Elaborado por: El investigador.

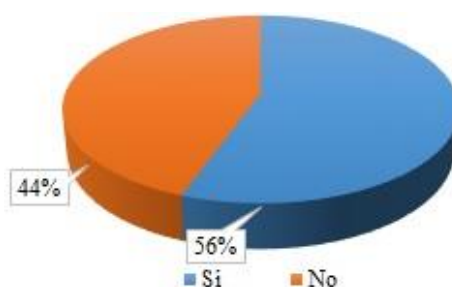


Gráfico 4.15. Sistema de termografía asista al mantenimiento de los equipos electrónicos.

Elaborado por: El investigador.

Análisis e interpretación de resultados

El personal DEaDV considera en un 56 % beneficioso utilizar un sistema de termografía que asista al mantenimiento de los equipos electrónicos; el 44 % desconoce de las bondades que puede brindar el sistema en las labores de mantenimiento de equipos. Por lo que resulta importante, explicar la operatividad de este sistema de control para la asistencia en el mantenimiento.

Pregunta 12: ¿Cree Usted que las imágenes térmicas en tres dimensiones favorezcan las labores de mantenimiento de los equipos electrónicos?

Tabla 4.16. La termografía 3D favorece las labores de mantenimiento de los equipos electrónicos.

Pregunta 12	Frecuencia	Porcentaje
Sí	5	56%
No	4	44%
Total	9	100%

Elaborado por: El investigador.

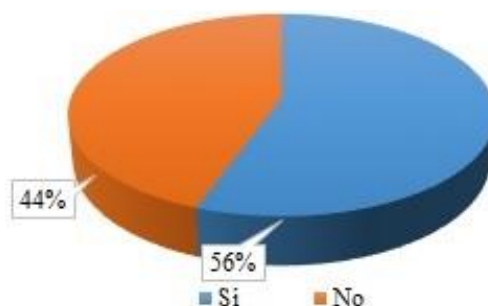


Gráfico 4.16. La termografía 3D favorece las labores de mantenimiento de los equipos electrónicos.

Elaborado por: El investigador.

Análisis e interpretación de resultados

Al igual que la interrogante anterior, el personal DEaDV cree en un 56 % ventajoso utilizar imágenes térmicas en tres dimensiones para las labores de mantenimiento de los equipos electrónicos; el 44 % por el desconocimiento o complejo que puede resultar el manejo del sistema de termografía no lo considera esencial. Por tanto, es necesario ilustrar este tipo de procedimientos para la aplicación del mismo, en el mantenimiento de los equipos de la dirección.

4.2. Verificación de hipótesis

La encuesta aplicada al personal que labora en la Dirección de Educación a Distancia y Virtual de la Universidad Técnica de Ambato proporciona datos útiles que son base de la información para la verificación de la hipótesis.

Hipótesis nula (H₀)

H₀: Un sistema de control de termografía 3D *no* incidirá en el mantenimiento predictivo de los equipos de la dirección de educación a distancia y virtual.

Hipótesis alternativa (H₁)

H₁: Un sistema de control de termografía 3D *si* incidirá en el mantenimiento predictivo de los equipos de la dirección de educación a distancia y virtual.

Modelo estadístico

Para verificar la hipótesis de *independencia de dos variables*, se puede usar el procedimiento de la ecuación 1, que corresponde a la **prueba de ji-cuadrado (χ^2)**.

$$\chi^2 = \sum_i \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i} \quad (1)$$

Donde:

χ^2 : Valor a calcularse de χ_i cuadrado.

\sum : Sumatoria

o : Frecuencia observada

e : Frecuencia esperada

(Walpole, Myers, Myers, & Ye, 2012)

Datos estadísticos

Para la resolución de la hipótesis estadística estipulada, se han escogido las preguntas 7, 8, 11 y 12 del cuestionario planteado; estas interrogantes relacionan la variable independiente con la variable dependiente y se trabaja con las frecuencias observadas que se definen en la tabla 4.17.

Tabla 4.17. Frecuencia observada.

Preguntas	Sí	No	Total
Pregunta 7	9	0	9
Pregunta 8	8	1	9
Pregunta 11	5	4	9
Pregunta 12	5	4	9
Total	27	9	36

Elaborado por: El investigador.

Las frecuencias observadas, deben ajustarse a las frecuencias esperadas mediante la ecuación 2:

$$e = \frac{(\text{Total marginal de renglones}) \times (\text{Total marginal de columnas})}{\text{Gran total}} \quad (2)$$

En la tabla 4.18, se observa el cálculo de las frecuencias esperadas de las preguntas analizadas del cuestionario.

Tabla 4.18. Frecuencia esperada.

Preguntas	Sí	No	Total
Pregunta 7	6,75	2,25	9
Pregunta 8	6,75	2,25	9
Pregunta 11	6,75	2,25	9
Pregunta 12	6,75	2,25	9
Total	27	9	36

Elaborado por: El investigador.

Grados de libertad

El número de grados de libertad (gl), se asocia con la prueba χ^2 , y para su cálculo se utiliza la ecuación 3:

$$gl = (r - 1) \times (c - 1) \quad (3)$$

Donde:

r; renglones de la tabla de la frecuencia esperada.

c: columnas de la tabla de la frecuencia esperada.

Cálculo de los grados de libertad:

$$\begin{aligned}gl &= (r - 1) \times (c - 1) \\gl &= (4 - 1) \times (2 - 1) \\gl &= 3 \times 1 \\gl &= 3\end{aligned}$$

Nivel de significación

El nivel de significancia (α), es el *error tipo I*, que se puede cometer al rechazar la hipótesis nula siendo verdadera. Para el trabajo investigativo se utilizará un valor de 5 %, por el número de observaciones realizadas y convencionalmente es el valor más utilizado.

$$\alpha = 5 \% \Rightarrow 0,05$$

Determinación del valor χ^2_{Tabla}

Para encontrar el valor χ^2_{Tabla} , se aplica el programa Excel y la función *PRUEBA.CHI.INV* (*probabilidad; grados de libertad*). En este caso la probabilidad corresponde a α .

Datos para ingresar en la función:

$$gl = 3$$

$$\alpha = 0,05$$

$$=PRUEBA.CHI.INV(0,05; 3)$$

$$\Rightarrow \chi^2_{Tabla} = 7,8147279$$

Cálculo de χ^2

Tabla 4.19. Frecuencia observada (o), frecuencia esperada (e) y prueba χ^2 .

Preguntas	Opción	o Frecuencias observadas	e Frecuencias esperadas	(o-e) ² /e
Pregunta 7	Sí	9,00	6,75	2,53125
	No	0,00	2,25	2,53125
Pregunta 8	Sí	8,00	6,75	0,78125
	No	1,00	2,25	0,78125
Pregunta 11	Sí	5,00	6,75	1,53125
	No	4,00	2,25	1,53125
Pregunta 12	Sí	5,00	6,75	1,53125
	No	4,00	2,25	1,53125
$\chi^2_{\text{Calculada}} =$				12,75

Elaborado por: El investigador.

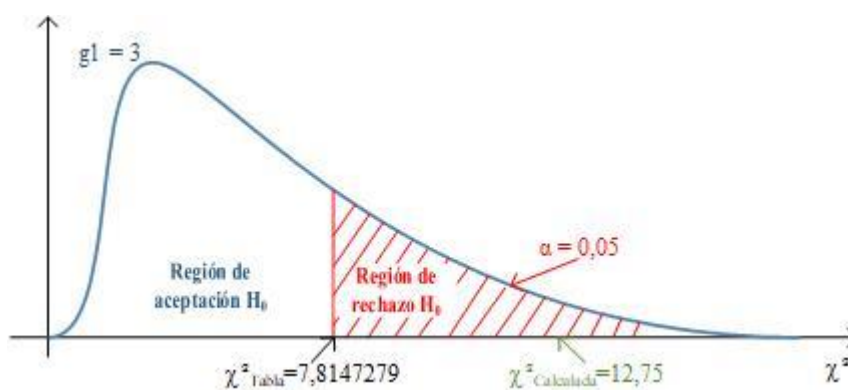


Gráfico 4.17. Prueba de χ^2 .
Elaborado por: El investigador.

Conclusión:

Como el valor $\chi^2_{\text{Calculado}} = 12,75 > \chi^2_{\text{Tabla}} = 7,815$ y de conformidad a lo establecido en la *regla de decisión*, se rechaza la hipótesis nula y **se acepta la hipótesis alternativa**, es decir, un sistema de control de termografía 3D *si* incidirá en el mantenimiento predictivo de los equipos de la dirección de educación a distancia y virtual.

Adicionalmente, al *análisis e interpretación de resultados*, se considera la información correspondiente al *Plan de Mantenimiento UTA*. Este plan de mantenimiento se lo viene ejecutando desde el año 2016 a cargo de la Dirección de Tecnología de la Información y Comunicación (DITIC). Esta dependencia administrativa es la encargada de la planificación y elaboración de las políticas, procedimientos y acompañamiento institucional en materia de Tecnologías de la Información y Comunicación. Para el caso

la DITIC, ha desarrollado planes de mantenimiento preventivo y correctivo para todos los equipos computacionales de la UTA, con el fin de garantizar continuidad a las operaciones académicas y administrativas que involucren el uso de equipos computacionales y según el Estatuto Universitario vigente, en el capítulo 6 artículo 130 literal o; en atribuciones y responsabilidades de la DITIC, deben elaborar, aprobar, y ejecutar el *plan de mantenimiento* de hardware y software institucional.

Dentro de los objetivos del *plan de mantenimiento* desarrollado por la DITIC, se determina lo siguiente:

- Obtener un rendimiento óptimo en los equipos computacionales de la UTA, con la finalidad de garantizar la continuidad de las operaciones académicas, investigativas, administrativas y de vinculación en beneficio del colectivo universitario.
- Diagnosticar las condiciones generales de cada equipo computacional de la Institución, las condiciones de operación para identificar posibles daños ocasionales por falta de mantenimiento.
- Mantener en óptimas condiciones de operatividad los equipos de cómputo y así mejorar su rendimiento y alargar su vida útil.
- Ejecutar el *plan de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo* de hardware y software de los equipos computacionales de la UTA.
- Detallar los recursos a utilizar en el mantenimiento del hardware y software, estableciendo un listado de requerimientos básicos.
- Diseñar un *cronograma de trabajo para el mantenimiento* de hardware y software de los equipos computacionales en cada unidad informática de la UTA y del DITIC.
(DITIC-UTA, 2016)

La DITIC y las Unidades de Informática de la UTA en cada dependencia, a más de los objetivos indicados, consideran los tipos de mantenimiento explicados en el *Reglamento General Sustitutivo para el Manejo y Administración de Bienes del Sector Público, Artículo 99*, señalando las clases de mantenimiento y el término mantenimiento que se entenderá como:

- *Mantenimiento correctivo*, que es el conjunto de procedimientos utilizados para reparar una máquina o equipo ya deteriorados. Mediante el mantenimiento

correctivo no solo se repara maquinaria ya deteriorada sino que se realizan ajustes de equipos cuyos procesos evidentemente tienen fallas.

- *Mantenimiento preventivo*, que es la inspección periódica de máquinas y equipos, para evaluar su estado de funcionamiento, identificar fallas, prevenir y poner en condiciones el equipo para su óptimo funcionamiento, limpieza, lubricación y ajuste. Es también en este tipo de mantenimiento, en el que se reemplazan piezas para las cuales el fabricante del equipo ha identificado que tienen un número específico de horas de servicio.
- *Mantenimiento predictivo*, que consiste en el monitoreo continuo de máquinas y equipos con el propósito de detectar y evaluar cualquier pequeña variación en su funcionamiento, antes de que se produzca una falla.

(Contraloría General del Estado, 2014)

Estas definiciones de la reglamentación expuesta, se han adaptado al mantenimiento y normativas internas de la UTA, como se detalla a continuación:

- *Mantenimiento correctivo*, consiste en corregir fallas o problemas de hardware y/o software, con el objetivo de restablecer la operatividad de los equipos o instalaciones.
- *Mantenimiento preventivo*, consiste en la revisión periódica de ciertos aspectos, tanto de hardware como de software que influyen en el desempeño fiable del sistema garantizando la integridad de datos y el correcto intercambio de información.
- *Mantenimiento predictivo*, consiste en el monitoreo continuo de máquinas y equipos con el propósito de detectar y evaluar cualquier pequeña variación en su funcionamiento, antes de que se produzca la falla.

(DITIC-UTA, 2016)

Las actividades de mantenimiento que se viene ejecutando en todas las dependencias de la UTA, no contemplan la gestión del mantenimiento predictivo, con la asistencia de equipos y/o sistemas de termografía. Actualmente, el no considerar equipos o sistemas de termografía se convierte en una seria deficiencia del mantenimiento y principalmente en los equipos computacionales. Puesto que, la termografía es una herramienta visual

que registra gráficamente la temperatura sin necesidad de un contacto; y facilita las labores del mantenimiento.

Otra de las dificultades técnicas del mantenimiento, es no abordar *indicadores* necesarios para la continuidad y disponibilidad de los equipo de cómputo. Por lo dicho y relacionado, *el sistema de control de termografía 3D, sí aportará a las actividades de mantenimiento predictivo de los equipos computacionales de la DEaDV*. Asimismo complementará labores de registro, cronograma y planificación del mantenimiento.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al finalizar el trabajo relacionado con la necesidad de desarrollar el Sistema de Control de Termografía 3D y su incidencia en el Mantenimiento Predictivo de los Equipos de la Dirección de Educación a Distancia y Virtual, se determinan las siguientes conclusiones y recomendaciones:

5.1. Conclusiones

- El trabajo investigativo, determinó la necesidad del mantenimiento predictivo en los equipos de la Dirección de Educación a Distancia y Virtual (DEaDV), para lo cual el sistema de control de termografía 3D, facilita las acciones que deben realizarse con el objetivo de evitar paradas inesperadas de las actividades académicas virtuales, así como prolongar la vida útil de dispositivos e instrumentos electrónicos del proceso en mención.
- La automatización y sistemas de control, hoy en día se han vuelto imperativos en los procesos productivos, puesto que facilitan y optimizan el control/supervisión en una organización. Además se debe considerar que los resultados en las aplicaciones y procedimientos son inmediatos y determinantes cuando están configurados y en puesta a punto.
- La investigación, determinó desconocimiento en ciertos aspectos de la gestión del mantenimiento, siendo conveniente instruir temáticas que fortalezcan competencias básicas para las tareas de mantenimiento.
- El sistema de control de termografía 3D, mediante el software de procesamiento permitirá procesar las imágenes, así como crear informes para su análisis y toma de decisiones en el mantenimiento preventivo y predictivo, facilitando las actividades del personal del DEaDV.

- El personal DEaDV valora la asistencia técnica de un sistema que permita prevenir y predecir posibles averías de los equipos electrónicos, con lo que se optimizarán procesos y actividades de la gestión departamental.
- La gestión de mantenimiento es necesaria en todos los procedimientos automáticos; tomando mayor importancia en los procesos continuos, en donde se precisa confiabilidad y permanencia en los servicios, tal es el caso para las actividades de la educación continua.
- Los indicadores de la gestión de mantenimiento, permitirán tomar las mejores acciones y decisiones para la continuidad de los procesos, así como considerar la importancia del mantenimiento predictivo en la prolongación de la vida útil de equipos y/o dispositivos computacionales. Siendo las imágenes termográficas 2D y 3D indicadores confiables y de gran valía para la gestión y ejecución del mantenimiento.

5.2. Recomendaciones

- Es necesario implementar el sistema de control de termografía 3D, para mejorar la gestión y procesos de mantenimiento de los equipos computacionales a cargo de la DEaDV.
- Es preciso contar con la documentación de todos los equipos y sistemas que conforman la dirección; esto permitirá determinar una planificación, frecuencia y duración en las tareas de mantenimiento; contribuyendo a una eficiente gestión de mantenimiento.
- Se debe analizar temáticas con competencias básicas para la gestión del mantenimiento; paralelamente conviene motivar la utilización de instrumentos de medida que permitan mejorar los procedimientos del mantenimiento.

- Utilizar la termografía y las imágenes térmicas cuando se tienen dudas sobre el estado del equipo. Adicionalmente se lo puede usar para supervisar y determinar períodos de mantenimiento del equipo.
- Es necesario que el personal técnico de la DEaDV, se capacite en el análisis de termografía para una correcta utilización del sistema de termografía 3D, y poder realizar de forma segura y eficiente las actividades de mantenimiento. Además se debe considerar normas y procedimientos técnicos estandarizados de la termografía.
- Para realizar la inspección térmica, el personal de mantenimiento debe conocer las etapas planificadas a supervisar, con lo que se identifica la eficiencia del sistema y los posibles riesgos de seguridad.
- El personal encargado del mantenimiento predictivo, con la asistencia del sistema de termografía 3D, debe estar capacitado para realizar el análisis, almacenamiento y documentación de los resultados para poder emitir informes cualificados. Esta competencia es útil para poder registrar el historial de equipos, sugerir posibles acciones tras la inspección, desarrollar acciones que permitan mantener calidad y homogeneidad en el mantenimiento predictivo.
- Reconocer la importancia de los indicadores de la gestión del mantenimiento predictivo, puesto que ayudarán a tomar las mejores decisiones tanto para la prolongación de la vida útil de los equipos, como disminuir la probabilidad de fallo en la continuidad de los procesos.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1. Datos informativos

Título: Implementación de un sistema de control de termografía 3D para el mantenimiento predictivo de los equipos de la Dirección de Educación a Distancia y Virtual.

Institución ejecutora: Dirección de Educación a Distancia y Virtual de la Universidad Técnica de Ambato (DEaDV - UTA).

Beneficiarios: Dirección de Educación a Distancia y Virtual.

Ubicación

Provincia: Tungurahua

Ciudad : Ambato

Lugar : Edificio Épsilon – Campus Huachi

Dirección: Avenida Los Chasquis y Río Payamino

Tiempo estimado de ejecución: Seis meses desde la aprobación del tema.

Equipo técnico responsable:

Investigador: Ingeniero Luis Flores

Personal de TIC de la Dirección de Educación a Distancia y Virtual.

Costo: El costo estimado para el desarrollo y ejecución del trabajo investigativo es 8.000 USD.

6.2. Antecedentes de la propuesta

Las empresas e industrias se proyectan a los procesos automatizados; por las nuevas oportunidades y beneficios que brindan en la producción. Sin embargo, esto motiva a replantearse procedimientos para la continuidad de sus sistemas productivos. Este escenario vincula áreas como la automatización, control de procesos, gestión del mantenimiento, entre otras ciencias tecnológicas de actualidad.

Esto ha dado paso a estudios aplicados a la industria, así como a los servicios únicos que cumplen funciones determinadas. El trabajo investigativo se apoyado en proyectos de solución de termografía, imágenes 3D e infrarrojas, visión artificial, redes neuronales artificiales, y normas del mantenimiento predictivo de lo más importante.

Estos ejemplos, han permitido sustentar el trabajo investigativo, que integra a los sistemas de control con la gestión mantenimiento predictivo. Además de la posibilidad de anticipar y administrar soluciones a dificultades que pueden presentarse en los equipos electrónicos de la DEaDV. Estas acciones de mantenimiento disminuirán fallos en los procesos académicos aportando una gestión eficiente.

6.3. Justificación

El diseño y desarrollo del sistema de control de termografía 3D para el mantenimiento predictivo de los Equipos de la DEaDV, beneficiará a la confiabilidad de los equipos que manejan la información y a la continuidad de los procesos académicos.

El sistema de control por medio del software de procesamiento vinculado a la cámara térmica facilitará adquisición y el análisis de imágenes e información resultante del proceso y equipos inspeccionados.

Estudios realizados por el Programa Federal de Administración de Energía (*Federal Energy Management Program* [FEMP]) estiman que un programa de mantenimiento predictivo que funcione correctamente puede proporcionar un ahorro del 30% al 40% sobre el mantenimiento correctivo (Fluke Corporation, 2010). Otras encuestas independientes indican que iniciar un programa de mantenimiento predictivo industrial proporciona los siguientes resultados en promedio de ahorro:

- Retorno de la inversión: 10 veces.
- Reducción en los costos de mantenimiento: 25% a 30%.
- Eliminación de averías: del 70% al 75%.
- Reducción del tiempo de inactividad: del 35% al 45%.
- Incremento en producción: 20% a 25%.

(Fluke Corporation, 2010)

6.4. Objetivos

Objetivo General

Implementar un sistema de control de termografía 3D para el mantenimiento predictivo de los equipos de la Dirección de Educación a Distancia y Virtual.

Objetivos Específicos

- Seleccionar las herramientas y metodología conveniente en el interfaz aplicativo de visualización de termográfica 3D.
- Diseñar el sistema de control de termografía 3D para el mantenimiento predictivo de los equipos de la Dirección de Educación a Distancia y Virtual.
- Desarrollar la estructura del sistema de control de termografía 3D para el mantenimiento predictivo de los equipos de la Dirección de Educación a Distancia y Virtual.
- Aplicar el sistema de control de termografía 3D para el mantenimiento predictivo de los equipos de la Dirección de Educación a Distancia y Virtual.

6.5. Análisis de factibilidad

Tecnológica

La factibilidad tecnológica se debe a que el investigador acredita conocimientos técnicos, normativas, procedimientos del mantenimiento predictivo y sistemas de control. Además se cuenta con el software y el hardware que permiten el desarrollo del sistema de control de termografía 3D.

Organizacional

La factibilidad organizacional, se debe a que las acciones del mantenimiento predictivo pueden ser dirigidas por la Dirección quien gestiona las actividades con las áreas de trabajo administrativo, sistemas, pedagogía y contenidos. A continuación, en la gráfica 6.1, se observa la estructura organizacional de la DEDV.

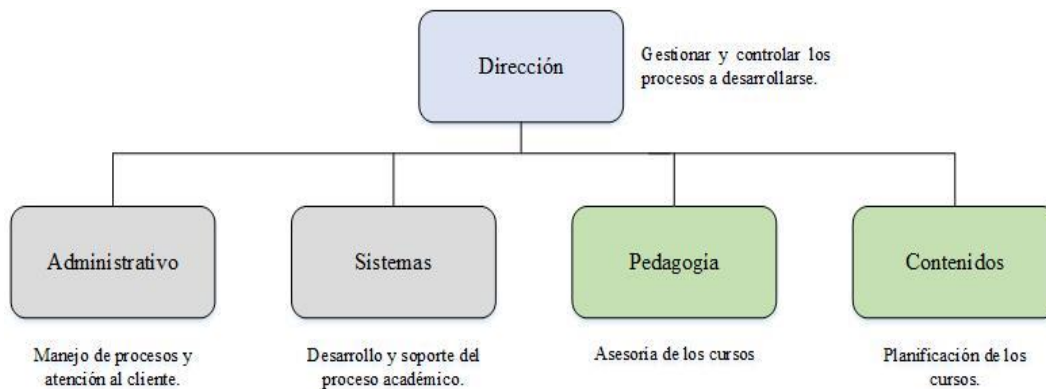


Gráfico 6.1. Estructura organizacional DEaDV.
Elaborado por: El investigador.

Económica–financiera

La financiación e inversión económica de la investigación está a cargo del autor Ingeniero Luis Danilo Flores Rivera.

6.6. Fundamentación científico-técnica

Visión artificial aplicada a la termografía en el sector industrial

La evolución industrial 4.0, promueve proyectos que tienen que ver con el análisis de datos para la mejora de la producción, la logística o la calidad (Gestamp, 2017). A medida que la industria se va automatizando, la visión artificial evoluciona a una mayor precisión, capacidad y accesibilidad, favoreciendo así la posibilidad de resolver aplicaciones cada vez más sofisticadas. Los sistemas de visión artificial infrarroja pueden detectar automáticamente variaciones y gradientes de temperatura en mecanismos y tarjetas electrónicas en tiempo real. Esto permite integración en pruebas funcionales para equipos de prueba automático (Infaimon, 2012). Cuando se usan cámaras de visión relacionadas con la medición de temperaturas se puede trabajar con dos tipologías diferentes de imágenes: las termográficas y las térmicas. Las termográficas proporcionan una medida exacta del valor de temperatura real de los objetos. Además forman un mapa de la temperatura de los objetos y normalmente son datos en bruto que se han de procesar y no se pueden visualizar directamente. Las térmicas, son imágenes cualitativas que representa la escena captada, las diferencias de temperatura existente, pero sin ser capaces de determinar la temperatura exacta de un punto concreto de la misma (Isasi Andrieu, Artech Vicario, & Araquistain, 2014).

Termografía

Técnica aplicada al uso de equipos óptico-electrónicos para localizar y medir la radiación a partir de la cual se obtiene la temperatura de las superficies bajo análisis (Fluke Corporation y The Snell Group, 2016). A continuación se señalan motivos por el cual resulta útil la termografía.

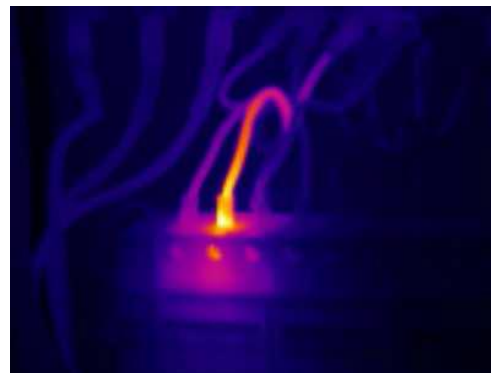
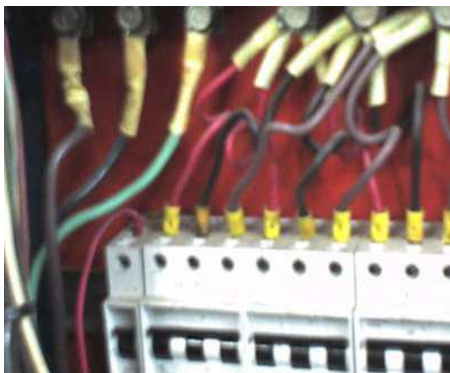
- a. Es una medida *actual*, en tiempo real, es decir, se puede visualizar el objeto con el cambio inmediatamente, sin inercias ni actualizaciones.
- b. *No es invasiva*, es decir, se mide sin contacto directo, evitando por medio de la distancia el peligro que puede producirse al realizarse una inspección termográfica.
- c. Es *bidimensional*, es decir, se puede medir la temperatura en dos o más puntos de un mismo objeto en el mismo instante.
- d. Es *multidisciplinar*, las imágenes no solo exteriorizan la temperatura, sino también denotan patrones térmicos, comportamientos, anomalías, etc.

(Fundación de la Energía de la Comunidad, 2011)

Características de la termografía

Como características de la termografía se tiene lo siguiente:

- Permite observar patrones térmicos utilizando cámaras especialmente desarrolladas.
- Instrumentos que crean imágenes térmicas a partir de la energía de radiación infrarroja (*Infrared Radiation* [IR]). Esta información corresponde a la medida de la temperatura.



a. Conexiones de contactos en luz visible. b. Conexiones de contactos en luz invisible infrarroja.

Gráfico 6.2. Análisis de termografía IR. (VIDITEC S.A., 2014)

Infrarrojo

El ojo humano detecta radiación electromagnética en el espectro de luz visible. Cualquier otro tipo de radiación electromagnética, como *la infrarroja*, es invisible para la vista humana. El astrónomo Sir Frederick William Herschel descubrió la existencia de la IR en 1800. Su interés por la diferencia térmica entre los distintos colores de la luz le permitió experimentar con la luz solar a través de un prisma de cristal, creando un espectro y luego medir la temperatura de cada color. Evidenció que dichas temperaturas crecían en progresión desde la parte violeta hacia la roja. Este patrón, se midió más allá de la parte roja del espectro, en una región sin luz solar visible, mostrando una región con temperatura más alta (Alava Ingenieros, 2011).

En la gráfica 6.3, se observa el espectro electromagnético describiendo la región infrarroja.

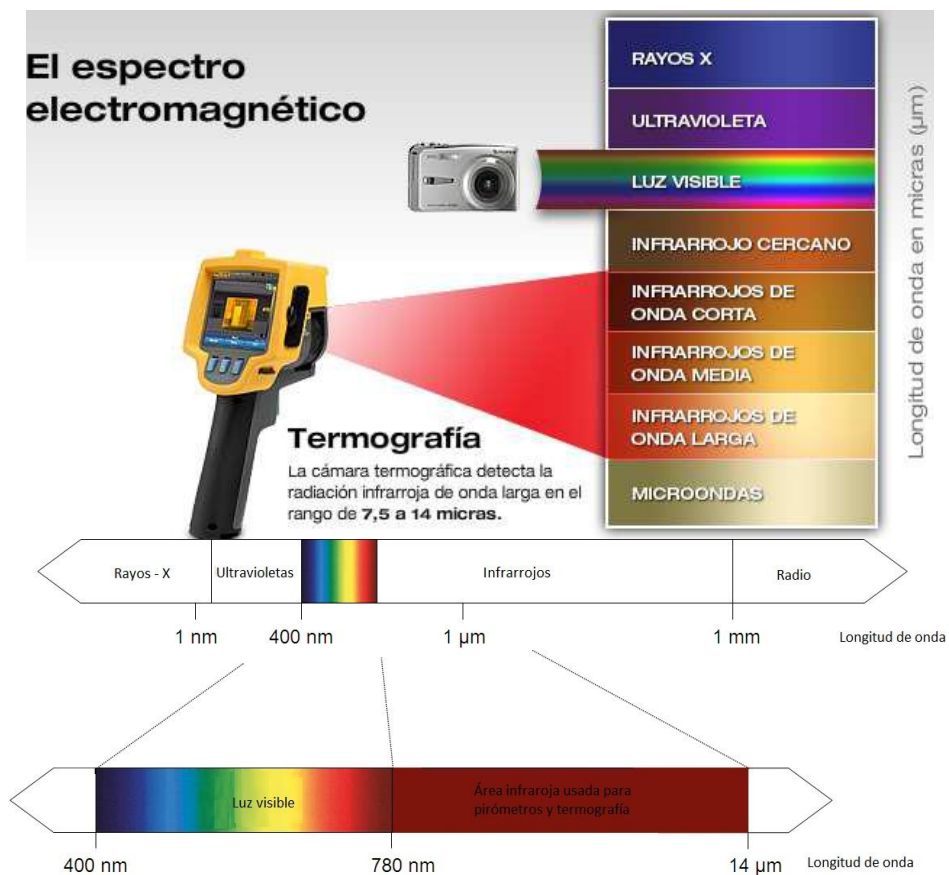


Gráfico 6.3. Espectro electromagnético clasificado por longitud de onda. (RS Components, 2015) (Optris GmbH, 2016)

Además se observa que los infrarrojos, están en medio del espectro electromagnético entre luz visible y las microondas. La fuente principal de la radiación infrarroja es la radiación térmica. Cualquier objeto con una temperatura superior al cero absoluto (-273,15° C o 0 Kelvin) emite radiación en la región infrarroja. (Alava Ingenieros, 2011).

Hoy en día, con la ayuda de una cámara termográfica, se detecta patrones térmicos en el espectro de la longitud de onda infrarroja (invisible) y sin contacto; la información térmica que emiten los objetos identifica anomalías de dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos en operaciones normales; observándose áreas con posibilidad de averías o áreas con demasiada pérdida de calor, que comúnmente son síntomas de desperfectos (Castillo, 2010).

Radiación infrarroja

La radiación infrarroja establece las siguientes características:

- La IR irradiada no es visible al ojo humano, pero puede sentirse a través de la piel.
- La IR se encuentra entre el espectro visible y las microondas.
- Sin importar su temperatura todos los objetos emiten IR.
- La intensidad de la radiación depende de la temperatura.
- Una cámara convierte la “imagen infrarroja” en una imagen visible.

Transferencia de energía

La transferencia de energía establece las siguientes características:

- La energía calórica siempre circula desde el punto más caliente hacia el más frío hasta lograr el equilibrio.
- En la termografía el equilibrio calórico no aporta información de importancia.
- La transferencia de calor posibilita mayor información al análisis termográfico.
- La transferencia de calor en *estado estacionario*, es cuando el flujo de calor es permanente en el tiempo. Cabe indicar que es una condición poco frecuente, pero puede suponer un instante concreto o cuando hay condiciones estables, sin cambio de temperatura y con flujo de calor constante, es decir, las potencias de calor y enfriamiento son iguales (Fundación de la Energía de la Comunidad, 2011).

- La transferencia de calor en *estado transitorio*, es cuando la temperatura y de flujo de calor cambian constante y significativamente. (VIDITEC S.A., 2014)

Calor: Es la transferencia de energía entre distintos cuerpos o distintas zonas de un mismo cuerpo que tienen diferentes temperaturas. La transferencia siempre ocurre desde el cuerpo que tiene mayor temperatura hacia el cuerpo que tiene menor temperatura; la transmisión de calor se genera hasta que ambos cuerpos se encuentren en equilibrio térmico (Fundación de la Energía de la Comunidad, 2011).

- Todos los cuerpos calientes ($T > -273^{\circ} \text{C}$) emiten energía radiante.
- La energía radiante se transmite como ondas electromagnéticas (no requieren de un medio material para su propagación) de diferentes longitudes de onda.
- Otro segundo cuerpo puede recibir esta energía radiada, y calentarse.

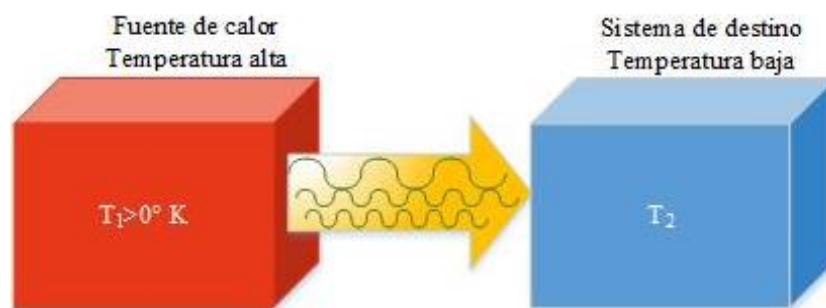


Gráfico 6.4. Transferencia de energía. (RS Components, 2015)

Temperatura: Es la magnitud de un sistema termodinámico y que se refiere a la energía interna asociada con las partículas del sistema y su movimiento. Sus escalas de medida son Kelvin (K) o grados Celsius ($^{\circ} \text{C}$). (Fundación de la Energía de la Comunidad, 2011)

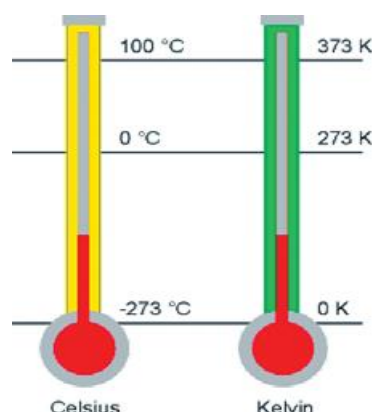


Gráfico 6.5. Comparación de escalas de temperatura Celsius y Kelvin. (Fundación de la Energía de la Comunidad, 2011)

Leyes de la Termodinámica

El comportamiento del calor relaciona las siguientes leyes:

Ley de la conservación de la energía: la suma de la energía total contenida en un sistema cerrado permanecerá constante. Esto es también conocido como el principio de conservación de la energía (la energía ni se crea ni se destruye, sólo se transforma).

Ley de transferencia del calor: el calor se transfiere espontáneamente desde las zonas más calientes a las zonas más frías.

Métodos de transferencia de calor

Hay tres formas de transferencia de calor, a continuación se definen cada una de ellas:

- La *conducción de calor* (sólidos): Es un mecanismo de transferencia de energía térmica entre dos sistemas por contacto directo de sus partículas sin flujo neto de materia y que tiende a igualar la temperatura dentro de un cuerpo y entre diferentes cuerpos en contacto por medio de ondas.
- La *convección de calor* (fluido y gases): Se produce por medio de un fluido (aire, agua) que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas.
- La *radiación de calor* (ondas electromagnéticas): Es la transmisión de calor por emisión y absorción de radiación térmica.

(Fundación de la Energía de la Comunidad, 2011)

La gráfica 6.6 ilustra los métodos de transferencia de calor:

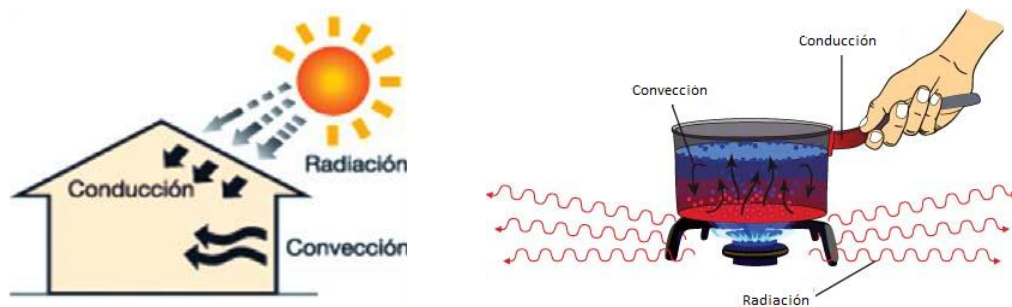


Gráfico 6.6. Transferencia de calor. (Fundación de la Energía de la Comunidad, 2011) (udaix, 2016)

Conducción de calor

La *conducción de calor*, es cuando dos moléculas de diferentes objetos o cuerpos se acercan y entran en contacto, la que tiene mayor temperatura tendrá mayor movimiento en sus moléculas y transferirá parte de esa energía a las moléculas que se mueven más lentamente por choques entre ellas. La conducción se produce en sólidos y los fluidos (líquidos y gaseosos), aunque se caracteriza y facilita en los sólidos por la vibración que se transmite entre partículas. (Fundación de la Energía de la Comunidad, 2011)

Como *características de la conducción* se tiene lo siguiente:

- Transferencia de calor de una molécula a otra en los sólidos y no siempre en los líquidos.
- A altas temperaturas las moléculas vibran rápidamente y transfieren su energía a aquellas que están juntas y que tienen menos temperatura y vibrando más lentamente.
- Los metales son buenos conductores de calor. Se conducen a través del flujo de electrones, como también de molécula a molécula.
- Los no metales son generalmente conductores pobres de calor. (VIDITEC S.A., 2014)

La transferencia de calor por conducción es dada por la ecuación 4:

$$P(W) = \frac{k \times A(T_1 - T_2)}{L} \quad (4)$$

Donde:

k: (W/m·K) conductividad térmica del material.

A: (m²) área de la sección transversal.

T₁ - T₂: (K) diferencia de temperatura.

L:(m) longitud de la trayectoria de conducción.

La *conductividad térmica k*, es la capacidad de un material para transferir calor. La conducción térmica es el fenómeno por el cual el calor se transporta de regiones de alta temperatura a regiones de baja temperatura dentro de un mismo material o entre diferentes cuerpos. *A mayor conductividad, mayor facilidad para conducir el calor.* Otro factor a considerar es la *resistencia térmica* que es la inversa a la conductividad (1/k). *Un buen material aislante tendrá una baja conductividad térmica y por tanto, una elevada resistencia térmica.*

Convección de calor

La *convección de calor*, es la transferencia basada en el transporte mediante corrientes de masa circulantes dentro de un fluido (líquido o gas). La convección tiene lugar dentro del fluido, cuando entra en contacto con una superficie sólida a una temperatura diferente (Fundación de la Energía de la Comunidad, 2011). El resultado del proceso es la transferencia de calor por convección.

Como *características de la convección* se tiene lo siguiente:

- Se transfiere el calor entre los fluidos o gases que circulan en las superficies.
- Si el movimiento del fluido es accionado por una fuerza exterior, esta se denomina convección forzada.
- Si el movimiento del fluido es impulsado por la diferencia de densidad entre las moléculas más calientes y las más frías, se denomina convección natural.

(VIDITEC S.A., 2014)

Efectos del viento

El *efecto del viento fuerte*, puede modificar considerablemente la distribución de temperaturas o reducir significativamente la temperatura de un punto caliente; por tanto, se debe evitar inspecciones cuando está presente. El resultado de este factor tiene consecuencias en la interpretación de imágenes, consecuentemente un informe erróneo.

Efectos de la evaporación y la condensación

La *evaporación* y la *condensación* tienen un intercambio de energía asociada. Cuando sobre una superficie se transfiere la evaporación, ésta se enfría, el agua « reduce » el calor de la superficie y ésta consecuentemente se enfría. A la inversa, si el vapor del agua se condensa en agua líquida, el agua cede calor al ambiente o al recipiente que lo contiene. (Fundación de la Energía de la Comunidad, 2011)

Radiación de calor

La *radiación calor*, es una forma de radiación electromagnética. Todos los cuerpos emiten este tipo de radiación como consecuencia de su temperatura y a mayor temperatura, mayor emisión de radiación térmica. Además, todos los cuerpos emiten y absorben radiación térmica en el mismo instante de tiempo.

En la radiación térmica, las moléculas no se chocan unas con otras, no se mueven libremente en función de la fuerza de la gravedad o externas. La radiación no precisa ningún medio material, siendo mejor la transferencia de calor, en ausencia total de moléculas o en el vacío.

La radiación térmica se propaga fácilmente a través de los gases, pero con dificultad o prácticamente aislada ante los líquidos y los sólidos. El calor neto transmitido será la diferencia entre lo que se ha absorbido y lo que se ha emitido. Esta energía que se difunde a la velocidad de la luz tanto en emisión y absorción, permite la aplicación de la termografía.

Como *características de la radiación* se tiene lo siguiente:

- El efecto de la radiación es diferente a la convección y a la conducción (flujo de calor unidireccional).
- La conducción y la convección son proporcionales a la diferencia de temperatura.
- La radiación emitida por una superficie es equivalente a la temperatura absoluta elevada a la cuarta.
- El intercambio de calor entre dos objetos involucra una relación compleja entre la geometría, la emisividad y los objetos del ambiente.

(VIDITEC S.A., 2014) (Fundación de la Energía de la Comunidad, 2011)

El *intercambio de energía por radiación* está dado por dos formas incidente y saliente que se definen a continuación:

Radiación incidente

La *radiación incidente*, es toda la radiación que llega a un objeto desde cualquier fuente de su entorno. La gráfica 6.7, indica la fuente de radiación incidente y las radiaciones que se generan.

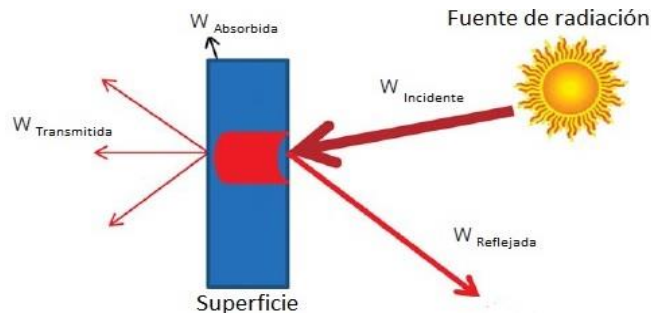


Gráfico 6.7. Radiación incidente. (Fundación de la Energía de la Comunidad, 2011)

En la tabla 6.1 se describen significados de la gráfica 6.7:

Tabla 6.1. Tipos de radiación.

Tipo de radiación	Efecto	Letra griega	Propiedad del cuerpo
Emitida	Radiación emitida	ε (épsilon)	Emisividad
Absorbida	Radiación retenida	α (alfa)	Absortividad
Reflejada	Radiación reflejada	ρ (rho)	Reflectividad
Transmitida	Radiación que pasa a través	τ (tau)	Transmisividad

(Fundación de la Energía de la Comunidad, 2011)

Es decir, la ecuación 5:

$$W_{\alpha} + W_{\rho} + W_{\tau} = W_{\text{incidente}} \quad (5)$$

Donde:

W_{α} : Potencia de radiación de absorptividad.

W_{ρ} : Potencia de radiación de reflectividad.

W_{τ} : Potencia de radiación de transmisividad.

$W_{\text{incidente}}$: Potencia de radiación incidente.

La proporción de la radiación incidente se reparte entre estas variables y dependerá de las propiedades del cuerpo, por tanto de acuerdo a la *primera Ley de la termodinámica*, ecuación 6:

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (6)$$

Donde:

α : Radiación de absorptividad.

ρ : Radiación de reflectividad.

τ : Radiación de transmisividad.

(VIDITEC S.A., 2014)

Radiación saliente

La *radiación saliente*, es aquella que abandona la superficie de un objeto, al margen de cuál es su fuente original. La gráfica 6.8, ilustra la radiación incidente y saliente.

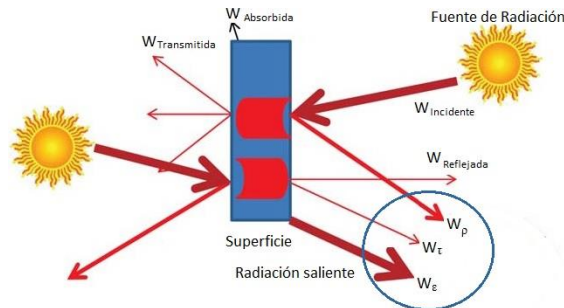


Gráfico 6.8. Radiación incidente y saliente. (Fundación de la Energía de la Comunidad, 2011)

En la gráfica, el cuerpo emite radiación W_{ϵ} , en todas direcciones; la cantidad de radiación que emite un cuerpo, depende de su temperatura y de su emisividad (característica propia del cuerpo). A mayor temperatura, más radiación emitida. A mayor emisividad del cuerpo, más radiación emitida. No obstante, si la temperatura de dos cuerpos distintos es la misma, el que tenga más emisividad irradiará más que el que tenga menos.

Las otras dos fuentes de radiación saliente son la reflejada y la transmitida. Estas dos variables no dependen de la temperatura del cuerpo, sino de las emisividades de las otras fuentes de transmisión y reflexión. También dependerán de la reflectividad y transmisividad del cuerpo.

Es decir, ecuación 7:

$$W_{\epsilon} + W_{\rho} + W_{\tau} = W_{\text{saliente}} \quad (7)$$

Donde:

W_{ϵ} : Potencia de radiación de emisividad.

W_{ρ} : Potencia de radiación de reflectividad.

W_{τ} : Potencia de radiación de transmisividad.

$W_{\text{incidente}}$: Potencia de radiación saliente.

Un cuerpo concreto, tendrá la propiedad de emitir radiación, reflejarla o transmitirla, ecuación 8:

$$\epsilon + \rho + \tau = 1 \quad (8)$$

Donde:

ϵ : Radiación de emisividad.

ρ : Radiación de reflectividad.

τ : Radiación de transmisividad.

De las fórmulas de radiación incidente y saliente, la emisividad es igual a la absorptividad:

$$\epsilon = \alpha$$

Un cuerpo va a emitir toda la radiación que absorba. Esto es una propiedad de cada cuerpo. (Fundación de la Energía de la Comunidad, 2011). Esta propiedad, es fundamental para el funcionamiento de las cámaras IR. “*Sólo la radiación emitida informa sobre la temperatura de la superficie del objeto*” (VIDITEC S.A., 2014).

Emisividad

La *emisividad*, es un factor clave para la medición precisa de las temperaturas. Depende de diversas influencias y debe ajustarse de acuerdo con la aplicación. Puede derivar del material, su superficie, temperatura, longitud de onda, ángulo de medición y algunas veces en la disposición de la medición. Muchos objetos que constan de material no metálico muestran una emisividad alta y relativamente constante independiente de su consistencia superficial, al menos en rangos espectrales de onda larga (Optris GmbH, 2016). Hay un sinnúmero de materiales que han sido diferenciados, y sus valores de emisividad se pueden visualizar en la tabla 6.2.

Tabla 6.2. Valores de emisividad de materiales comunes.

Material	Emisividad*
Aluminio, pulido	0,05
Ladrillo, común	0,85
Ladrillo, refractario, basto	0,94
Hierro fundido, fundición esbozada	0,81
Hormigón	0,54
Cobre, pulido	0,01
Cobre, negro oxidado	0,88
Cinta aislante, plástico negro	0,95
Vidrio	0,92
Barniz, Bakelita	0,93
Pintura, sintética normal	0,94
Papel, negro, mate	0,94
Acero, galvanizado	0,28
Acero, muy oxidado	0,88
Papel de alquitrán	0,92
Agua	0,98

*La emisividad es un número adimensional de la mayoría de los materiales y se mide a 0°C, pero no varían mucho a temperatura ambiente.

(Fluke Corporation y The Snell Group, 2016)

Efectos de la emisividad

Los efectos principales de la emisividad en un cuerpo son:

- Si se mide un cuerpo de alta emisividad, la temperatura aparente del cuerpo es cercana a su temperatura real.
- Si se mide un cuerpo de baja emisividad, la temperatura aparente del cuerpo es cercana a las temperaturas aparentes de los cuerpos cercanos.

(Fundación de la Energía de la Comunidad, 2011)

Cuerpo negro

Un *cuerpo negro*, es un cuerpo físico abstraído, que absorbe toda la radiación entrante. No tiene propiedades reflectivas ni transmisivas (Optris GmbH, 2016). En realidad un cuerpo negro no se encuentra de manera natural, se fabrican con distintos objetivos.

Son cuerpos que emiten el 100 % de la radiación recibida, es decir, absorben el 0 % de la radiación.

$$\alpha = \varepsilon = 1 \text{ o } 100 \% \quad (\text{Si, } \varepsilon = 100 \% , \text{ entonces } \alpha = 0 \%)$$

(Fundación de la Energía de la Comunidad, 2011)

Un cuerpo negro irradia la máxima energía posible en cada longitud de onda. La concentración de la radiación no depende de ángulos. El cuerpo negro es la base para comprender los principios físicos de la medición de temperatura sin contacto y para calibrar los termómetros infrarrojos (Optris GmbH, 2016).

Cuerpo real

Un *cuerpo real*, es el que se encuentran diariamente en operaciones, con una gran diferencia, que la mayoría de ellos son opacos o no muestran transmisividad en la radiación infrarroja, es decir, $\tau = 0$, de manera que, ecuación 9:

$$\varepsilon + \rho = 1 \quad (9)$$

(Fundación de la Energía de la Comunidad, 2011)

Imágenes térmicas

Las *imágenes térmicas*, se obtienen de la termografía aplicada y deben saber interpretarse, por el personal encargado de la inspección termográfica. Siendo necesario que el personal a cargo de la función tenga preparación para poder realizar informes y conclusiones correctamente. En el análisis de las imágenes termográficas existen dos métodos, *cualitativo* y *cuantitativo*, que relacionan el conocimiento de los principios de radiación de un cuerpo negro concretamente la *Ley de radiación de Planck*. Esta Ley, muestra la correlación básica de las mediciones y análisis de temperatura sin contacto o lo que es la radiación específica espectral $M_{\lambda S}$ del cuerpo negro en el espacio medio, dependiendo de su temperatura T y la longitud de onda λ . Es decir ecuación 10:

$$M_{\lambda S} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 (e^{hc/\lambda kT} - 1)} = \frac{C_1}{\lambda^5 (e^{C_2/\lambda T} - 1)} \quad (10)$$

Donde:

$M_{\lambda S}$: Radiación específica espectral	k : Constante de Boltzmann
h : Constante de Planck ($6,6 \times 10^{-34}$ J · s)	T : Temperatura absoluta del cuerpo negro en (K)
c : Velocidad de la luz (3×10^8 m/s)	C_1 : 3.74×10^{-16} W · m ²
λ : Longitud de onda de la radiación	C_2 : 1.44×10^{-2} K · m

(Optris GmbH, 2016)

La gráfica 6.9, muestra el comportamiento de la radiación específica espectral en función de λ , con diferentes temperaturas como parámetros.

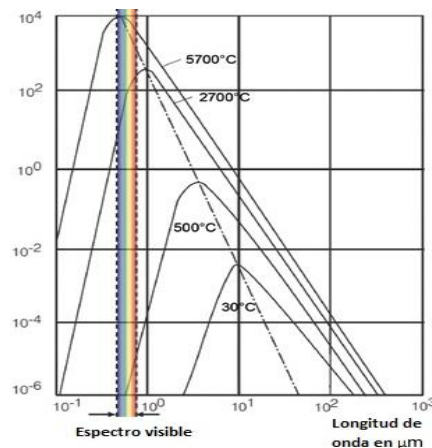


Gráfico 6.9. Radiación específica espectral $M_{\lambda S}$ del cuerpo negro en función de la longitud de onda. (Optris GmbH, 2016)

La longitud de onda, que muestra la radiación máxima específica espectral, cambia con el aumento de la temperatura hacia el rango de longitudes de onda cortas. Como la fórmula es muy abstracta, no se puede usar para muchas aplicaciones prácticas, pero se puede derivar varias correlaciones de la radiación máxima específica espectral. Al integrar la intensidad de radiación espectral para todas las longitudes de onda de cero a infinito, se puede obtener el valor de radiación emitida del cuerpo como un todo. Esta correlación se llama *Ley de Stefan Boltzmann*, ecuación 11.

$$M_{\lambda S} = \sigma \times T^4 \text{ [Watt /m}^2\text{]} \quad (11)$$

Donde:

σ : Constante de Stefan Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$).

T: Temperatura.

Toda la radiación emitida por un cuerpo negro en el rango de longitud de la onda general, aumenta proporcionalmente a la cuarta potencia de su temperatura absoluta. La gráfica de la Ley de Planck también muestra que la longitud de onda, que se utiliza para generar el máximo de la radiación emitida de un cuerpo negro, cambia cuando las temperaturas cambian. (Optris GmbH, 2016)

Método cualitativo

El *método cualitativo*, es el primer procedimiento del objeto bajo estudio que se realiza inevitablemente para buscar aquello que no encaja o se ve alejado de lo normal. La imagen térmica analizada, pone de manifiesto anomalías de distinta magnitud, se localiza para posteriormente evaluar el nivel de gravedad.

El 90 % de las inspecciones son de este tipo, lo cual no quiere decir que sea ni más sencillo ni más complejo, simplemente es un tipo de análisis.

(Fundación de la Energía de la Comunidad, 2011)

Como *características del método cualitativo* se tiene lo siguiente:

- Para detectar que existe un problema, no es necesario medir la temperatura.
- No se necesita ajustar la emisividad.
- Muy intuitivo.
- Fácil de ver cambios con respecto al valor normal.

(RS Components, 2015)

Método cuantitativo

El *método cuantitativo*, determina la temperatura o temperaturas de las partes de la imagen térmica que interesan. A partir de éstas, se extraen conclusiones sobre las anomalías detectadas y las soluciones a adoptar en función de los criterios de clasificación de fallos propios o publicados por algún organismo o asociación relevante.

También hay que considerar datos históricos que permiten saber si una temperatura es elevada o baja para un mismo componente y cuánto lo es respecto al mismo componente en estado normal.

Este método, no es más complejo ni más sencillo. Se puede equivocar en las conclusiones, a pesar de haberse realizado bien la compensación y haber obtenido datos reales de temperaturas, o por el contrario, sin compensar, se le puede decir que se tiene un problema donde no lo hay.

(Fundación de la Energía de la Comunidad, 2011)

Como *características del método cuantitativo* se tiene lo siguiente:

- Se requiere termografías radiométricas (ingreso a todos los puntos de temperatura que definen la termografía)
- Es necesario conocer la incidencia de ciertos parámetros críticos: carga del sistema, condiciones atmosféricas (viento, humedad, etc.), emisividad, temperatura reflejada de fondo, registros históricos entre otros factores que aporten al análisis.

(RS Components, 2015)

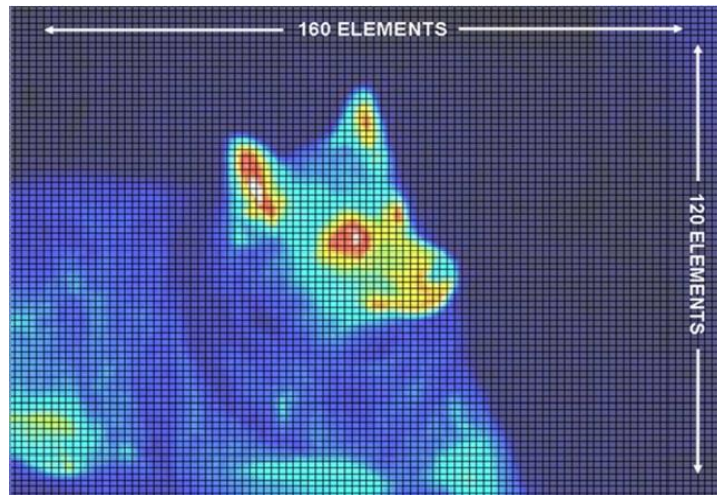
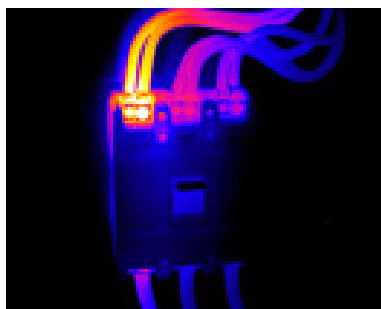


Gráfico 6.10. Termografía radiométrica. (VIDITEC S.A., 2014)



a. Método cualitativo



b. Método cuantitativo

Gráfico 6.11. Método termográfico cualitativo y cuantitativo. (Santamaría Holek, 2004) (EFITEC, 2016)

A más de los métodos descritos para la evaluación termográfica, se debe cumplir con ciertos requisitos técnicos esenciales que se detallan a continuación.

Resolución

La *resolución visual o calidad de la imagen*, es un factor importante que influye en la claridad con que se pueden observar los dispositivos o equipos bajo análisis. A veces, cuando se diagnostica un problema, se debe diferenciar la fuente real del problema, comparando con dos o más probables fuentes, que se localicen una cerca de la otra. Es importante indicar que mientras más despejado este el objeto analizado más fácil será encontrar la fuente del problema (Alava Ingenieros, 2011) (Fundación de la Energía de la Comunidad, 2011).

A continuación se precisan elementos técnicos relacionados con la resolución:

- Elemento de imagen (*picture element* [Pixel]): Es la una unidad homogénea más pequeña a color que forma parte de una imagen digital, puede ser en una fotografía; un fotograma de vídeo o un gráfico. En termografía infrarroja, será la menor unidad que se pueda registrar.
- Campo de visión (*Field Of View* [FOV]): Es un ángulo horizontal visible por medio de una lente de infrarrojos.
- Campo de visión instantáneo (*Instantaneous Field Of View* [IFOV]): Medida de la resolución geométrica de una cámara de infrarrojos.
- Campo de visión horizontal (*Horizontal Field Of View* [HFOV]): Ampliación horizontal del campo total de medición del objeto.
- Campo de visión vertical (*Vertical Field Of View* [VFOV]): Ampliación vertical del campo total de medición del objeto.
- Campo de visión diagonal (*Diagonal Field Of View* [DFOV]): Dimensión diagonal del campo total de medición del objeto.

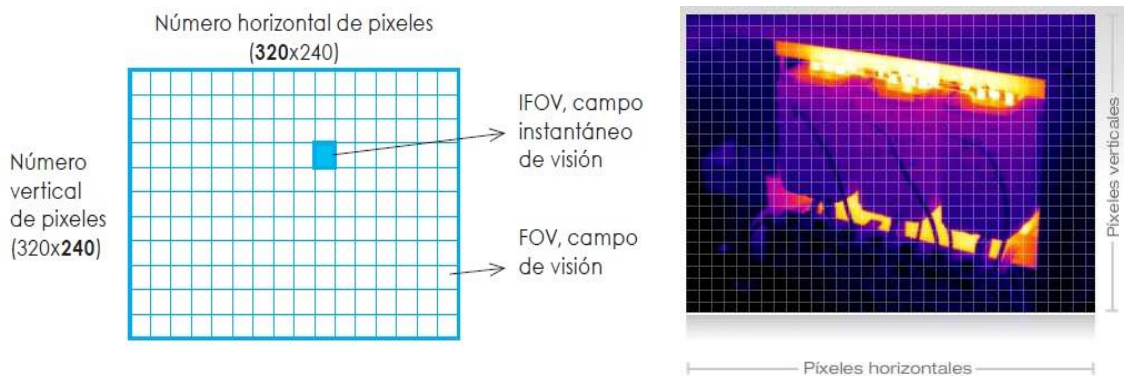


Gráfico 6.12. Elementos técnicos de la resolución. (Fundación de la Energía de la Comunidad, 2011) (RS Components, 2015)

Los distintos modelos de cámaras termográficas se diferencian en la resolución (tamaño del sensor / detector) que pueden ir desde 60 x 60 píxeles, hasta modelos más avanzados de alta gama que tienen resolución de 1024 x 1024 píxeles, es decir, 1.048.576 puntos de medición en una imagen. Esto no solo mejora la precisión de la medición, sino que también existe una gran diferencia en la calidad de la imagen. Una alta resolución ayuda a ver, medir e interpretar con mayor precisión, pero a una mayor resolución, mayor costo de la cámara (Alava Ingenieros, 2011).

La gráfica 6.13, muestra el ejemplo de una matriz de plano focal (*Focal Plane Array* [FPA]) no refrigerada de 320 x 240 celdas microbolométrica y la gráfica 6.14, muestra un sensor IR de onda larga de 7 a 14 micras, siendo su funcionamiento una disminución en la resistencia eléctrica de cada una de las celdas proporcional a la radiación recibida y la lectura del cambio de resistencia en cada celda se realiza 9 veces por segundo, permitiendo generar imágenes radiométricas a 9 Hz, adquiriendo 691.200 (9 x 76.800) lecturas de temperatura cada segundo (RS Components, 2015).



Gráfico 6.13. Matriz de plano focal. (RS Components, 2015)

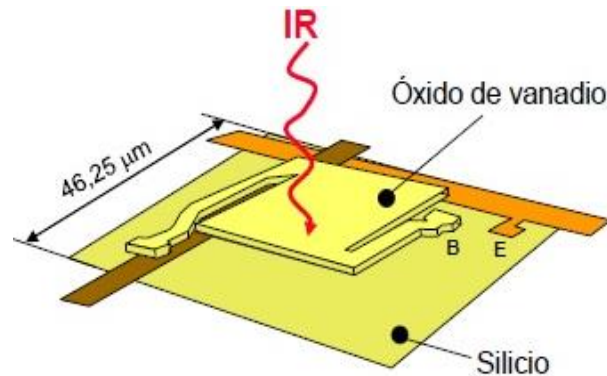


Gráfico 6.14. Sensor IR. (RS Components, 2015)

Tabla 6.3. Bandas espectrales de IR y los materiales típicos del sensor correspondiente.

		Banda espectral		Aplicación	Materiales típicos del sensor
No térmica	NIR	Infrarrojo cercano	0,7 - 1 μm	Transmitografía Reflectografía	Si (0,5 - 1,1 μm) InGaAs (0,8 - 1,8 μm) PbS (1,3 - 3,5 μm)
	SWIR	Infrarrojo de onda corta	1 - 2,5 μm		InGaAs (0,8 - 1,8 μm) InAs (1 - 3,8 μm) InSb (3 - 5,5 μm)
Térmica	MWIR	Infrarrojo de onda media	3 - 5 μm	Termografía	PbSe (2 - 6 μm) HgCdTe (2 - 14 μm)
	LWIR	Infrarrojo onda larga	7,5 - 14 μm		Microbolómetros (amorfo, silicio, óxido de vanadio, etc.) HgCdTe (2 - 14 μm)

(Rogalski, 2011) (Rogalski & Chrzanowski, 2002)

Operación de la cámara IR

La construcción de la cámara IR es similar a una cámara de video digital. Los componentes principales son:

- Lente que enfoca IR en un detector.
- Componentes electrónicos.
- Software para procesar y mostrar imágenes termográficas y temperaturas.
- Monitor – Visualizador de cristal líquido (*Liquid Cristal Display* [LCD]).

(FLIR Systems Incorporated, 2008).

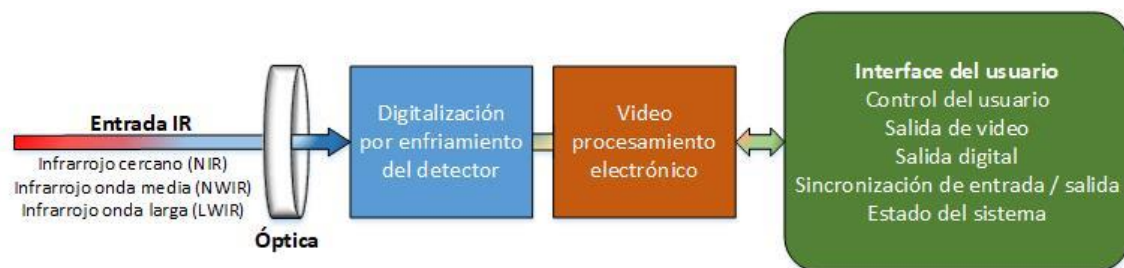


Gráfico 6.15. Diagrama simplificado en bloques de una cámara IR. (FLIR Systems Incorporated, 2008)

Campo de visión

El *campo de visión*, es una propiedad que define el tamaño de lo que se observa en la imagen térmica. La lente es el elemento de mayor influencia en la conformación del campo de visión, independientemente del tamaño de la matriz. Sin embargo, cuanto más grande sean las matrices mayor será la resolución, independientemente de la lente utilizada, en similitud con matrices más estrechas (Fluke Corporation y The Snell Group, 2016).

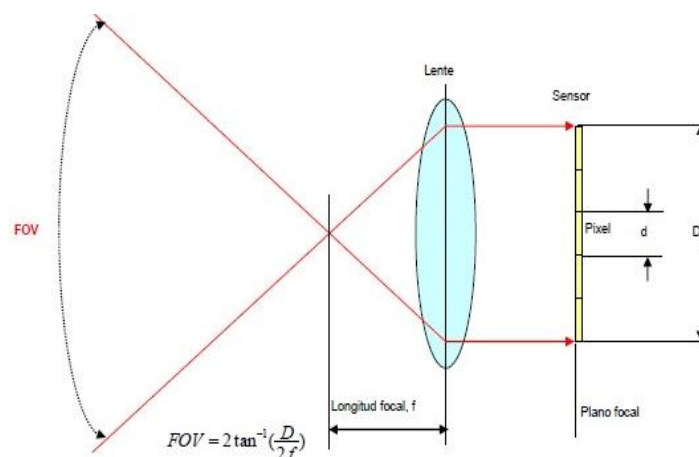


Gráfico 6.16. Campo de visión (FOV). (RS Components, 2015)



Gráfico 6.17. Campo de visión (FOV) con distintos tipos de lentes. (Fluke Corporation y The Snell Group, 2016)

Campo de visión instantáneo

El *campo de visión instantáneo*, es la propiedad empleada para describir la capacidad de una cámara termográfica para solucionar la *resolución espacial*. (Fluke Corporation y The Snell Group, 2016). En otras palabras, determina el tamaño del pixel en la imagen, pero no es el tamaño del detector lo que va a determinar la resolución de la cámara, es la distancia entre cada punto medio de cada detector, conocido como *pitch* (Fundación de la Energía de la Comunidad, 2011) «*Pitch separación entre los centros de dos pixeles consecutivos; en el caso de no existir separación entre pixeles, el pitch coincide con el tamaño de pixel*» (Villaescusa Egea, 2013). Habitualmente el campo de visión instantáneo está especificado como un ángulo en mili-radianes (mRad).

La proyección desde un detector a través de la lente IFOV proporciona el tamaño de un objeto que puede observarse a una determinada distancia. Consiguientemente el *campo de visión instantáneo de medida* (IFOVm) es la resolución de la medida de una cámara termográfica que determina el *tamaño mínimo* que debe tener un objeto para que pueda medirse su temperatura con precisión a una distancia específica. El IFOV es similar a ver una señal en la distancia mientras que el IFOVm es análogo a leer una señal, bien porque está más cerca o porque es más grande (Fluke Corporation y The Snell Group, 2016).

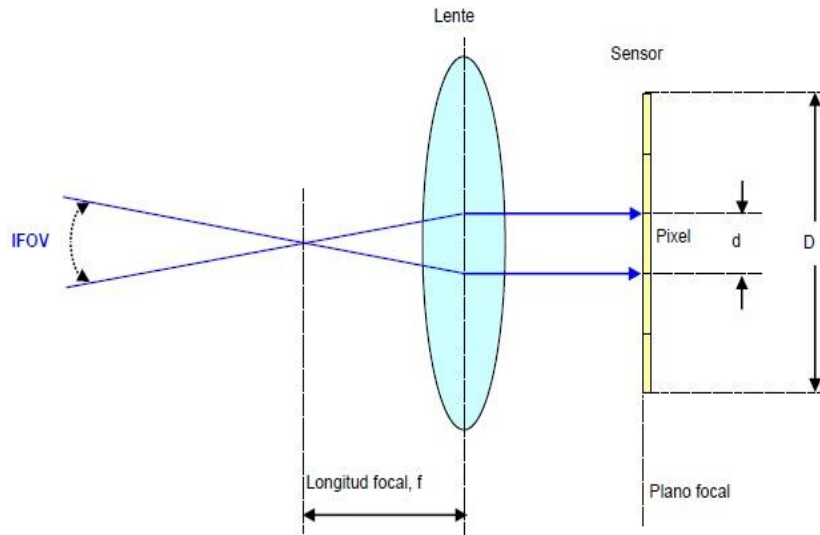


Gráfico 6.18. Campo de visión instantáneo (IFOV). (RS Components, 2015)

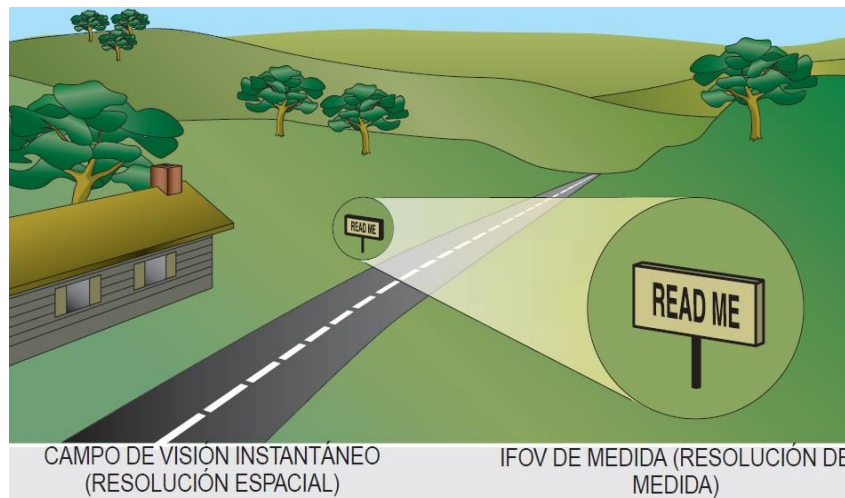


Gráfico 6.19. Campo de visión instantáneo (IFOV) resolución espacial y de medida. (Fluke Corporation y The Snell Group, 2016)

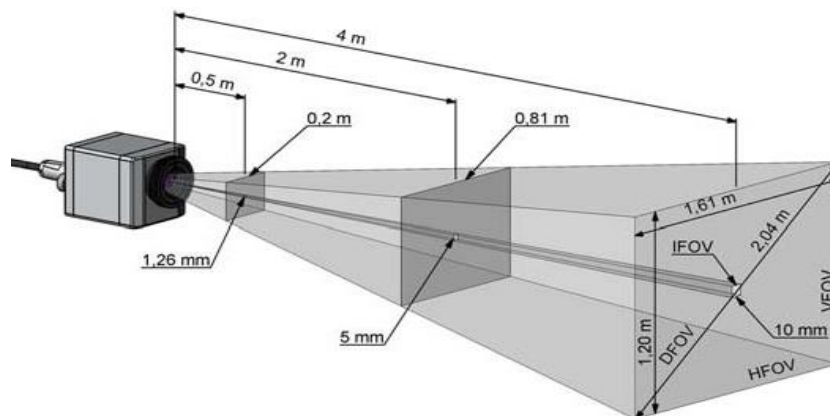


Gráfico 6.20. Cámara de termografía en apreciación visual. (Optris GmbH, 2016)

Sensibilidad térmica

La *sensibilidad térmica*, precisa la magnitud de una diferencia de temperatura que la cámara puede detectar. Si mejor es la sensibilidad térmica, menor será la diferencia de temperatura mínima que la cámara termográfica puede captar y mostrar. Sus unidades por lo general son en ° C o mK (milésimas de grado Kelvin). La capacidad de detectar diferencias de temperatura en minutos es importante en la mayoría de las aplicaciones termográficas.

Una sensibilidad alta de la cámara es importante en aplicaciones de *mantenimiento predictivo*, en las que las diferencias de temperatura son mínimas. Estas mínimas diferencias de temperatura pueden aportar información fundamental para diagnosticar el problema y planificar acciones que faciliten soluciones.

Precisión

La *precisión*, se expresa en porcentajes y en grados centígrados, siendo el *margen de error* en el que operará la cámara. La temperatura medida puede variar desde la temperatura real al porcentaje mencionado o la temperatura absoluta, la que sea mayor. El estándar del sector actual para la precisión es de $\pm 2\%$ / $\pm 2^\circ\text{C}$ (Alava Ingenieros, 2011).

Encuadre

El *encuadre de la imagen*, es el que un objeto este bien visible y en la posición que facilite mayor información (Fundación de la Energía de la Comunidad, 2011).

Enfoque

El *enfoque de una imagen*, es el aspecto más importante que se debe asegurar a la hora de realizar una inspección termográfica. Un enfoque incorrecto puede generar una medida incorrecta de la temperatura, falta de detalles en aspectos críticos e incluso diagnósticos equivocados, lo cual al final supone un desperdicio del tiempo y recursos. Un enfoque fino es crucial para mediciones de temperatura precisas (RS Components, 2015).

Ajuste del rango de temperatura

El *ajuste del rango de temperatura*, se establece a partir de las temperaturas extremas (mínima y máxima) que la cámara puede registrar (RS Components, 2015). Si se determina un rango muy amplio, se tendrá menos precisión en la lectura de la medida (Fundación de la Energía de la Comunidad, 2011).

Condiciones meteorológicas

La temperatura ambiente puede tener una gran influencia en las lecturas de temperatura. Una temperatura ambiente alta puede cubrir puntos calientes del objeto, en cambio una temperatura ambiente baja podría enfriar los puntos calientes hasta una temperatura inferior al umbral determinada previamente. Otros factores meteorológicos:

- La *luz solar directa*, es de gran influencia, así como *las sombras* pueden influir en el patrón térmico incluso tiempo después de la exposición a la luz solar. Estos patrones provocados por la luz solar no se deben confundir con los patrones generados por transferencia de calor.
- El *viento* y los *flujos de aire* refrigeran materiales en sus superficies, reduciendo las diferencias de temperatura entre las áreas calientes y las frías.
- La *lluvia* enfría el material de la superficie, incluso después de llover, la evaporación del agua enfría el material de la superficie.

Todas estas condiciones meteorológicas pueden provocar patrones térmicos incorrectos. (Alava Ingenieros, 2011)

Gradiente térmico

El *gradiente térmico*, es la diferencia o variación entre la temperatura real del centro del problema y la temperatura que se registró en el área visualizada de la cámara termográfica (Fluke Corporation y The Snell Group, 2016).

Técnicas de inspección termográfica infrarroja

Las técnicas de inspección termográfica infrarroja (TIR), se clasifican en:

- TIR pasiva.
- TIR activa.

En la gráfica 6.21, se esquematizan las técnicas TIR, así como las distintas técnicas que se derivan de la TIR activa.

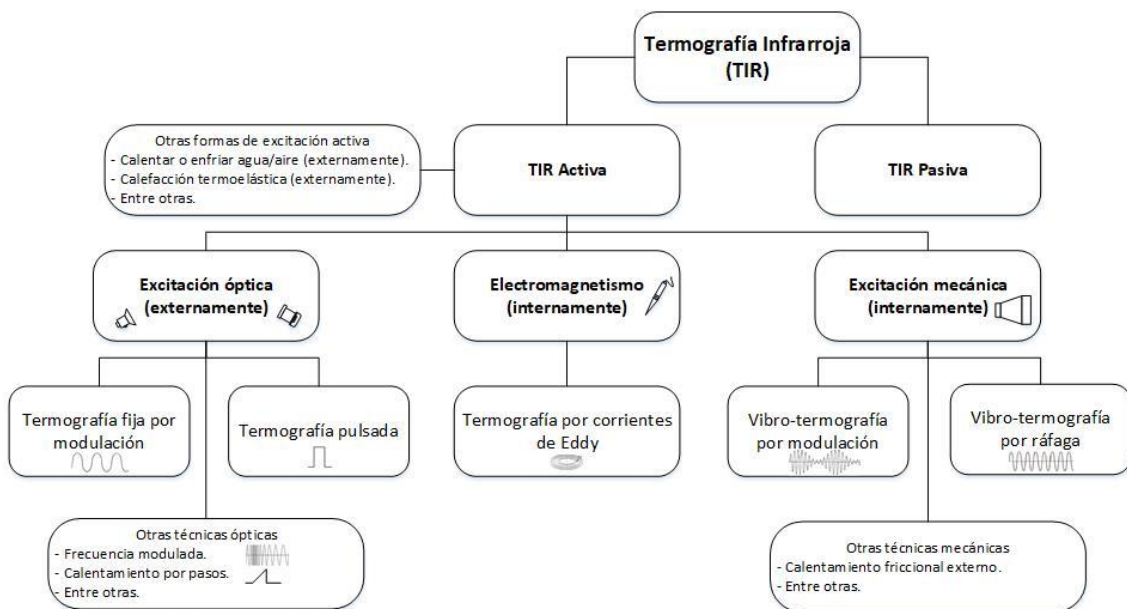


Gráfico 6.21. Esquema de las técnicas TIR activa y TIR pasiva. (Ibarra-Castanedo, y otros, 2009)

TIR pasiva

La *TIR pasiva*, es la que en ningún caso, utiliza estimulación externa para calentamiento o enfriamiento (flujo de calor) del objeto inspeccionado. El objeto estudiado produce un patrón de temperaturas típico por el hecho de ser parte de un proceso industrial que produce calor. Una pequeña diferencia de temperatura (grados) respecto a la temperatura de referencia o trabajo del objeto, muestran un comportamiento inusual. La TIR pasiva, es una técnica que permite capturar la información de temperatura en tiempo real desde una distancia segura sin ninguna interacción o contacto con el objeto (Villaescusa Egea, 2013). Si el objetivo es localizar o ubicar anomalías térmicas, la termografía pasiva resulta cualitativa (Ortega Ramírez, 2015).

TIR activa

La *TIR activa*, es la que precisa una estimulación externa (flujo de calor) del objeto inspeccionado. Un defecto interno puede alterar ese flujo, provocando una distribución anómala de la temperatura. La termografía activa tiene diferentes técnicas en función de cómo se realice el calentamiento o enfriamiento externo de la pieza a inspeccionar.

Termografía pulsada (*Pulsed Thermography [PT]*): Es una técnica muy conocida de estimulación térmica que facilita su aplicación y rapidez en una inspección. En la gráfica 6.22, se observa la técnica que consiste en utilizar un calentamiento pulsado corto e intenso sobre el espécimen inspeccionado para luego medir el descenso de la temperatura. Se debe considerar no comprometer el espécimen a largas exposiciones de calor y evitar llegar a temperaturas muy altas, ya que puede darse el caso de provocar lesiones en la superficie del objeto (Guerrero Mena, 2013).

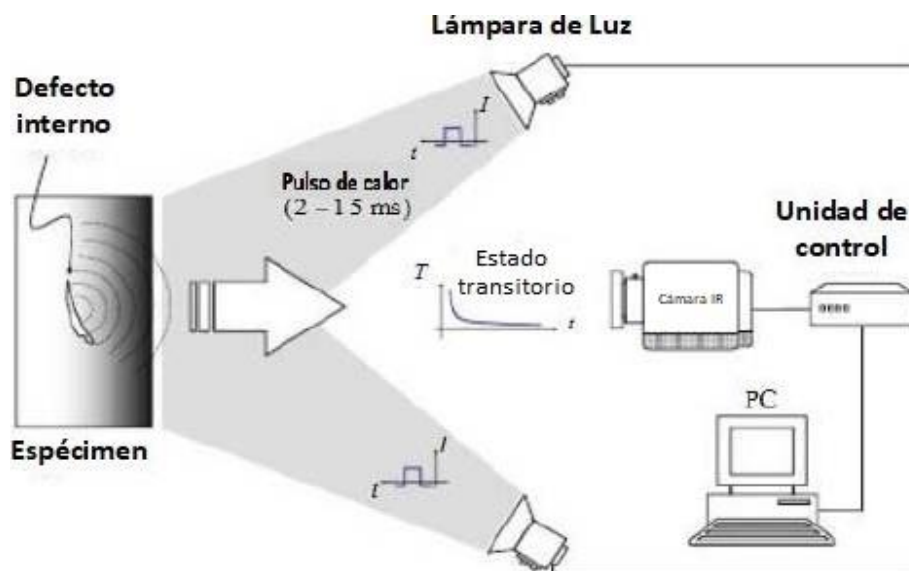


Gráfico 6.22. Técnica óptica de termografía pulsada. (Villaescusa Egea, 2013)

Termografía fija (*Lock-in Thermography [LT]*): Es una técnica en la que el espécimen a examinar, se somete a un calentamiento sinusoidal, generándose ondas térmicas “modulación” en el interior del objeto, que de existir defectos internos, se causan alteraciones en las ondas. Esta técnica debe sincronizar la señal de entrada que alimenta las fuentes de calor con la señal de salida que proporcionan las cámaras termográficas, esto se realiza mediante un computador. En la gráfica 6.23, se presenta la técnica de termografía fija. (López Rodríguez, 2010).

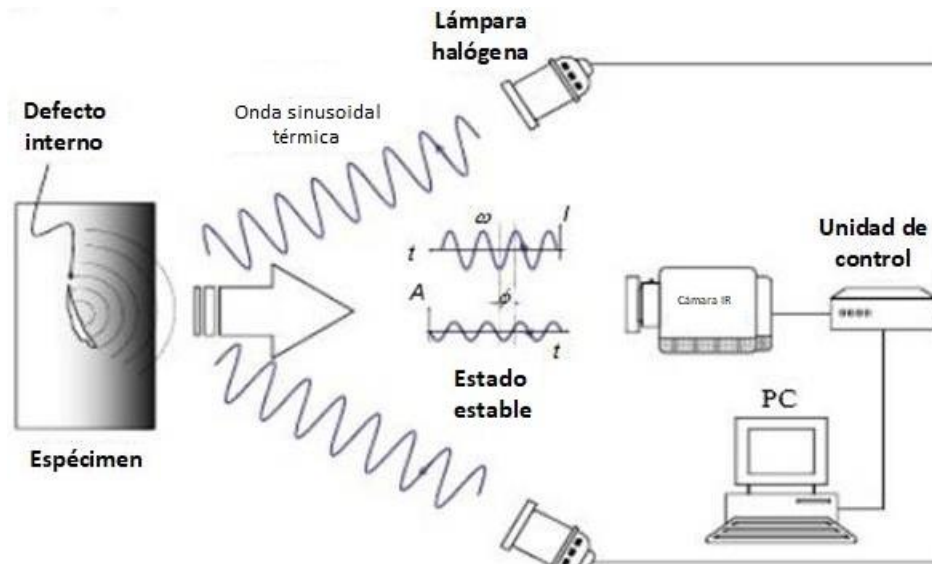


Gráfico 6.23. Técnica óptica de termografía fija (*lock-in*) por modulación. (Villaescusa Egea, 2013)

Termografía de pulso largo (*Long-Pulse [Step Heating] Thermography [LPT]*): Es una técnica en la que el espécimen se somete a un calentamiento continuo y prolongado de baja potencia o intensidad. A diferencia de las otras técnicas, como el pulsado, la importancia recae en registrar el proceso de calentamiento y no la fase de enfriamiento del objeto estudiado (Maldague, 2001).

Termografía de fase pulsada (*Pulse Phase Thermography [PPT]*): Es una mezcla entre la termografía pulsada y la termografía fija por modulación. La técnica se realiza de la misma forma que para la termografía pulsada pero el tratamiento de datos se realiza mediante transformada Fourier. Por tanto, deben obtenerse datos de la amplitud y de la fase de la imagen a diferentes frecuencias a partir de una serie de termogramas. En la gráfica 6.24, se presenta la técnica de termografía de fase pulsada (Peña Santos, 2012).

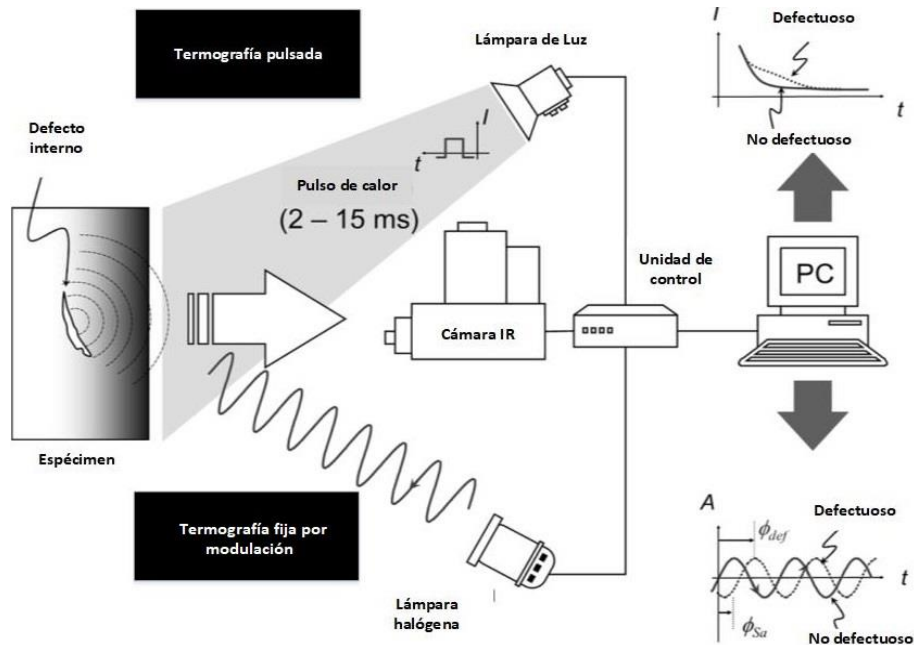


Gráfico 6.24. Técnica óptica de termografía de fase pulsada. (Ibarra-Castanedo, y otros, 2009)

Vibro-termografía (Vibro-thermography [VT]): Es una técnica basada en el principio de que bajo vibraciones mecánicas inducidas externamente a un objeto, el calor es liberado por fricción en los lugares donde existen defectos, como una interrupción en la continuidad del material (grietas, huecos, etc.). Esto ocurre debido a que la energía mecánica se convierte en térmica dentro del material. En la gráfica 6.25, se presenta la vibro-termografía (Maldague, 2001).

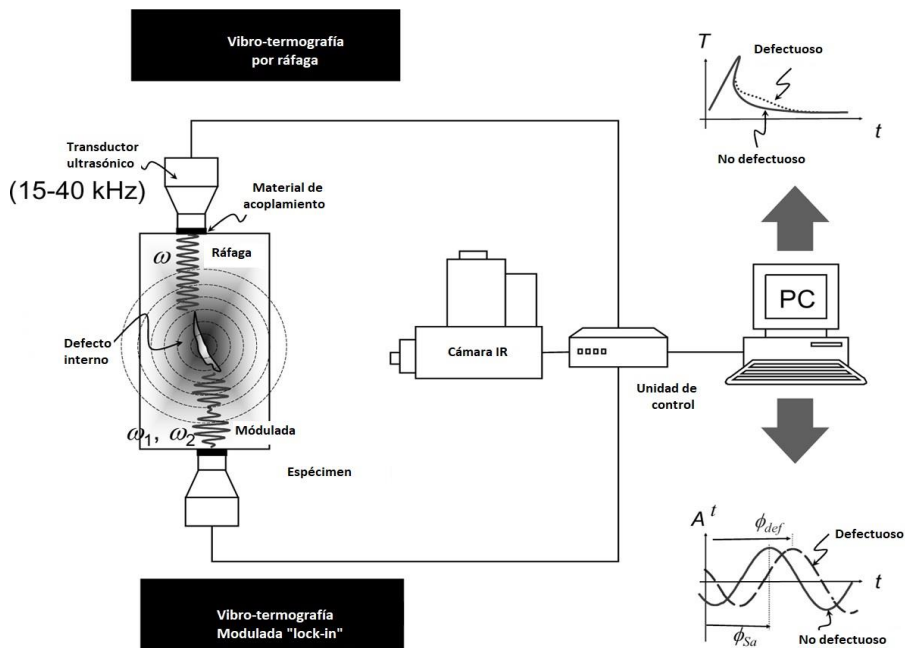


Gráfico 6.25. Técnica mecánica de vibro-termografía por ráfaga o modulada. (Ibarra-Castanedo, y otros, 2009)

De las técnicas de inspección, los objetos que producen su propio flujo de calor se consideran térmicamente activos, y por tanto se deben inspeccionar con termografía pasiva. En cambio los objetos que necesitan de una fuente de calentamiento o enfriamiento para generar un flujo de calor se consideran cuerpos térmicamente pasivos, y requieren por tanto de técnicas de inspección por termografía activa. La tabla 6.4, resume las técnicas de termografía activa. (Cerdeira Pérez, 2008) (López Rodríguez, 2010)

Tabla 6.4. Técnicas comunes de termografía activa.

Tipo de fuente	Forma de onda	Técnica	Designaciones alternativas
Óptica	Pulso corto	Termografía pulsada	Termografía pulsada (PT) Termografía con resolución temporal (TRIRT) Termografía con luz instantánea
	Pulso largo	Termografía pulsada cuadrada	Termografía pulsada cuadrada Termografía pulsada larga
	Paso	Termografía de calentamiento por paso	Termografía de calentamiento escalonado (SHT)
	Amplitud modulada	Termografía fija	Termografía modulada
	Frecuencia Modulada	Termografía con sonido agudo	Termografía por frecuencia modulada
	Escaneo de línea	Termografía de escaneo de línea	Termografía de escaneo de línea
Ultrasonido	Ráfaga	Termografía por ráfaga de ultrasonido	Vibro-termografía (VT) Termo-sonido
	Amplitud modulada	Termografía fija por ultrasonido	Vibro-termografía fija
Inducida	Ráfaga	Termografía por ráfaga inducida	Termografía por corriente de Eddy (ECT) Termografía por corriente de Eddy pulsada
	Amplitud modulada	Termografía fija inducida	Termografía por corriente de Eddy fija
	Escaneo de línea	Termografía de escaneo de línea inducido	Termografía de escaneo de línea inducido

(Ibarra-Castanedo, Sfarra, Genest, & Maldague, 2015)

Evaluación del software para el sistema de control de termografía 3D

La evaluación del software, es esencial para el diseño y desarrollo del sistema de control de termografía 3D, puesto que proporciona aspectos, características, puntos de vista que permiten ser considerados para su factibilidad e implementación técnica. Partiendo de esta premisa la evaluación estimó lenguajes de programación que cumplen con requisitos que abordan la necesidad planteada del proyecto. Otros aspectos a destacar en la valoración del software son la utilidad de las librerías, la interfaz y la amigabilidad con el usuario.

Tabla 6.5. Comparación de lenguajes y bibliotecas de programación.

Lenguaje de programación	R	Phyton	Octave	OpenCV	Matlab	Java
¿Qué aspectos sobresalientes destaca el programa?	Fuente libre	Fuente libre	Fuente libre	Fuente libre	Muchas aplicaciones	Fuente libre
¿Tiene bibliotecas de importancia?	✓	✓	✓	✓	✓	✓
¿El programa es fácil de usar?	✓	✓	✓	✗	✓	✓
¿El programa es de rápida ejecución?	✓	✓	✗	✓	✗	✓
¿Cómo considera su curva de aprendizaje?	✓	✓	✓	✗	✓	✓
¿Tiene buen ambiente de desarrollo?	✗	–	✓	✗	✓	✓
¿Cómo se considera la capacidad de análisis de datos?	✓	–	–	–	✓	✓
¿Tiene desarrollo en habilidades útiles en la programación?	✓	✓	–	✓	–	–
¿Tiene portabilidad en la administración de memoria?	–	–	✓	✗	✓	✓
¿El programa es bueno con grandes bases de datos?	✗	✓	✗	✓	✓	–
¿El programa es bueno para desarrollo de algoritmos?	✓	✓	✓	✓	✓	✓
¿Cómo se considera la capacidad gráfica?	✓	✗	✗	✓	✓	✓
¿El programa tiene buena visualización?	✓	✗	✓	✓	✓	✓
¿Posee herramientas (complementos (plugin), entornos de desarrollo integrado (IDE's), etc.)?	✓	–	✗	–	✓	–
¿Es bueno el proceso de depuración?	✓	✓	✓	–	✓	✓
¿Tiene buen soporte comunitario?	✓	✓	✗	✓	✓	✓
¿Considera integración con aplicaciones externas?	–	✓	–	✓	–	✓
¿Tiene ayuda y código muestra?	–	✓	–	✓	✓	✓
¿Tiene un mercado de trabajo?	✓	✓	✗	✓	–	✓
¿El costo del programa es bajo?	✓	✓	✓	✓	✗	✓

*✓ Favorable

*✗ No favorable

*– Moderado

Elaborado por: El investigador.

En la tabla 6.5, se observa una comparación de los lenguajes de programación convenientes para el diseño y desarrollo del sistema de control de termografía 3D. Este análisis de programas, es una recopilación de varios portales que han particularizado el uso de los mismos. Además se consideró el conocimiento y la experiencia previa con cada programa informático de desarrollo. Esto dio como resultado seleccionar el programa Java, sin desconocer la potencialidad de los otros programas para el desarrollo del sistema.

Hardware para el sistema de control de termografía 3D

El desarrollo del sistema de control de termografía 3D, requiere del uso y aplicación de cámaras digitales de alta tecnología. El trabajo realizado en *tres dimensiones*, utilizó de dos cámaras digitales. La primera cámara captura imágenes del objetivo en forma natural (luz visible), así como imágenes de profundidad. En el caso de la segunda cámara, captura imágenes térmicas. Este proceso de capturar imágenes (datos) mediante las cámaras digitales, permite generar un algoritmo que reconstruye el objetivo a ser analizado en 3D, tanto para imágenes visibles (colores primarios: Rojo, Verde, y Azul (*Red, Green, Blue* [RGB]), como para imágenes invisibles al ojo humano (infrarrojas-térmicas).

Las características de las dos cámaras digitales, es fundamental describirlas a continuación:

Adquisición Imágenes color

Para la adquisición de imágenes a color y su tratamiento de datos en forma digital se utilizó una *cámara Kinect* que permite escanear objetos pequeños o grandes en 3D con rapidez y alta calidad. El operador de la cámara es el que controla el movimiento del sensor de acuerdo al requerimiento técnico.

La cámara Kinect es un dispositivo fabricado de forma horizontal con sensores de profundidad, cámara a color y un conjunto de micrófonos con todo instalado dentro de una caja pequeña y plana. La caja plana contiene un motor pequeño que funciona como la base que permite inclinar el dispositivo en una dirección horizontal. El sensor Kinect incluye los siguientes componentes principales:

- Cámara de color.
- Emisor de infrarrojos (IR).
- Sensor de profundidad IR.
- Motor de inclinación.
- Conjunto de micrófonos.
- LED.

El dispositivo Kinect también tiene un adaptador de alimentación para fuente de alimentación externa y un adaptador USB para conectarse a un computador. La gráfica 6.26, muestra la cámara Kinect Xbox 360, así como los componentes esenciales de la misma. (Jana, 2012)

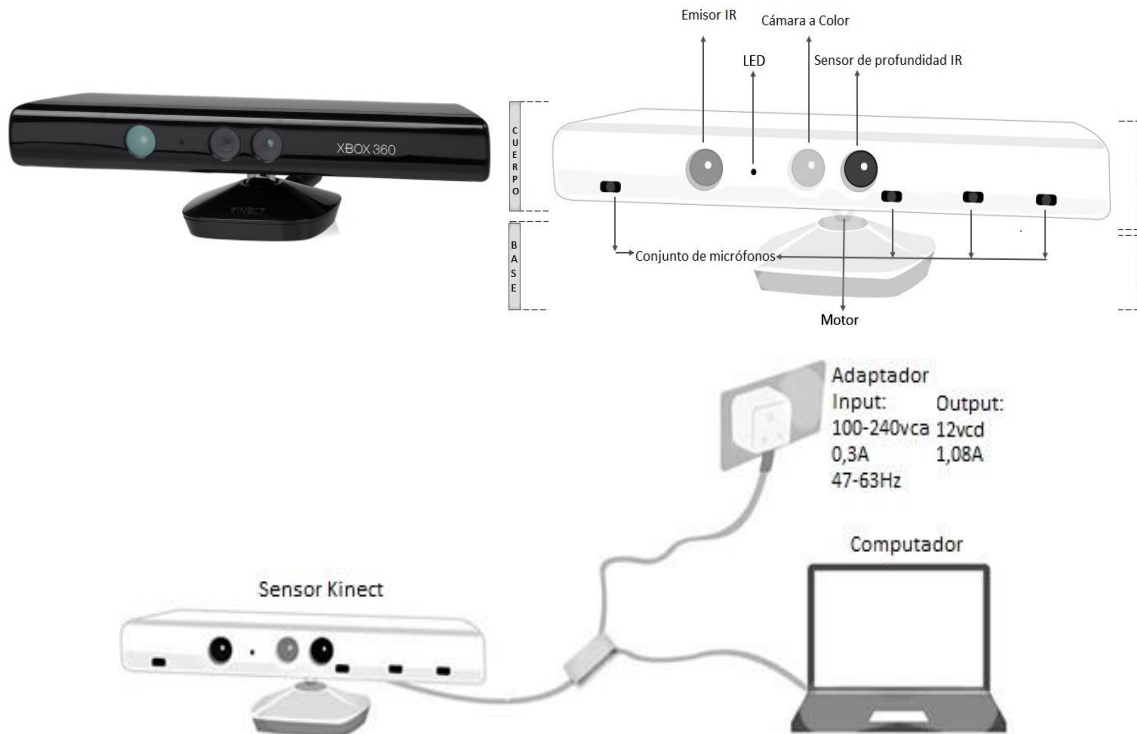


Gráfico 6.26. Cámara Kinect XBOX 360 componentes esenciales y accesorios. (Jana, 2012)

La gráfica 6.27, muestra la estructura interna del sensor Kinect.

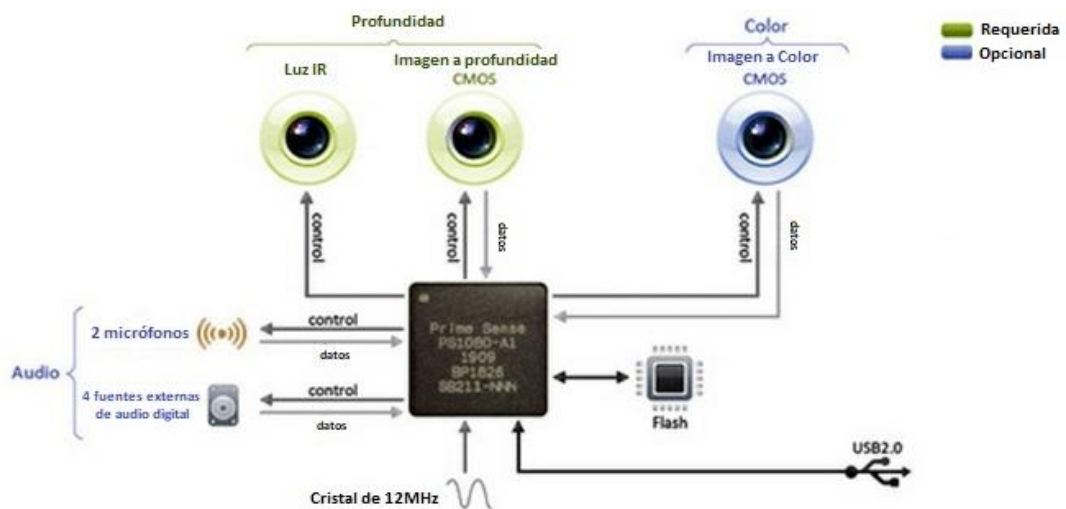


Gráfico 6.27. Estructura interna del sensor Kinect. (Espitia Contreras, 2014)

Cámara de color (RGB)

La cámara RGB es la encargada de capturar y transmitir los datos de video en color. Su función es detectar los colores rojo, azul y verde de la fuente. El flujo de datos proporcionados por la cámara es una sucesión de cuadros de imágenes fijas. El flujo de datos de color de la cámara Kinect admite una velocidad de 30 cuadros por segundo (*frames per second* [FPS]) a una resolución de 640 x 480 píxeles, y una resolución máxima de 1280 x 960 píxeles a hasta 12 FPS. El valor de cuadros por segundo puede variar según la resolución utilizada para el cuadro de imagen.

El rango visible para las cámaras Kinect es de 43 grados en vertical por 57 grados en horizontal. La gráfica 6.28, muestra una ilustración del rango visible de la cámara Kinect.

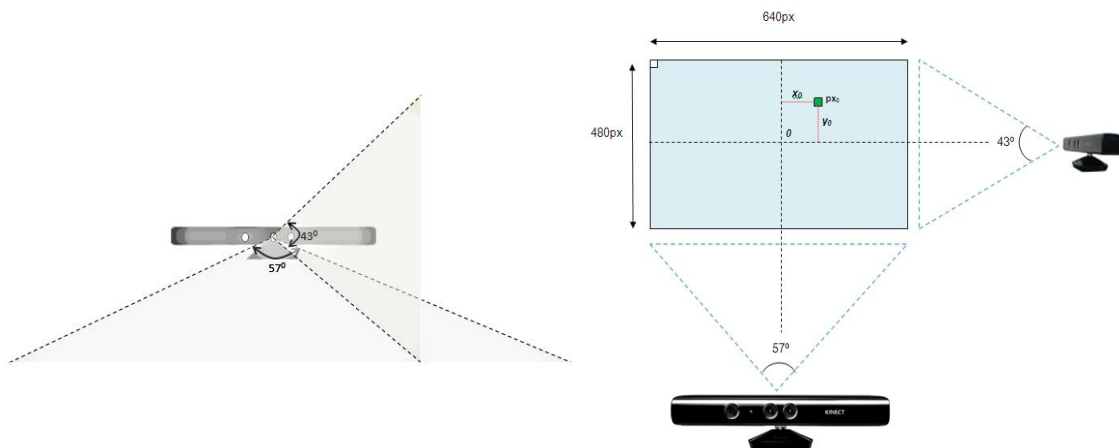


Gráfico 6.28. Rango visible de la cámara Kinect. (Jana, 2012) (Grupo de Investigación en Robótica Autónoma del CAETI, 2015)

Emisor IR y sensor de profundidad IR

El emisor IR y sensor de profundidad IR trabajan de forma combinada. El emisor de infrarrojos con aspecto de cámara desde el exterior, es un proyector de infrarrojos que emite constantemente luz infrarroja en un patrón de "punto pseudoaleatorio" sobre todo a los objetos que está en frente de él. Estos puntos son invisibles a la vista humana, pero es posible capturar su información de profundidad usando un sensor de profundidad IR. La luz punteada se refleja en diferentes objetos, y el sensor de profundidad IR los lee de los objetos y los convierte en información de profundidad mediante la medición de la distancia entre el sensor y el objeto desde donde se leyó el punto IR.

(Jana, 2012)

La gráfica 6.29, muestra al emisor IR y al el sensor de profundidad IR.

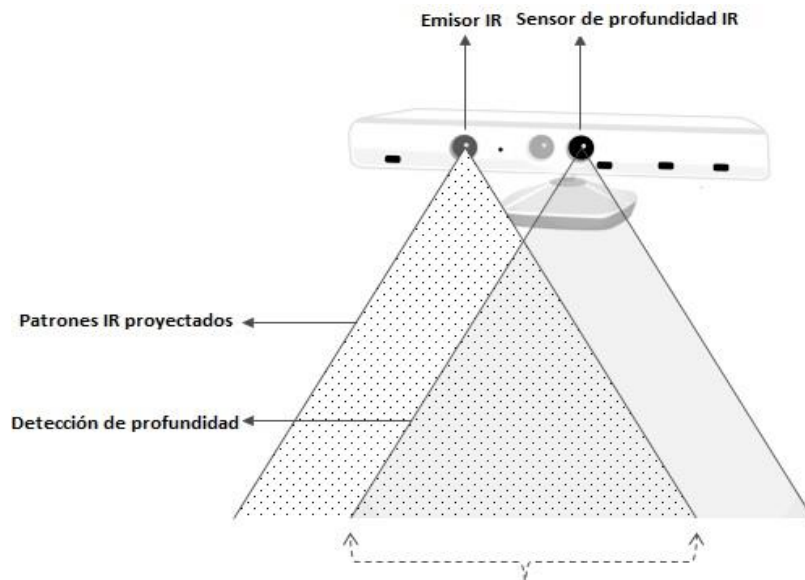


Gráfico 6.29. Emisor IR y al el sensor de profundidad IR Kinect. (Jana, 2012)

El flujo de datos de profundidad permite una resolución de 640 x 480 píxeles, 320 x 240 píxeles y 80 x 60 píxeles, y el rango visible del sensor sigue siendo el mismo que el de la cámara a color.

Procesamiento de datos en profundidad

El sensor Kinect tiene la capacidad de capturar una visión sin procesar 3D de los objetos que están al frente del mismo, independientemente de las condiciones de iluminación del escenario donde se encuentra el objeto. Utiliza el emisor de infrarrojos (IR) y el sensor de profundidad IR que está implementado a base de semiconductores de óxido metálico complementario (*complementary metal-oxide-semiconductor* [CMOS]). El chip *PrimeSense* es el pilar de esta tecnología que se muestra en la gráfica 6.30.

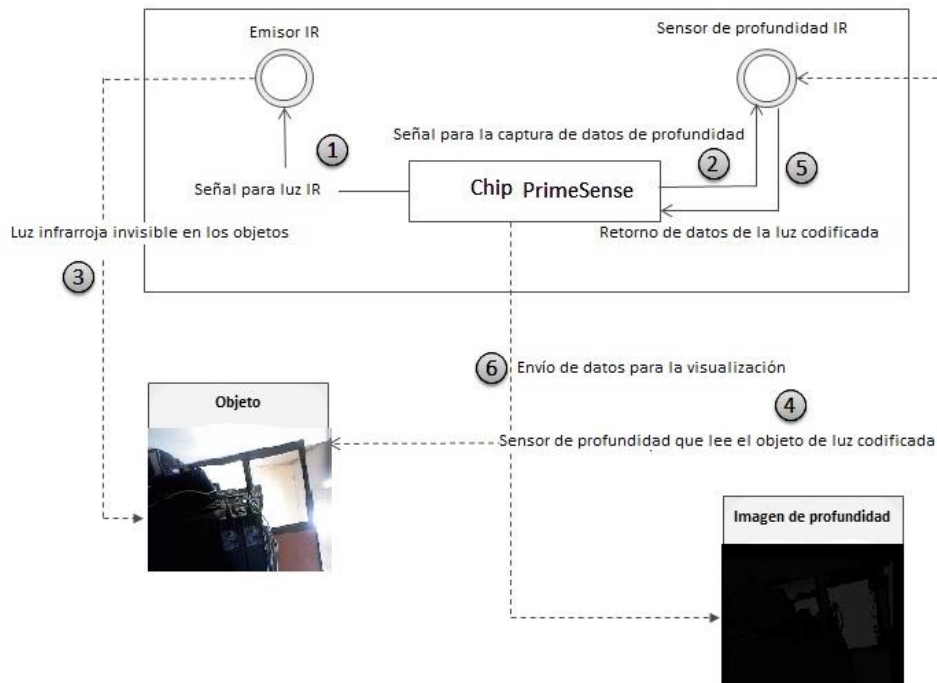


Gráfico 6.30. Procesamiento de datos en profundidad. (Jana, 2012)

La secuencia de procesamiento de datos de profundidad se ejecuta de la siguiente manera:

1. El chip *PrimeSense* envía una señal al emisor de IR para encender la luz infrarroja.
2. El chip *PrimeSense* envía otra señal al sensor de profundidad IR para iniciar la captura de datos desde el rango visible actual.
3. El emisor de infrarrojos envía una luz invisible para los ojos humanos a los objetos que se encuentran frente al dispositivo.
4. El sensor de profundidad IR lee los datos inferidos del objeto basándose en la distancia de los puntos de luz individuales de reflexión.
5. Los datos capturados se transmiten al chip *PrimeSense*.
6. El chip *PrimeSense* analiza los datos capturados, y crea una imagen de profundidad por cuadro y pasa la secuencia de salida como una imagen de profundidad.

Motor de inclinación

La base y el cuerpo de la cámara están conectadas por un pequeño motor. Se utiliza para cambiar los ángulos de la cámara y del sensor, permitiendo obtener una posición correcta. El motor se puede inclinar verticalmente hasta 27 grados, lo que significa que los ángulos de la cámara Kinect se pueden desplazar hacia arriba o hacia abajo 27 grados. La gráfica 6.31, muestra como el ángulo se cambia cuando se inclina el motor.

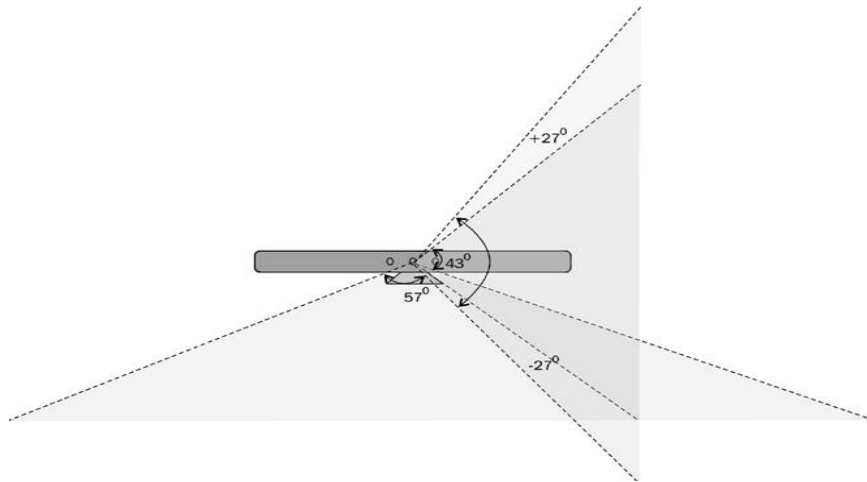


Gráfico 6.31. Procesamiento de datos en profundidad. (Jana, 2012)

Conjunto de micrófonos

La matriz de micrófonos consta de cuatro micrófonos diferentes que se colocan en un orden lineal (tres se extienden en el lado derecho y el otro se coloca en el lado izquierdo en la parte inferior del sensor Kinect). El propósito de la matriz de micrófonos Kinect no solo es capturar el sonido, sino también ubicar la dirección de la onda de audio.

Las principales ventajas de tener una gran variedad de micrófonos en un solo micrófono son la captura y reconocimiento de voz que se realizan de forma más efectiva con una mejor supresión de ruido, cancelación de eco y tecnología de formación de haces. Siendo Kinect un valioso micrófono bidireccional que puede identificar la fuente del sonido y reconocer la voz independientemente del ruido y el eco presentes en el entorno. La gráfica 6.32, muestra el funcionamiento del conjunto de micrófonos. (Jana, 2012)

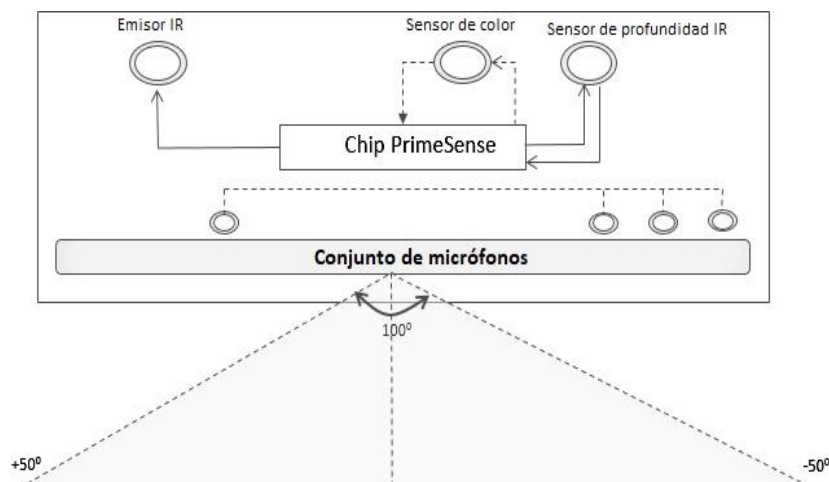


Gráfico 6.32. Conjunto de micrófonos Kinect. (Jana, 2012)

Diodo emisor de luz (LED)

El diodo emisor de luz (*light emitting diode*, [LED]) entre la cámara y el proyector IR, es utilizado para indicar el estado del dispositivo Kinect. El color verde del LED indica que los controladores del dispositivo Kinect se han cargado correctamente o que el sistema de la computadora detecta al dispositivo; para la funcionalidad completa del dispositivo es necesario conectar a una fuente de alimentación externa. (Jana, 2012)

La tabla 6.6, sintetiza las características de la cámara Kinect V1 de Microsoft.

Tabla 6.6. Características de la cámara Kinect V1 de Microsoft.

Capacidad	Kinect V1
Video	640×480 @30 fps. 1280×960 @12 fps. Se denomina <i>ColorStream</i> .
Ángulo de visión	Campo de visión FoV: 43° vertical x 57° horizontal 320×240, 640×480.
Profundidad	Distancias 0,8 a 4 metros en modo default. Distancias de 0,4 a 3 metros en modo cercano (<i>Near mode</i>). Capacidad para detectar 6 personas, pero solo dos se pueden rastrear completamente.
Rastreo del cuerpo	Por cuerpo rastreado, capaz de identificar 20 articulaciones. Se denomina <i>Skeletal stream</i> .
Motor de Inclinación	Si. Motor puede graduarse entre +27 grados y -27 grados.
USB	2.0
Sistema Operativo	Win7 o superior.

(Duque, 2015) (Birbilis, 2015)

Otra de las características de la Kinect para Windows es disponer del kit de desarrollo de software (*Software Development Kit* [SDK]), que permite integrar al cliente y el dispositivo, realizar aplicaciones para dispositivos Kinect. Además SDK proporciona una interfaz para interactuar con Kinect a través del sistema e incluye controladores para el sensor Kinect, que interactúan con el dispositivo, sistema operativo y la interfaz de programación de aplicaciones (*application programming interface* [API]) a través del programa.

Componentes instalados por el SDK y kit de herramientas de desarrollo

La gráfica 6.33, muestra la configuración del computador con la lista de componentes instalados por el SDK, así como su kit de herramientas.

(Jana, 2012)

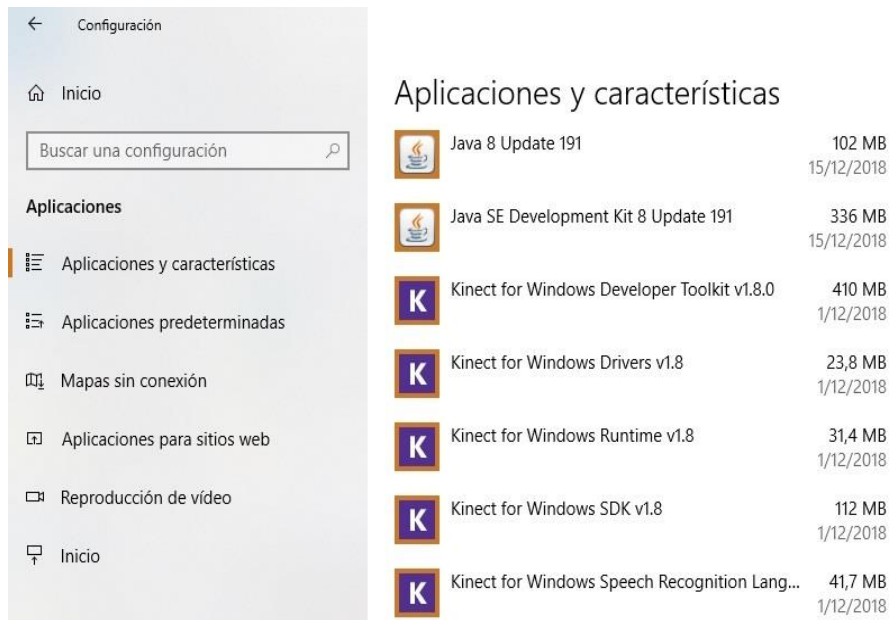


Gráfico 6.33. Componentes instalados por el SDK y kit de herramientas de desarrollo.

Instalado el SDK, se verifica si la conexión y los controladores del dispositivo Kinect están en correcto estado en el computador. La gráfica 6.34, muestra el *Administrador de dispositivos* y el correcto estado de Kinect para Windows en el nodo USB.

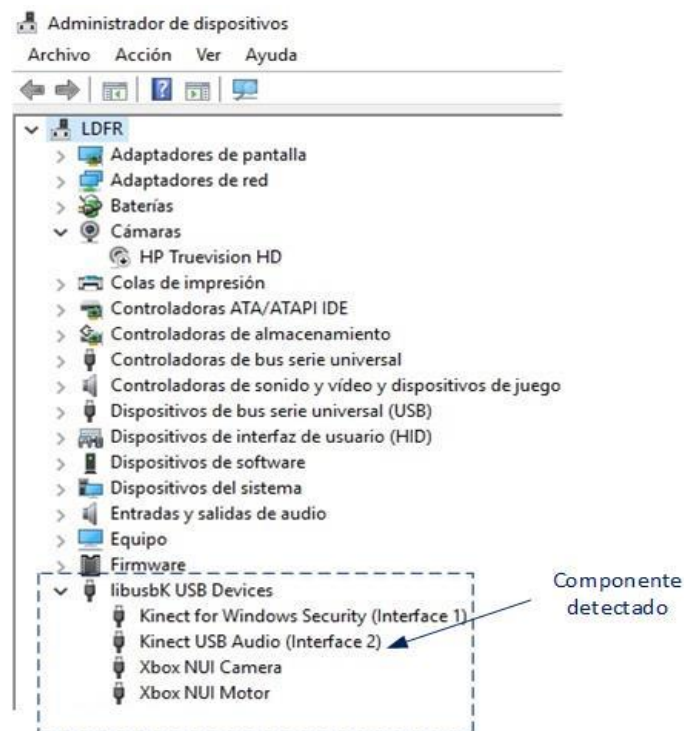


Gráfico 6.34. Kinect detectado en el sistema Windows del computador.

El Kinect SDK, proporciona tanto bibliotecas administradas como no administradas. Para el código administrado, el SDK de Kinect para Windows proporciona librerías de vínculos dinámicos (*Dynamic Link Library* [DLL]) como un ensamblado (Microsoft.Kinect.dll), que se puede agregar a cualquier aplicación.

La gráfica 6.35, muestra las capas generales para el SDK de Kinect y cómo una aplicación interactúa con las diferentes capas de los componentes. (Jana, 2012)

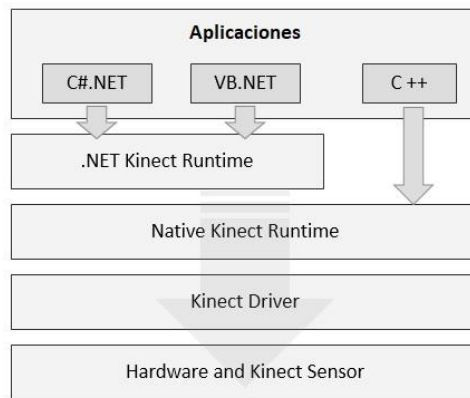


Gráfico 6.35. Capas generales para el SDK de Kinect. (Jana, 2012)

La API del SDK es una interface de usuario natural (*Natural User Interfaces* [NUI]), que permite la adquisición de datos del sensor de profundidad, la cámara color y de la transmisión de audio. La gráfica 6.36, muestra una clasificación de API de nivel superior basada en el tipo de trabajo que realiza.

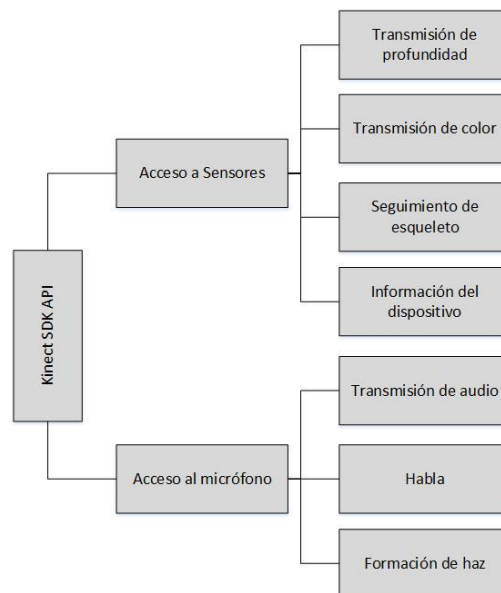


Gráfico 6.36. Clasificación y trabajo de la API con el SDK de Kinect. (Jana, 2012)

Requisitos del sistema

Sistema operativo:

- Windows 7, Windows 8, Windows 8.1, o Sistema estándar embebido Windows 7.

Requisitos mínimos de hardware:

- Procesador de 32 bits (x86).
- Procesador de doble núcleo a 2.66 GHz o superior.
- Puerto exclusivo USB 2.0.
- Memoria RAM 2 GB.
- Sensor Microsoft Kinect para Windows.

Requisitos de Software:

- Visual Studio 2010 o Visual Studio 2012.
- .NET Framework 4 (instalado con Visual Studio 2010), o .NET Framework 4.5 (instalado con Visual Studio 2012)
- Para aplicaciones Kinect habilitadas para voz, se debe instalar la plataforma Microsoft Speech SDK v11 (Microsoft, 2013)

Adquisición imágenes térmicas

Para la adquisición de imágenes térmicas se utilizó una tarjeta inteligente *PureThermal 2*, combinada una mini cámara Lepton de FLIR.

Tarjeta inteligente PureThermal 2

La tarjeta inteligente *PureThermal 2*, es un interfaz con un microprocesador (módulo inteligente) ARM STM32F412 que controla las imágenes térmicas capturadas con el lente Lepton de FLIR. La interfaz tiene entradas y salidas (*Input-Output [I/O]*), que se acceden mediante el puerto USB. La cámara esta pre configurada para conectar y funcionar (*plug-and-play*), con aplicaciones iguales al de una cámara Web y video estándar para los principales sistemas operativos. En lo referente al desarrollo de aplicaciones, el firmware, el software del visor y el esquema del hardware son de código abierto, lo que posibilita configurar a requerimientos precisos.

Características técnicas de la interface inteligente *PureThermal 2*:

Las características técnicas de la interface inteligente *PureThermal 2* son las siguientes:

- Entrada de energía y salida de video por medio del Bus Serial Universal (*Universal Serial Bus [USB]*) (conector tipo micro B).
- Adquisición de video térmico por medio del USB.
- Compatibilidad con lentes de cámara FLIR Lepton y núcleos radiométricos versión 2.5 y 3.5.
- Cable USB estándar de tipo A al tipo micro B.
- Clase de dispositivo de video USB (*USB video class – [UVC]*) que puede funcionar bajo Linux, macOS, Windows y Android.
- Video en color de 9 Hz usando la clase USB-UVC
- Microprocesador ARM STM32F412 que controla el procesamiento de imágenes almacenadas sin necesidad de un sistema externo.
- Firmware de referencia de código abierto: *GroupGets PureThermal Github*.
- GetThermal, software personalizado que visualización el video térmico de código abierto para macOS y Linux con soporte radiométrico.
- Actualización de firmware del dispositivo (*Device Firmware Update [DFU]*) por USB.
- Expansión I2C y UART.

(GroupGets, 2018)

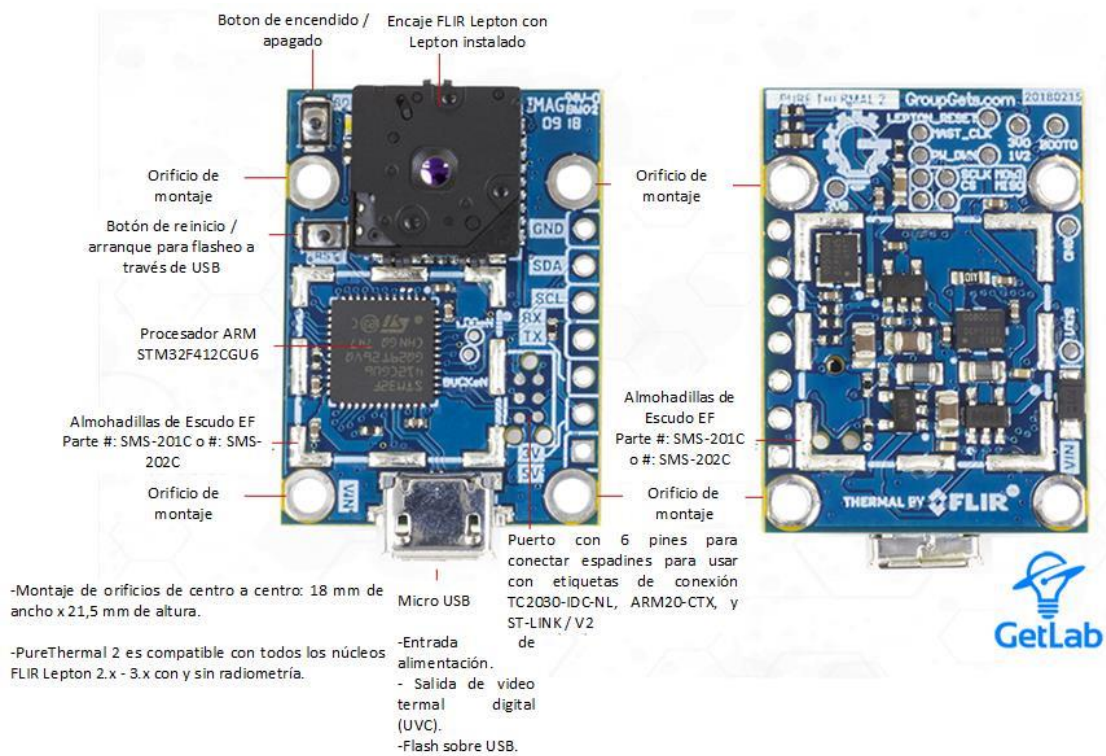
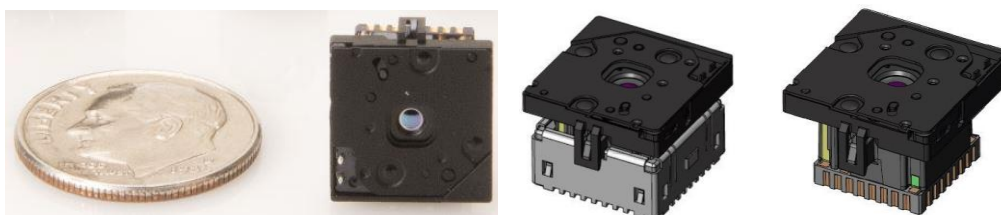


Gráfico 6.37. Figuras del Interface PureThermal 2. (GroupGets, 2018)

Módulo de micro-cámara térmica LWIR Lepton 3.5

El módulo de micro-cámara LWIR Lepton de FLIR, tiene capacidad radiométrica con matrices de plano focal de 160 x 120 píxeles activos. La cámara Lepton puede integrarse fácilmente a la tarjeta inteligente *PureThermal 2* o a otros dispositivos electrónicos, trabajando como un sensor de IR o un generador de imágenes térmicas. El Lepton radiométrico captura los datos de temperatura de manera precisa, calibrados y sin contacto en cada píxel de cada imagen. La gráfica 6.38, muestra la cámara Lepton de FLIR 3.5.



- a. Dimensión de la cámara Lepton. b. Cámara Lepton con obturador (con y sin zócalo).

Gráfico 6.38. Cámara Lepton de FLIR 3.5. (FLIR Systems, Inc., 2018)

Tabla 6.7. Especificaciones del módulo de micro-cámara térmico LWIR de Lepton 3.5 de Flir.

Descripción general	
Frecuencia de imagen efectiva	8,7 Hz (aplicación comercial exportable)
Reloj de entrada	25 MHz nominal, niveles de voltaje de E/S de CMOS
Formato de salida	RGB seleccionable por el usuario de 14 bits, 8 bits (AGC aplicado) o 24 bits (AGC y colorización aplicados)
Tamaño de píxel	12 μm
Rango dinámico de escena	Modo de ganancia baja: de -10 a 400 °C; Modo de ganancia alta: de -10 a 140 °C;
Rango espectral	Infrarrojos de onda larga, de 8 μm a 14 μm
Compensación de temperatura	Automática. Imagen de salida independiente de la temperatura de la cámara.
Sensibilidad térmica	<50 mK (0,050 °C)
Alimentación	
Voltaje de suministro de entrada	E/S de 2,8 V, 1,2 V, y de 2,5 V a 3,1 V
Disipación de potencia	150 mW (funcionamiento), 650 mW (durante obturación), 5 mW (en espera)
Conexiones y comunicaciones	
Interfaz de datos de vídeo	Vídeo mediante SPI
Electricidad y mecánica	
Puerto de control	CCI (similar a I2C), niveles de voltaje de E/S de CMOS
Dimensiones del paquete – Versión de zócalo (An. \times L. \times Al.)	10,50 \times 12,7 \times 7,14 mm
Interfaz mecánica	Interfaz abierta de 32 clavijas para conector Molex® estándar
Generación de imágenes y óptica	
Formato en matriz	160 x 120, exploración progresiva
FOV - Diagonal	71°
FOV - Horizontal	57° (nominal)
Optimización de imagen	Configurada de fábrica y totalmente automatizada
Corrección de no uniformidad (NUC)	Integral
Tecnología del sensor	Microbolómetro VOx no refrigerado
Protección solar	Integral
Medioambiental y aprobaciones	
Rango de temperatura no operativa	De -40 a +80 °C
Rango de temperatura óptimo	De -10 a +80 °C
Golpes	1500 g a 0,4 ms

(FLIR Systems, Inc., 2018)

Software para el sistema de control de termografía 3D

Para el desarrollo del software del sistema de control de termografía 3D, es necesario fundamentar aspectos técnicos y matemáticos, que se detallan a continuación:

Calibración modelo *Pinhole* (Hueco pequeño circular)

Es un método de calibración muy práctico y sencillo, que permite representar una cámara como se ilustra en la gráfica 6.39. El modelo vincula una imagen de un objeto tridimensional en el mundo real (X_m, Y_m, Z_m) , con la posición de la cámara (X_c, Y_c, Z_c) , la del sensor (X_s, Y_s) , la del centro óptico (C_x, C_y) y la imagen tomada (X_i, Y_i) . El origen del sistema de coordenadas y el escalado o *zoom* para cada imagen son fijos en cada toma, por lo que el modelo matemático resultante se podrá considerar muy cercano a lo real. (Matallana & Martínez Romero, 2017)

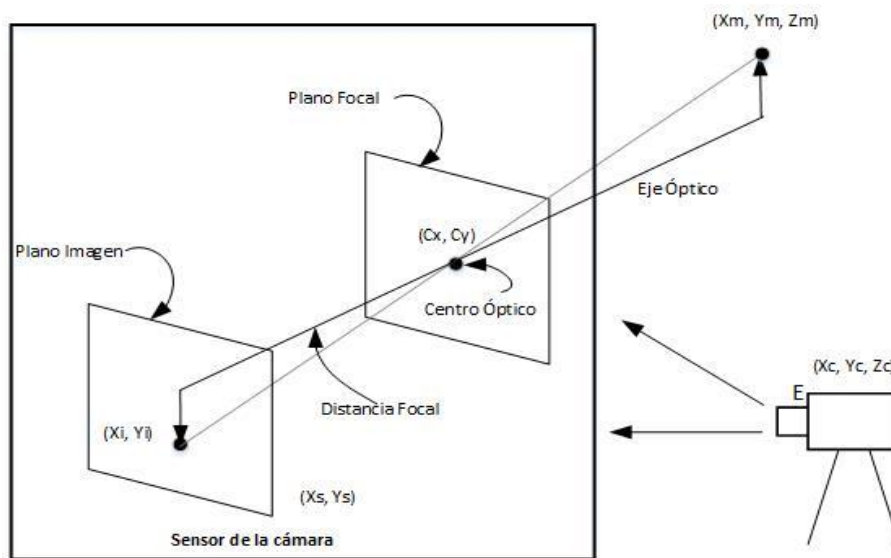


Gráfico 6.39. Representación Modelo *Pinhole*. (Matallana & Martínez Romero, 2017)

Modelo Matemático de la cámara

Cualquier cuerpo tridimensional (X_m, Y_m, Z_m) reproducido por la cámara en el mundo real puede representarse en el sistema de coordenadas de la cámara (X_c, Y_c, Z_c) , por medio del producto de una matriz de rotación R sumado a un vector de translación T . Las matrices R y T son conocidas como *parámetros extrínsecos*, como se observa en la ecuación 12.

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \end{bmatrix} + T = \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ r_4 & r_5 & r_6 \\ r_7 & r_8 & r_9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} \quad (12)$$

Si no se considera la distorsión radial y tangencial de los lentes de la cámara, las coordenadas (X_i, Y_i) de la imagen en el sensor de la cámara se pueden obtener con la ecuación 13.

$$\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ 1 \end{bmatrix} = k \begin{bmatrix} f_{cx} & 0 & C_x \\ r_4 & f_{cy} & C_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} \quad (13)$$

Donde:

f_{cx} y f_{cy} : Distancias focales de la cámara, que incluye el valor en milímetros (mm) del área del sensor óptico.

k : Factor de escala $\langle\langle zoom \rangle\rangle$.

C_x y C_y : Valores de las coordenadas del centro óptico de la cámara

Los valores descritos se denominan *parámetros intrínsecos* de la cámara.

(Matallana & Martínez Romero, 2017)

Metodología del proceso de calibración de la cámara

La metodología para el proceso de calibración de la cámara utiliza la librería *BoofCV* que tiene un aplicativo pre-compilado que permite la captura del patrón de calibración utilizándose un (tablero de ajedrez). En la gráfica 6.40, se visualiza el archivo.

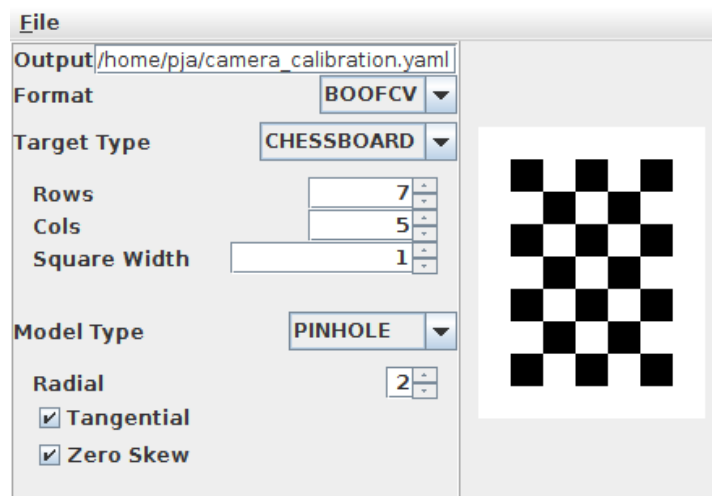


Gráfico 6.40. Aplicativo para la calibración de la cámara. (Abeles, Tutorial Camera Calibration, 2018)

Luego de utilizar la aplicación, se obtiene un archivo con extensión (*.yaml) que contiene los parámetros intrínsecos de la cámara Kinect RGB. Ver la gráfica 6.41.

```

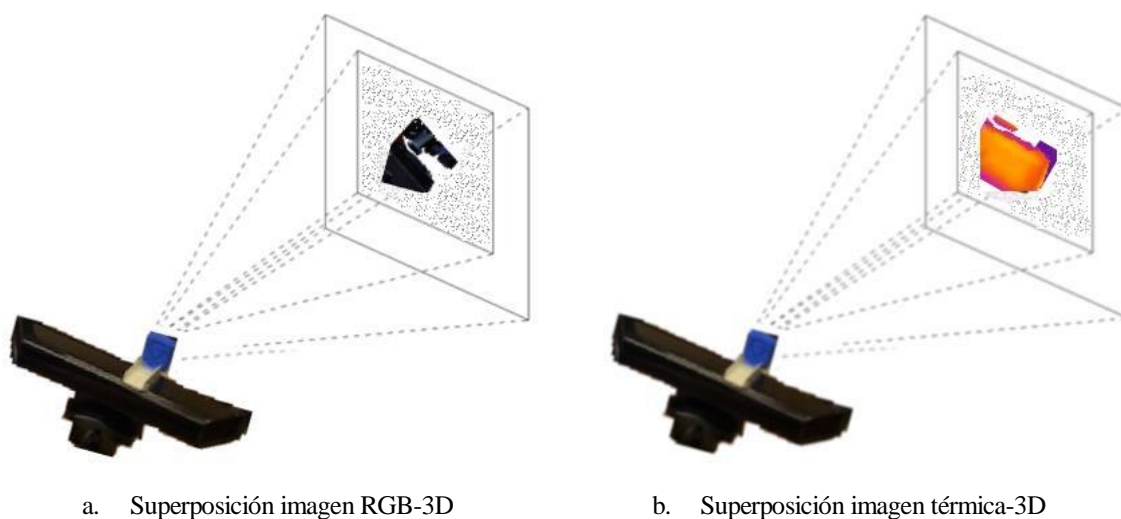
pinhole:
  fx: 529.74137370586
  fy: 529.5715453060717
  cx: 312.57382117058427
  cy: 257.05061008728114
  width: 640
  height: 480
  skew: 0.0
model: pinhole_radial_tangential
radial_tangential:
  radial:
    - 0.17889353480851655
    - -0.32301207366192053
  t1: 0.0
  t2: 0.0

```

Gráfico 6.41. Parámetros intrínsecos, resultado de la calibración de la cámara. (Abeles, Tutorial Camera Calibration, 2018)

Superposición de la imagen RGB y térmica

La superposición en la aplicación desarrollada, combina en primera instancia la imagen de profundidad con la imagen RGB creando una imagen RGB 3D. En segunda instancia se combina la imagen de profundidad con la imagen térmica creando una imagen térmica 3D. Estas nuevas imágenes se guardan bajo los ajustes de tamaño y calidad actual de la combinación. La gráfica 6.42, ilustra el proceso de superposición.



a. Superposición imagen RGB-3D b. Superposición imagen térmica-3D

Gráfico 6.42. Proceso de superposición de la imagen RGB y térmica.

Elaborado por: El investigador.

En la superposición de las imágenes se consideró la manipulación de la escala, así como la traslación horizontal y vertical. Esta operación permitió el ajuste de la imagen de profundidad y la creación de la imagen 3D RGB y 3D térmica.

Representación de datos en 3D

Para generar modelos en 3D con el sensor Kinect, se debe conocer cómo representar y almacenar esos modelos. Primero se tiene una imagen 2D, que consiste en una cuadrícula regular de píxeles que muestra el espacio 2D. La resolución de la imagen determina la calidad de la imagen, requisitos de procesamiento y memoria. La gráfica 6.43, ejemplifica esta característica. Sin embargo, cuando se trata datos en 3D, hay muchas opciones de representación, cada una con sus propias ventajas y desventajas. (Kramer, Burrus, Echtler, Herrera C, & Parker, 2012)

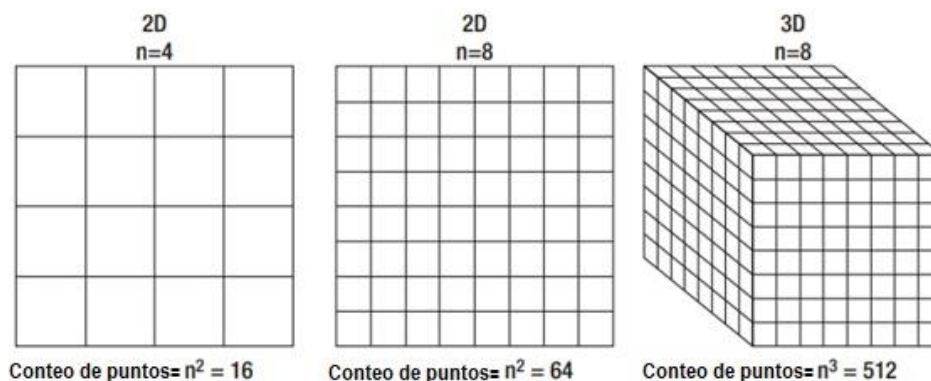


Gráfico 6.43. Escalado de píxeles por resolución y dimensiones. (Kramer, Burrus, Echtler, Herrera C, & Parker, 2012)

Nubes de puntos

Es un conjunto de puntos tridimensionales no conectados, que se lo conoce como "nubes"; porque la visualización denota falta de vínculos entre los puntos y hace que parezcan estar flotando en el espacio. El tipo más sencillo de nube de puntos contiene solo información de posición, pero cada punto puede contener otras propiedades como color y orientación normal. Las nubes de puntos se pueden usar como un modelo general, para la navegación con robots y evitar la colisión con puntos sobre el plano del suelo, o se pueden aplicar como un paso intermedio antes de una reconstrucción de una superficie que construya un modelo de malla (Kramer, Burrus, Echtler, Herrera C, & Parker, 2012).

La gráfica 6.44, muestra un ejemplo de una nube de puntos.

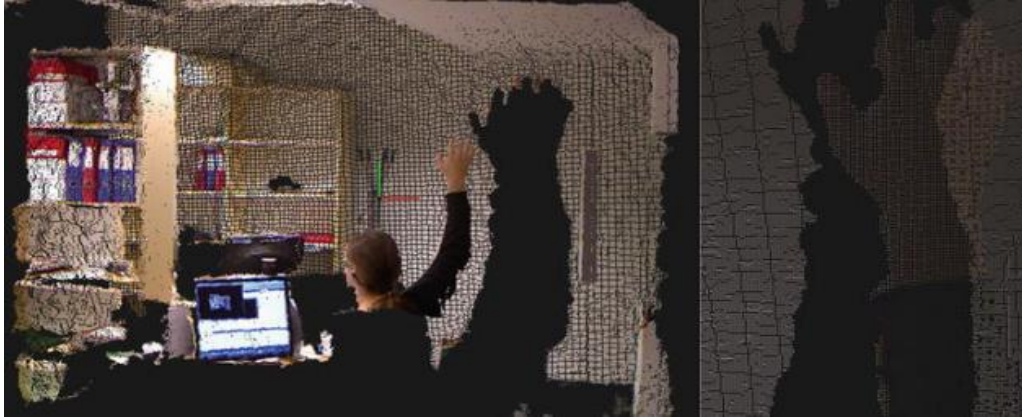


Gráfico 6.44. Representación de una nube de puntos. (Kramer, Burrus, Echtler, Herrera C, & Parker, 2012)

A la izquierda, se ve toda la imagen; a la derecha, se observa un primer plano de la mano levantada. Aunque la mano denota solides desde lo lejos, la vista ampliada a la derecha muestra los puntos desconectados. Entonces, la nube de puntos es la forma natural de representar la información obtenida por el sensor Kinect, porque cada píxel de la imagen de profundidad se puede transformar en un punto 3D, pero se desconoce si está conectado a otro punto. Para este propósito se utiliza la librería *boofCV* que contienen la función *depthTo3D* que permite la conversión desde un mapa de profundidad a una nube de puntos.

Transformación del mapa de profundidad a la nube de puntos

Los datos de profundidad que se obtienen por medio del sensor Kinect están en una imagen de intensidad 2D. Estos datos permiten tener una correspondencia entre la profundidad real (distancia desde la cámara en metros) y las unidades de disparidad del sensor Kinect utilizadas en la imagen de profundidad, por lo que resultan válidos los datos de calibración.

La conversión de unidades de disparidad a metros se realiza con la ecuación 14:

$$z = \frac{1}{\text{valor} \times (\text{dc}1 + \text{dc}2)} \quad (14)$$

Donde:

z: Coordenada profundidad

dc1: Constante de conversión 1.

dc2: constante de conversión 2.

La conversión está determinada por los coeficientes $dc1$ y $dc2$, que controlan la escala y el desplazamiento de la conversión respectivamente. Idealmente, $dc1$ y $dc2$ también deberían calibrarse, pero requieren un procedimiento de calibración diferente, por lo que se adoptan *valores calculados* mediante herramientas de calibración del sensor Kinect.

$$dc1 = -0.0030711016$$

$$dc2 = 3.3309495161$$

Valor = 2047 caso especial en la imagen de profundidad; indica una profundidad desconocida. Estos datos tienen una aproximación de alrededor de 10 cm a 4 m de distancia, y menos de 2 cm a 2,5 m. (Herrera C., 2011) (Kramer, Burrus, Echtler, Herrera C, & Parker, 2012)

Una mejor aproximación es la facilitada por Stéphane Magnenat, ecuación 15:

$$\text{Distancia} = 0,1236 \times \tan\left(\frac{\text{Datos sin procesar}}{2842,5 + 1,1863}\right) \text{ m} \quad (15)$$

Donde la tangente permite una aproximación de 0,33 cm y la aproximación $1/x$ es de 1,7 cm; se considera que la librería *FREENECT_DEPTH_MM* adjunta procesos trigonométricos que precisan mejor la calibración (lucasrangit, 2013).

Una vez que se determina la coordenada “Z”, se puede usar el modelo matemático “Matriz Rotación-Traslación (R | T)” de la cámara con orificios, gráfica 6.45, para obtener las coordenadas X e Y.

$$\begin{bmatrix} r_11 & r_12 & r_13 & t_1 \\ r_21 & r_22 & r_23 & t_2 \\ r_31 & r_32 & r_33 & t_3 \end{bmatrix}$$

Gráfico 6.45. Matriz R | T combinada. (Kramer, Burrus, Echtler, Herrera C, & Parker, 2012)

La matriz R | T trabajan juntas para rotar y trasladar el punto proyectado del mundo en un marco de coordenadas en referencia a la cámara. En la gráfica 6.44, se observó cómo construir una nube de puntos a partir de una imagen de profundidad de Kinect. La imagen de profundidad se da como resultado de una imagen de *OpenCV*.

Coloreando una nube de puntos

La nube de puntos que se construye, solo contiene información de posición en 3D; pero el sensor Kinect también entrega información de una imagen a color; que por medio de los puntos que se obtienen de la imagen de profundidad se pueden transformar en el marco de coordenadas de la cámara a color. Se debe tomar en cuenta que las cámaras tienen diferentes distancias focales y orígenes, por lo que no se puede utilizar en 2D. Lo destacado es toda la información necesaria para la calibración.

Para colorear los puntos, se deben aplicar dos pasos: primero se aplica una transformación rígida para convertir los puntos en el marco de coordenadas de la cámara a color; segundo, los puntos se proyectan en el plano de imagen de la cámara a color. (Kramer, Burrus, Ehtler, Herrera C, & Parker, 2012)

Transformación de la profundidad al marco de referencia de color

La rotación y la traslación tienen una transformación rígida; esto muestra la matriz $R | T$ y sus datos de calibración. Esta referencia aplica en la transformación de la profundidad al marco de referencia de color, y está dada por la ecuación 16:

$$p_c = R \times p_d + T \quad (16)$$

Donde:

R: Matriz de 3×3

p_d : vector de 3×1

T: vector de 3×1

La gráfica 6.46, muestra cómo se usan las matrices para realizar una rotación y una traslación.

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{1x} & r_{1y} & r_{1z} \\ r_{2x} & r_{2y} & r_{2z} \\ r_{3x} & r_{3y} & r_{3z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_d \\ y_d \\ z_d \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix}$$

Gráfico 6.46. Multiplicación matricial utilizada para una transformación rígida. Los elementos resaltados a la derecha se utilizan para calcular la coordenada "y" del punto transformado. (Kramer, Burrus, Ehtler, Herrera C, & Parker, 2012)

Para calcular y_c , los elementos de r_2 y p_d se multiplican elementalmente y se agregan a t_y .

El antecedente técnico y matemático, fundamenta el sistema de control de termografía 3D, que se basa del entorno de desarrollo NetBeans IDE escrito en Java. El software permite escribir, compilar, depurar y ejecutar programas; además se consideraron las características indicadas en la tabla 6.5 (Netbeans.apache.org, 2000).

El programa se ejecuta como multitarea (programas que realizan varias tareas de manera simultánea, en los que la ejecución de una parte requiere tiempo y no se deba detener el resto del programa) (Caballero, 2005), lo cual permite controlar las cámaras para la funcionalidad requerida. A continuación se describe la operatividad de los programas:

Programa para capturar

El programa para capturar, se emplea en la *adquisición de las imágenes y datos que van a ser procesados*. La gráfica 6.47, indica el lenguaje unificado de modelado (*Unified Modeling Language* [UML] o también conocido como diagramas de clase del programa para capturar.

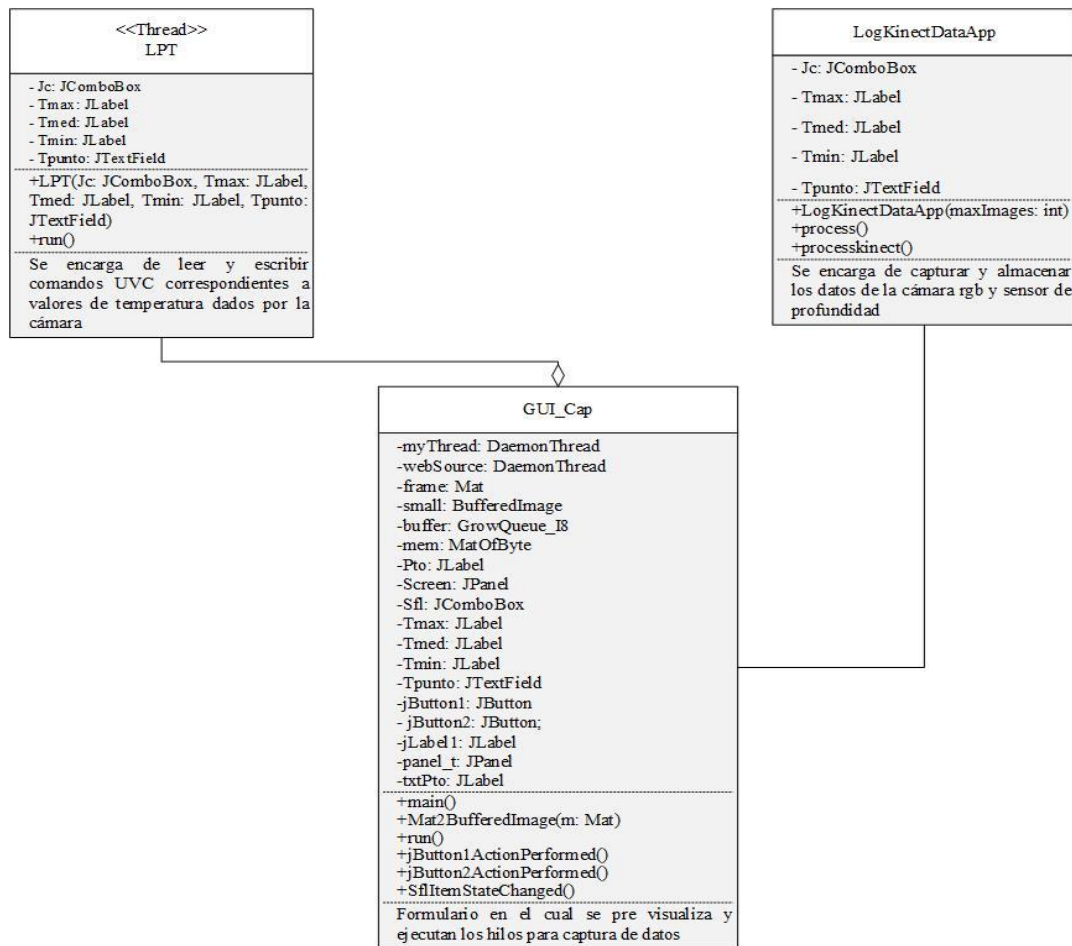


Gráfico 6.47. Diagrama de clase para la captura de imágenes del sistema de termografía 3D.

Elaborado por: El investigador.

Funcionamiento del programa para capturar

El programa emplea varias clases para su funcionamiento. A continuación se describe cada clase y la utilidad del mismo en el programa.

Clase: LPT

La clase *LPT* se ejecuta en paralelo o hilo de ejecución empleando la librería *javonet* (SdNcenter, 2014), permitiendo utilizar métodos para la obtención de temperatura entregados por las librerías (dll.NET) proporcionadas por el SDK de *FLIR Lepton*. Esta clase tiene como parámetros los elementos de la interfaz gráfica; los cuales se encargan de actualizar los valores obtenidos de la temperatura, además se encarga de los colores de la paleta de color que dispone la *FLIR Lepton*.

Clase: LogKinectDataApp

La clase *LogKinectDataApp* utiliza las librerías dinámicas *de openkinect (frenect.dll)* que establece la comunicación con el sensor Kinect; además sus dependencias almacenan los datos obtenidos con el sensor Kinect (datos RGB y de profundidad). Otra característica es que el programa utiliza librerías y ejemplos de *BoofCV* desarrollados por Peter Abeles. (Abeles, 2017)

Clase: GUI_Cap

La Clase *GUI_Cap* es la interfaz gráfica que instancia las clases descritas y ejecuta los hilos explicados anteriormente. Además mediante *OpenCV* se puede visualizar en tiempo real la vista previa (video) de la cámara térmica y las temperaturas medidas. Conjuntamente se ejecuta el hilo *LPT*, e instancia a la clase *LogKinectDataApp*. Al accionar la opción *Captura* se guardan los datos requeridos para el análisis térmico del objeto seleccionado.

Cartas de responsabilidad para la captura de imágenes.

Las gráficas 6.48, 6.49 y 6.50, describen la Clase-Responsabilidad-Colaborador para la captura de imágenes.

LPT	
Responsabilidades	Colaboradores
<ul style="list-style-type: none"> • Leer la librería LeptonUVC.dll. • Obtener datos de la temperatura. • Cambiar color de la paleta de color de la FLIR Lepton. 	<ul style="list-style-type: none"> • Librería Javonet.

Gráfico 6.48. Carta de responsabilidad de la clase LPT.

Elaborado por: El investigador.

LogKinectDataApp	
Responsabilidades	Colaboradores
<ul style="list-style-type: none"> • Leer la librería freenect. • Obtener imagen de profundidad. • Obtener imagen rgb. • Guardar archivos de imagen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Librería jna native library. • Librería BoofCV.

Gráfico 6.49. Carta de responsabilidad de la clase LogKinectDataApp.

Elaborado por: El investigador.

GUI_Cap	
Responsabilidades	Colaboradores
<ul style="list-style-type: none"> • Mostrar la vista previa de imagen térmica. • Mostrar comandos visuales para el cambio de paletas de color. • Mostrar el botón de comando para capturar los datos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Librería Opencv. • Librería BoofCV. • Clase LPT. • Clase LogKinectDataApp.

Gráfico 6.50. Carta de responsabilidad de la clase GUI_Cap.

Elaborado por: El investigador.

Las imágenes y datos adquiridos por el programa son:

Profundidad que genera dos archivos

- Imagen de profundidad (*mapa de profundidad*) es un archivo con extensión (*.png), para el procesamiento de la nube de puntos obtenidos en la vista previa.
- Datos de profundidad es un archivo con extensión (*.depth), para la creación del archivo con extensión (*.csv) de la nube de puntos a ser guardada como respaldo para su análisis.

Imagen RGB

- Imagen a color es un archivo con extensión (*.png), para la pre-visualización 2D y el procesamiento 3D de la nube de puntos (vista previa).
- Datos a color es un archivo con extensión (*.ppm), para la creación archivo con extensión (*.csv) de la nube de puntos a ser guardada como respaldo para su análisis.

Imagen Térmica

- Imagen térmica es un archivo con extensión (*.png), para la pre-visualización y el procesamiento 3D de la nube de puntos (vista previa).
- Datos térmicos es un archivo con extensión (*.ppm), para la creación archivo con extensión (*.csv) de la nube de puntos a ser guardada como respaldo para su análisis.

Escalas de color isotérmicas y medida de temperatura

- Al momento de realizar la captura de la imagen, se guarda un panel con la información referente a la escala de color isotérmica empleada y a las medidas de temperaturas (máxima, media y mínima). Cabe indicar que la utilización de la paleta de color con las distintas escalas isotérmicas dependerá de la política de la organización.

En la gráfica 6.51, se muestra las ocho paletas de colores que incorpora el módulo de la cámara *FLIR Lepton*.

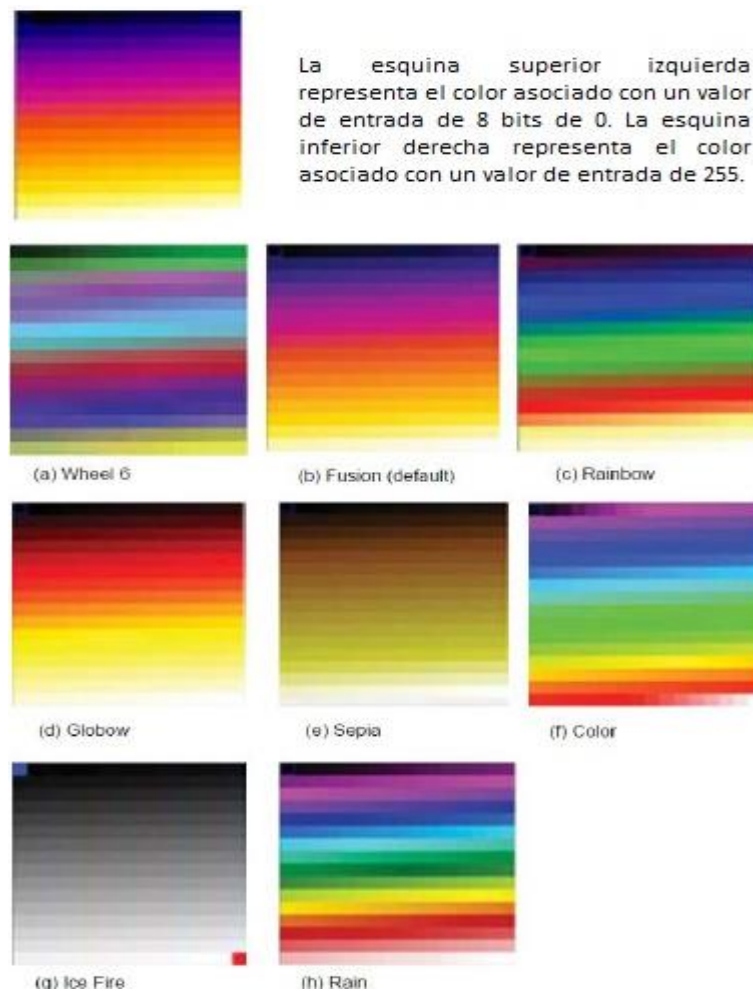


Gráfico 6.51. Paletas de colores del módulo de la cámara FLIR Lepton. (FLIR Systems, Inc., 2018)

En la gráfica 6.52, se visualiza la aplicación de las paletas de color del programa desarrollado para el sistema de control de termografía 3D.

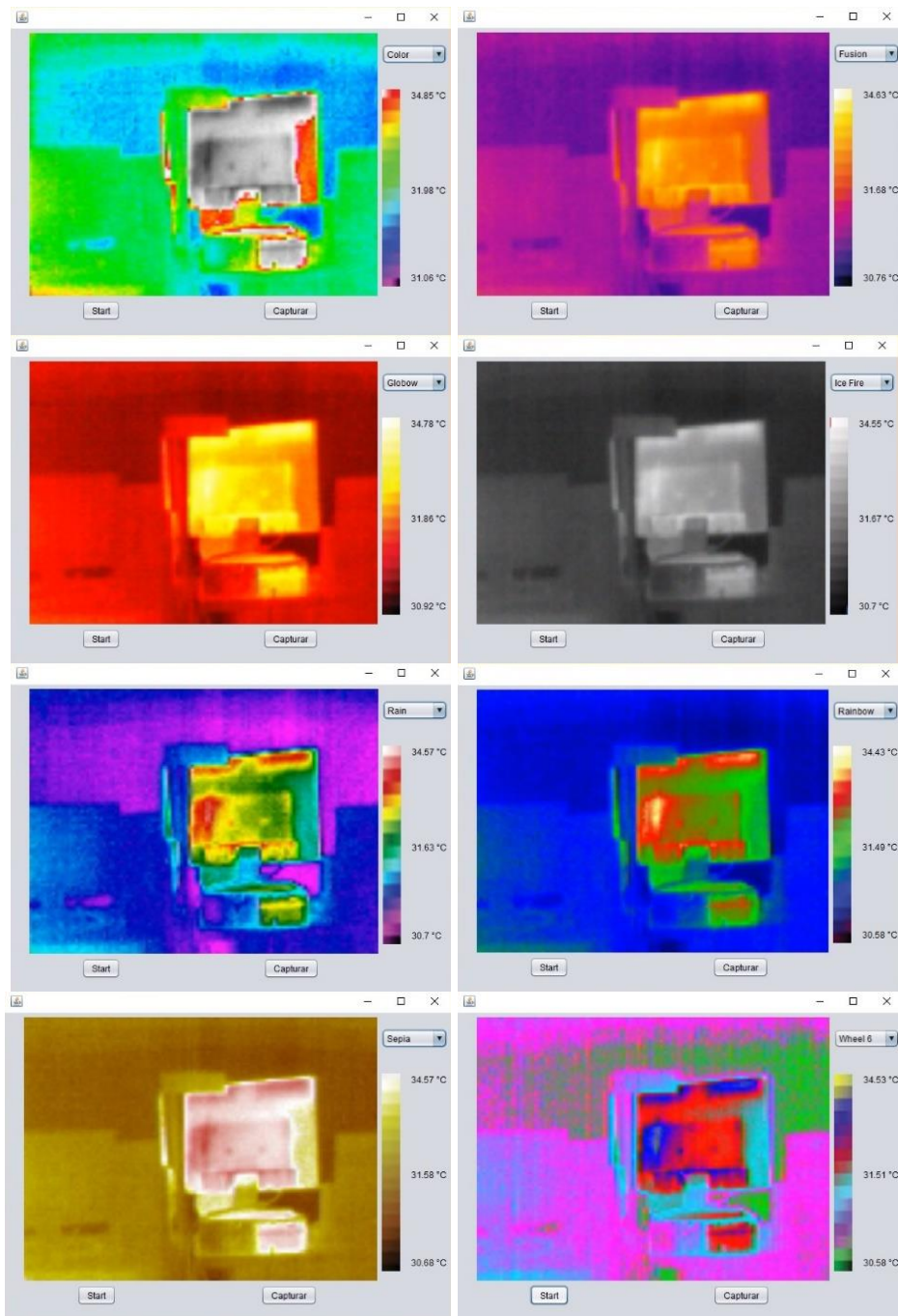


Gráfico 6.52. Imágenes térmicas con las distintas paletas de color.
Elaborado por: El investigador.

Todos los archivos generados por el programa, son guardados en la *carpeta log*. Estos archivos son remplazados en cada nueva captura. Considerar que una vez realizada una captura el programa se cierra automáticamente.

La gráfica 6.53, muestra la ventana del programa capturar.

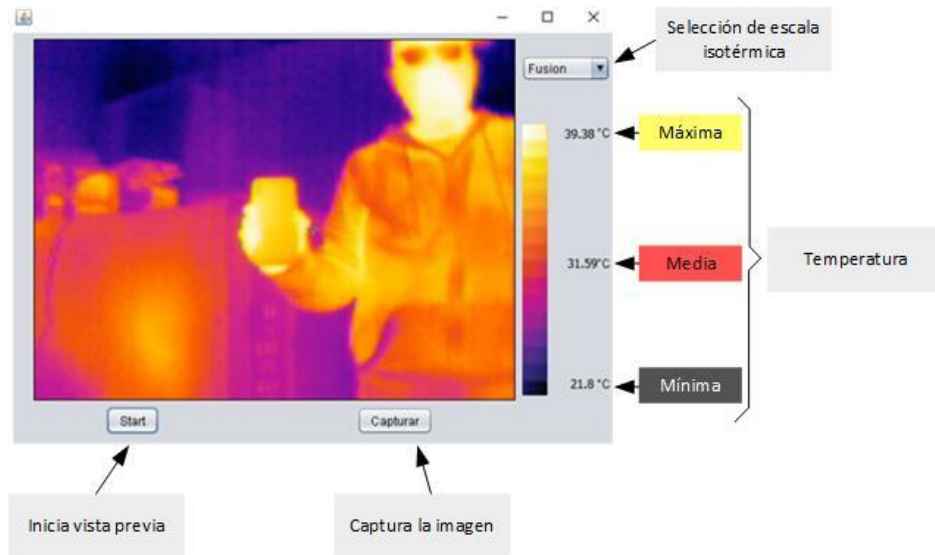


Gráfico 6.53. Ventana del programa capturar.
Elaborado por: El investigador.

Programa Kinect

El programa *Kinect* es el que acciona al programa *capturar* descrito anteriormente. Al presionar el botón *capturar*, se ejecuta el programa de captura. El programa *Kinect* debe estar en la misma ubicación o raíz que el programa *capturar* para ejecutarse sin problema alguno. Luego de la captura se pueden realizar las siguientes acciones:

Correr

Al presionar la opción *Correr* del programa permite ejecutar varias acciones en el algoritmo, entre las cuales se describen:

- Redimensionar la imagen térmica para la superposición sobre la nube de puntos 3D.
- Pre-visualizar las imágenes:
 - 2D en RGB
 - Térmica
 - Escala isotérmica de temperatura
- Reconstruir la pre-visualización 3D de la nube de puntos RGB. Conjuntamente la pre-visualización 3D se realiza a partir de los archivos con extensión (*.png) de profundidad, térmico y rgb.

Guardar

La opción *Guardar* del programa, permite almacenar o guardar los distintos archivos generados por el programa, en la ruta especificada con un nombre previamente entregado:

- Imágenes:
 - 2D en RGB
 - Térmica
- Reporte de termografía:
 - Se capturan las imágenes 2D y 3D en RGB y térmicas en conjunto para compararlas, además de la escala isotérmica y de las temperaturas registradas.
 - Se guarda la nube de puntos RGB y térmica.

En la gráfica 6.54, se indica el diagrama de clase o UML del programa *Kinect*.

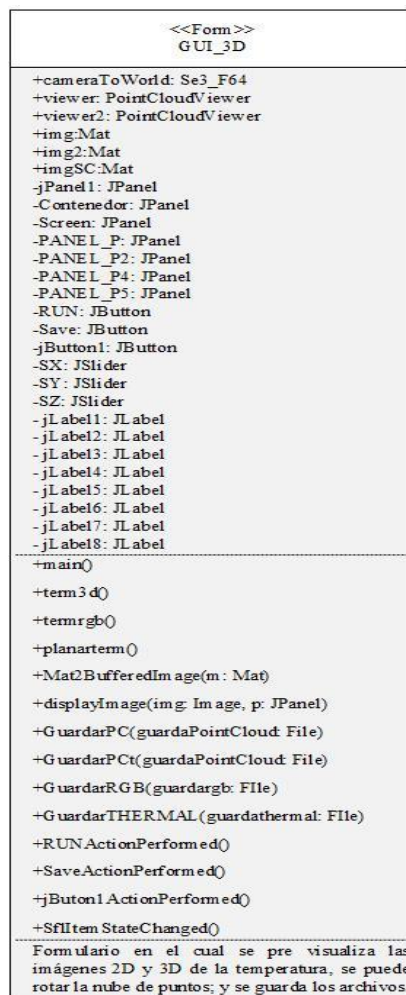


Gráfico 6.54. Diagrama de clase programa Kinect.
Elaborado por: El investigador.

La clase GUI_3D es la única del programa que se encarga de gestionar los datos del sensor Kinect y de la cámara térmica. Su funcionamiento se debe a la aplicación de las librerías *boofCV* y *openCV*, las cuales permiten presentar en los paneles las imágenes térmicas y RGB en 2D y 3D, a través de *boofCV*, se crean los visores de nubes de puntos, los cuales son controlados mediante deslizadores (*sliders*). Los datos que son tratados en la aplicación pueden ser almacenados. Las imágenes se almacenan en extensión (*.png), mientras que las nubes de puntos se guardan en extensión (*.csv), (*.xyz) y RGB.

Cartas de responsabilidad para la captura de imágenes.

Las gráficas 6.55, describe la Clase-Responsabilidad-Colaborador para la clase GUI_3D encargada de gestionar los datos del sensor Kinect y de la cámara térmica.

GUI_3D	
Responsabilidades	Colaboradores
<ul style="list-style-type: none"> • Mostrar imagen térmica 2D. • Mostrar imagen térmica RGB. • Mostrar temperatura y paleta de color. • Mostrar nube de puntos térmica. • Mostrar nube de puntos RGB. • Rotar nubes de puntos térmicas y RGB. • Guardar imagen 2D térmica. • Guardar imagen 2D RGB. • Guardar nube de puntos 3D térmica. • Guardar nube de puntos 3D y RGB. 	<ul style="list-style-type: none"> • Librería OpenCV. • Librería BoofCV.

Gráfico 6.55. Carta de responsabilidad de la clase GUI_3D.

Elaborado por: El investigador.

Funcionamiento del programa Kinect

El programa emplea varios métodos para su funcionamiento. A continuación se describe cada método y la utilidad del mismo en el programa.

Método: Overlay

El método *Overlay* es el que por medio de las funciones de la librería *openCV*, realiza el procesamiento de la imagen (se recorta y reajusta la imagen térmica) para ser procesada en la reconstrucción 3D.

Método: Mat2Bufferread

El método *Mat2Bufferread* es el que convierte una imagen tipo *Matriz* de *openCV* a un archivo *BufferreadImage*, para ser pre-visualizada en la interfaz.

Método: DisplayImage

El método *DisplayImage* es el que permite pre-visualizar una *BufferreadImage* en un componente *Java* como si fuese un ícono (programa) del mismo.

Método: Rgb3D

El método *Rgb3D* es el que por medio de las librerías *BoofCV* y los ejemplos desarrollados por Peter Abeles; se puede implementar y realizar la reconstrucción de una escena 3D a color a partir de una escena previamente capturada. (Abeles, 2017)

BoofCV

Es una librería de código abierto escrita desde cero, para la visión de la computadora en tiempo real. Su funcionalidad cubre el procesamiento de imágenes de bajo nivel; calibración de la cámara; detección y seguimiento de características del objetivo; estructura desde el movimiento; reconocimiento y marcador de referencia. Además posee una licencia Apache 2.0 para uso académico y comercial.

BoofCV se organiza en varios paquetes: procesamiento de imágenes, características, visión geométrica, calibración, reconocimiento, visualización, entradas y salidas (*input-output* [I/O]).

- El procesamiento de las imágenes contiene funciones que trabajan directamente en píxeles.
- Las características contienen algoritmos de extracción de particularidades para su uso en operaciones de nivel superior.
- La calibración tiene rutinas para determinar los parámetros intrínsecos y extrínsecos de la cámara.
 - *Parámetros intrínsecos* son los que describen la distancia focal, centro óptico, coeficientes de distorsión de la lente, factores de escala en píxeles.

- *Parámetros extrínsecos* describen la ubicación de las cámaras en el espacio en relación con un objeto fijo. (MathWorks, 2013)
 - El reconocimiento y seguimiento es para objetos visuales complejos.
 - La visión geométrica se compone de rutinas para procesar características de imágenes extraídas utilizando geometría 2D y 3D.
 - Visualización tiene rutinas para *renderizar* (generar una foto realista en 3D) y mostrar características extraídas.
 - IO tiene rutinas de entrada y salida para diferentes estructuras de datos.
- (Boofcv.org, 2018)

Método: Term3D

El método *Term3D* es idéntico al método descrito anteriormente. En cambio aquí se emplea una imagen térmica en lugar de la imagen RGB. Esto permite realizar la reconstrucción de una escena 3D térmica.

Método: Guardar PC

El método *Guardar PC* emplea los archivos de extensión (*.depth) y (*.ppm). Para crear un archivo de extensión (*.csv) de la nube de puntos. La extensión (*.csv) puede ser abierta por el programa *MeshLab*, permitiendo realizar un análisis más profundo y a color del objeto inspeccionado. El método se basa en el ejemplo desarrollado por Peter Abeles con su librería *boofCV*. (Abeles, 2017)

Método: Guardar PCt

El método *Guardar PCt* es idéntico al método descrito anteriormente. Aquí se emplea la imagen térmica de archivo de extensión (*.ppm). Para crear un archivo de extensión (*.csv) de la nube de puntos. La extensión (*.csv) puede ser abierta por el programa *MeshLab*, permitiendo realizar un análisis térmico (valor agregado) más profundo del objeto a ser inspeccionado.

Interfaz: Kinect

La *Interfaz Kinect* tiene los siguientes controles que se describen a continuación:

- El botón *Capturar*, ejecuta el *programa para capturar* de forma independiente obteniendo las imágenes y datos indicados anteriormente.
- El botón *Correr*, ejecuta los métodos, *overlay*, *Mat2Bufferread*, *DisplayImage*, *Rgb3D* y *Term3D* que permite generar un reporte del análisis termográfico.
- El botón *Guardar*, ejecuta los métodos, *Guardar PC*, *Guardar PCt* y se escriben los archivos de imágenes 2D para su almacenamiento.

La gráfica 6.56, muestra la ventana del reporte del análisis termográfico.

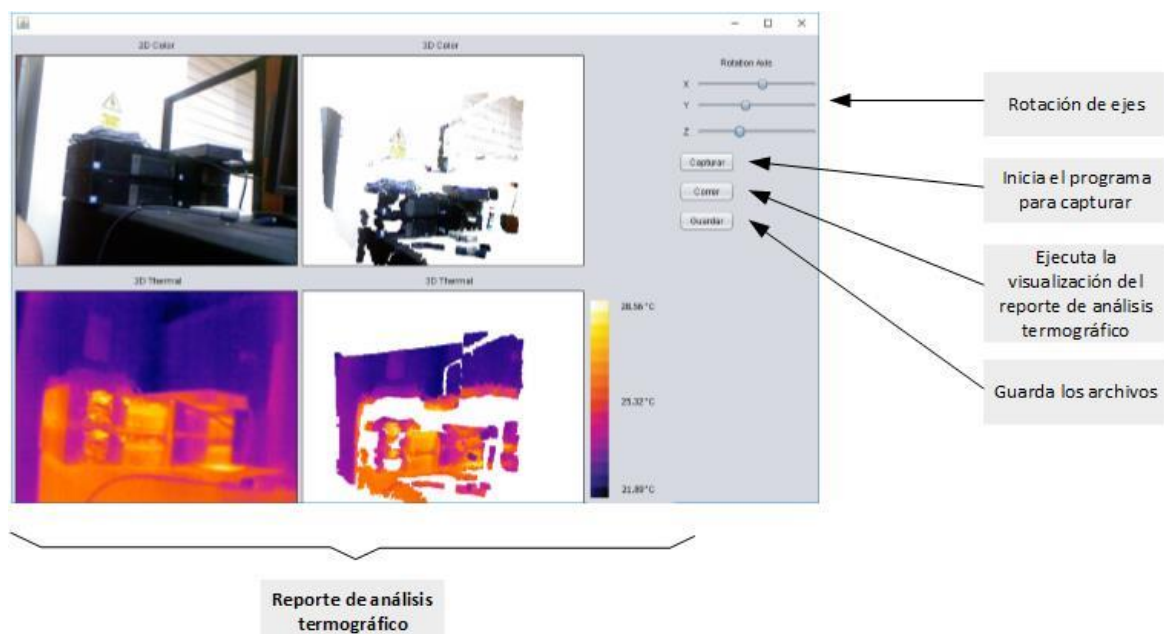


Gráfico 6.56. Reporte del análisis termográfico.

Elaborado por: El investigador.

Archivos finalmente obtenidos con su respectiva extensión por el sistema de control de termografía 3D:

- Archivo de nube de puntos para generar imagen 3D en RGB extensión (*.txt).
- Archivo de nube de puntos para generar imagen 3D térmica extensión (*.txt).
- Archivo de imagen del reporte técnico extensión (*.png).
- Archivo de imagen 2D RGB del objeto analizado extensión (*.png).
- Archivo de imagen 2D térmica del objeto analizado extensión (*.png).

De lo indicado, es importante complementar ciertos procesos de desarrollo del software del sistema de control de termografía 3D, que se detallan a continuación:

Software utilizado:

- Entorno de desarrollo integrado (*Integrated Development Environment* [IDE] *Java Netbeans* Versión 8.2).
- Kit de desarrollo de Java (*Java Development Kit* [JDK]) Versión 8.
- Java Versión 8:
 - Permite realizar capturas de pantalla (*screenshot*) de elementos específicos (panel contenedor del reporte).
 - Flexibilidad en el manejo.
 - Fácil depuración y compilación.
 - Portabilidad.
 - Uso del *SDK* proporcionado por FLIR para el manejo de comandos UVC que permite manipular las bondades de la cámara (datos radiométricos y escalas isotérmicas de color), para lo cual utiliza las siguientes librerías:
 - *SetSpotMeterRoi*.
 - *GetSpotmeterObjInKelvinx100*.
- *OpenCV*:
 - Pre-visualización de la imagen térmica 2D.
 - Permite mostrar las imágenes 2D en paneles.
- *BoofCV*:
 - Genera una nube de puntos.
 - Guarda los archivos del Kinect.
 - Guarda el archivo *xyz* de la nube de puntos.
 - Permite crear un visualizador 3D de la nube de puntos en un panel.

- Permite la superposición de la imagen sobre los puntos en el espacio reconstruido.
 - Se vincula a las librerías de *javonet* que son puente para las (*.dll), de la radiometría que permiten determinar la temperatura de la escena examinada.
- *Freenect librerías libres para uso de Kinect:*
- Uso de librerías *libusk* para acceder a los controladores Kinect
 - Freenect y Libusbk se emplean en lugar de las librerías oficiales de Microsoft debido a que estas no son modificables.
 - Uso de JNA java native Access para acceder a las funciones de la librería freenect.
- Tiempo de ejecución (*Runtime Visual studio VC14*) como dependencia de *freenect*.

Integración del hardware y software del sistema de control de termografía 3D

La integración del hardware y software del sistema de control de termografía 3D, se facilita si previamente se instalaron todos los controladores y requerimientos para su correcto funcionamiento. La vinculación del hardware (dispositivos) sensor Kinect y cámara térmica se realiza por los puertos el USB del computador; cabe indicar que la cámara térmica requiere de un puerto USB 3.0 para su correcta ejecución. Una vez que se han vinculado los dispositivos se localiza el software para el análisis termográfico.

El manejo del software para el análisis termográfico es amigable, puesto que solo se tiene que localizar el objetivo mediante las cámaras a una distancia igual o superior a 0,8 metros para obtener mejores resultados. Si se desea se puede cambiar la imagen isotérmica, esto dependerá de cómo se quiera presentar el reporte termográfico y/o política de la organización. Si ya se cumplió con lo indicado, se puede capturar y luego correr el programa para visualizar el reporte termográfico; si se desean obtener más reportes termográficos, se realiza una nueva captura y se realiza el mismo procedimiento. Todos los resultados de los reportes se guardan automáticamente en un directorio o carpeta creada por el técnico encargado del mantenimiento. En el análisis termográfico si el resultado satisface y si es necesario se puede rotar el objetivo en 3D, para finalmente guardar el reporte termográfico. La gráfica 6.53, muestra la integración del hardware y software sistema de control de termografía 3D.



Gráfico 6.57. Integración del hardware y software sistema de control de termografía 3D.
Elaborado por: El investigador.

Efectuada la integración del hardware y software del sistema de control de termografía 3D, es preciso comparar el instrumento desarrollado con otros instrumentos que realizan medición y procesamiento de imágenes termográficas. En la tabla 6.8, se estima un análisis comparativo del diseño desarrollado con la cámara utilizada en las pruebas de funcionamiento, así como con otra cámara que puede ser instalada en una posición fija.

Tabla 6.8. Especificaciones y comparación de las cámaras termográficas.

Modelo	SCT-3D	RSE300 (FLUKE)	HT-175
Características			
Resolución de infrarrojos	160 x 120 (19200 píxeles)	320x240 (76800 píxeles)	32 x 32 (1024 píxeles)
Resolución espacial	----- 57° H (nominal) 71° diagonal	1,85 mrad	-----
Campo de visión	80 cm	34 °H x 25,5 °V	33 °H x 33 °V
Distancia focal mínima	80 cm	15 cm	-----
Opciones de enfoque	Fijo	Si mediante programa	Fijo
Interface para transferencia de datos	USB 2.0 y USB 3.0	GigE Vision	-----
Sensibilidad térmica	<50 mK (0,050 °C)	≤30 mK (0,030 °C)	-----
Control de nivel y rango	-----	Si mediante programa	-----
Sistema de captura, revisión y almacenamiento de imágenes	Si mediante programa	Si mediante programa	-----
Visualización	2D y 3D	2D	2D
Desarrollo software	Abierto	Cerrado	-----
Formato de archivo de imagen	2D (PNG, txt) 3D (PNG, txt)	Bitmap (.bmp), GIF, JPEG, PNG, TIFF	-----
Rango de medida de temperatura	-10 a 400 °C	-10 °C a +1200 °C	-20 ~ 300°C
Precisión	± 2 °C o ± 2%	± 2 °C o ± 2%	± 2%/±2°C
Captura automática	-----	Si	-----
Paleta de colores	8	8	1
Banda espectral infrarroja	8 μm a 14 μm (onda larga)	8 μm a 14 μm (onda larga)	8 μm -11.5 μm
Temperatura de trabajo	-10 a +80 °C	-10 °C a +50 °C	0-50 °C
Medida de temperatura en el punto central	No	Si	Si
Dimensiones (largo, ancho y alto)	24.9cm x 6.6cm x 6.7cm	16,5 cm x 8,3 cm x 8,3 cm	16,5 cm x 6,9 cm x 6,0 cm
Peso	0,69 Kg Kinect y 0,1 kg Termográfica	1 kg	0,135 Kg

----- No especifica información el fabricante, o no dispone funcionalidad operativa.

(FLIR Systems, Inc., 2018) (Birbilis, 2015) (Dongguan Xintai Instrument Co., Ltd., 2017) (Fluke Corporation, 2018)

Elaborado por: El investigador.

La tabla 6.8, describe características importantes de las cámaras termográficas analizadas. El sistema de termografía 3D, al ser un prototipo, tiene la ventaja de desarrollarse y mejorar sus funcionalidades tanto en software y hardware a un bajo costo; su plus radica en el análisis y supervisión de objetos en 3D. En cambio el modelo RSE300 de Fluke sus beneficios son grandes por la amigabilidad del software y características de mejor resolución del objeto en 2D, pero su costo en el mercado es alto y su funcionalidad para realizar mejoras es cerrada por ser una arquitectura de propietario. Por último la cámara HT-175, tiene limitadas características en la resolución y que no se pueden guardar las imágenes de los objetos analizados; siendo su uso básico en la supervisión de dispositivos o equipos.

Pruebas de funcionamiento del sistema de control de termografía 3D

Las pruebas de funcionamiento del sistema de control de termografía 3D, se realizaron en las instalaciones de la Dirección de Educación a Distancia y Virtual (DEaDV), donde se dispone de un centro de datos (*Data Center*) con equipos computacionales como servidores, computadores, enrutadores, interruptores, sistemas de protección ininterrumpida, entre otros.

Como antecedente se consideró que un *Data Center*, debe mantener una temperatura estabilizada y controlada, patrón fundamental del control ambiental, que contribuye a tener un *Data Center* robusto, confiable y duradero.

El rango de temperatura óptimo para un *Data Center* es considerado en un intervalo de 17 °C a 21 °C. Esta temperatura no es fija, sino que también existe un margen aceptable de operación que sería en el intervalo de 15 °C a 25 °C. Es recomendable que temperaturas superiores a 25 °C deban ser corregidas de manera ágil, ya que implica poner en riesgo el equipamiento del *Data Center*.

El rango de temperaturas de operación es indicado por los fabricantes de circuitos integrados para lograr un funcionamiento idóneo en rendimiento y vida útil. Esto es resultado de la Ley de Arrhenius [Svante August Arrhenius (1859-1927) fue un científico físico-químico sueco, galardonado con el Premio Nobel de Química, en 1903] o también conocido como la Regla de los 10 grados. La regla dice que: “*La vida de un componente o material se reduce a la mitad por cada 10 °C de aumento en la temperatura; aplicado inversamente: por 10 °C de disminución de temperatura, la vida útil de un semiconductor se duplicará*”.

Las empresas con grandes *Data Centers*, consideran a la temperatura como una variable crítica de medir, puesto que no existe un único punto de referencia para tomar una muestra. Siendo necesario tomar varias muestras en los distintos equipos de computación, pasillos, armarios o estantes (*racks*).

En la actualidad, los departamentos de Tecnologías de la Información (TIC), discuten sobre la temperatura ideal de operación de un *Data Center*, lo mencionado se debe a la publicación de las mejores prácticas recomendadas por la reconocida Sociedad Americana de Ingenieros de

Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (*American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers* [ASHRAE]) en el año 2011, dicho organismo sugiere que el rango de operación sea más amplio dependiendo de la dimensión estructural del *Data Center*, diferente a lo publicado en el año 2008 y en el año 2004, donde se recomienda:

- 2004 operación entre 20 °C y 25 °C.
- 2008 operación entre 18 °C y 27 °C.
- 2011 operación entre 5 °C y 40 °C. (No es para todos los tipos de *Data Centers* varía según su clasificación)

La industria es el principal impulsor para ampliar los límites, tener mayor flexibilidad, y al mismo tiempo, reducir costos en enfriamiento. Para lo cual, se debe tener un claro conocimiento de la edad de los servidores, el mantenimiento que se realiza y las políticas de renovación. Se debe considerar que no es lo mismo renovar equipos cada tres, cinco o siete años. Esto puede variar por razones presupuestarias o dificultades de migración de datos; por lo que es preciso un plan y equipos de mantenimiento que permitan salvaguardar la información.

El conocimiento de la renovación de equipos será *importante* si se conoce que cada tres años se renueva los mismos, probablemente no se tenga problemas de operación del *Data Center* a 27 °C. En cambio, si se conoce que la vida útil de los servidores va a ser mucho más extendida, se debe pensar en un rango de operación más bajo, para así prolongar la vida útil de los equipos, siendo aquí importante realizar una *inspección termográfica de los índices de temperatura de los equipos* y seguir la Regla de los 10 grados, a menor temperatura, mayor es la durabilidad de los componentes.

Además, la norma *TIA/EIA-942* recomienda como rango tolerable de temperatura entre 20 °C a 25 °C. En cambio los principales fabricantes de servidores recomiendan un rango de temperatura de operación:

- IBM: 22 °C
 - Dell: 23 °C
 - HP: 22 °C
- (Pacio, 2014)

La temperatura que operan los *Data Centers* de las grandes empresas:

- Google: 26 °C
- Sun: 27 °C
- Cisco: 25 °C
- Facebook: 22°C

(Data Center Knowledge, 2013)

Con lo especificado, se procedió a realizar las pruebas de los equipos computacionales de la DEaDV, utilizando el sistema de control termográfico 3D.

Para la actividad se planificaron tres horarios, en donde las mediciones de los equipos garanticen condiciones idóneas y puedan ser comparadas. La tabla 6.9, muestra las consideraciones para tal propósito.

Tabla 6.9. Consideraciones para las pruebas de medición.

Consideración	Observación 1	Observación 2	Observación 3
Emisividad	≈0,9	≈0,9	≈0,9
Temperatura del ambiente	14 °C a 20 °C	18 °C a 25 °C	15 °C a 22 °C
Banda espectral	8 μm – 14 μm	8 μm – 14 μm	8 μm – 14 μm
Lente:	Flir: 57° H (nominal) 71° diagonal	Flir: 57° H (nominal) 71° diagonal	Flir: 57° H (nominal) 71° diagonal
	Kinect: 43° vertical x 57° horizontal	Kinect: 43° vertical x 57° horizontal	Kinect: 43° vertical x 57° horizontal
Radiometría	±5 °C o 5%	±5 °C o 5%	±5 °C o 5%
Distancia de medición	2 m – 4 m	2 m – 4 m	2 m – 4 m
Ángulo de medición	≈(35 ° a 45°)	≈(35 ° a 45°)	≈(35 ° a 45°)
Horario de medición	08:00 h – 09:00 h	12:00 h – 13:00 h	18:00 h – 19:00 h
Potencia de los equipos	0,3 kW a 1 kW	0,3 kW a 1 kW	0,3 kW a 1 kW

(FLIR Systems, Inc., 2018) (Birbilis, 2015)

Elaborado por: El investigador.

Después de las consideraciones a las pruebas de medición, se procedió a la inspección termográfica de los equipos de cómputo de la DEaDV; para lo cual se ilustra en las siguientes gráficas.

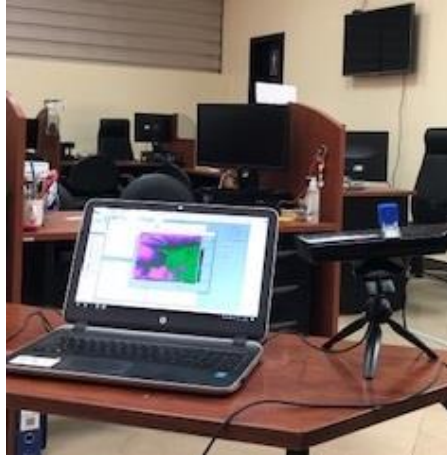


Gráfico 6.58. Instalación del sistema control termográfico 3D.
Elaborado por: El investigador.

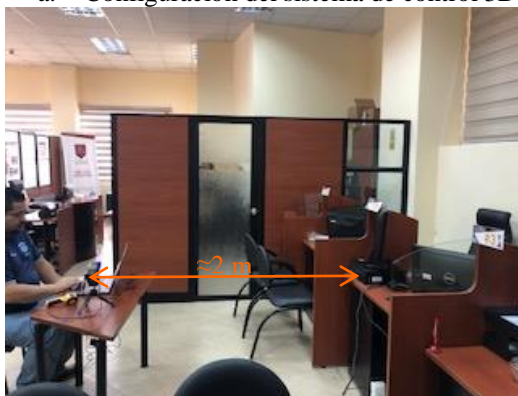
En la gráfica 6.58, se puede observar la instalación del sistema control termográfico 3D para el análisis de los equipos de cómputo de la DEaDV.



a. Configuración del sistema de control 3D.



b. Selección de la paleta color.



c. Distancia del equipo analizado.

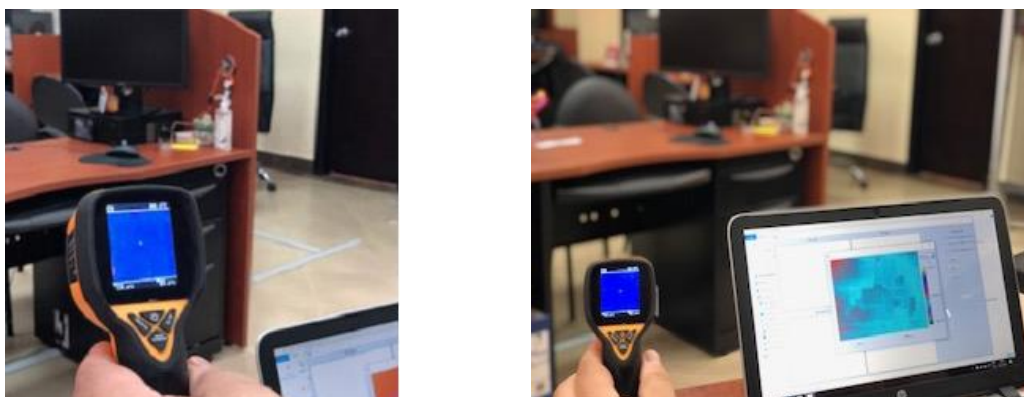


d. Actividad de los equipos inspeccionados.

Gráfico 6.59. Configuración del sistema control termográfico 3D.
Elaborado por: El investigador.

En la gráfica 6.59, se puede observar: (a) la configuración del sistema control termográfico 3D; (b) la elección de un color en particular de la paleta de color; (c) la distancia a la cual se realiza el análisis y medición del equipo seleccionado y (d) la

actividad de los equipos inspeccionados. Considerar que en la configuración se define uno de los ocho colores para el análisis termográfico, además se determina una zona de la inspección, para la observación 3D del equipo de cómputo de la DEaDV.



a. Utilización cámara termográfica HT-175. b. Comparación de mediciones de los equipos termográficos.

Gráfico 6.60. Comparación de la cámara termográfica HT-175 versus el sistema control termográfico 3D.
Elaborado por: El investigador.

En la gráfica 6.60, se muestran el análisis de las imágenes termográficas capturadas con la cámara termográfica HT-175 y el sistema control termográfico 3D de un computador de mesa que controla el acceso remoto al sitio Web del DEaDV. Adicionalmente la gráfica 6.60-b, permite diferenciar la resolución de las cámaras termográficas utilizadas.

Consiguientemente, se realizó reporte técnico con el sistema de control termográfico 3D del computador con acceso remoto al sitio Web del DEaDV. Obsérvese la gráfica 6.61, donde se muestra el rango de la escala de colores esta aproximadamente entre 31,35 °C (temperatura mínima) y 35,7 °C (temperatura máxima), y una temperatura media de 31,98 °C de toda la región del objeto inspeccionado; este promedio considera todos los puntos radiométricos de la matriz de plano focal. Cabe indicar que los valores medidos corresponden a la radiometría realizada por la cámara FLIR extraídos por comandos de control, considerar que su error esta entre $\pm 5\%$ o 5 °C (característica radiométrica de la cámara FLIR).

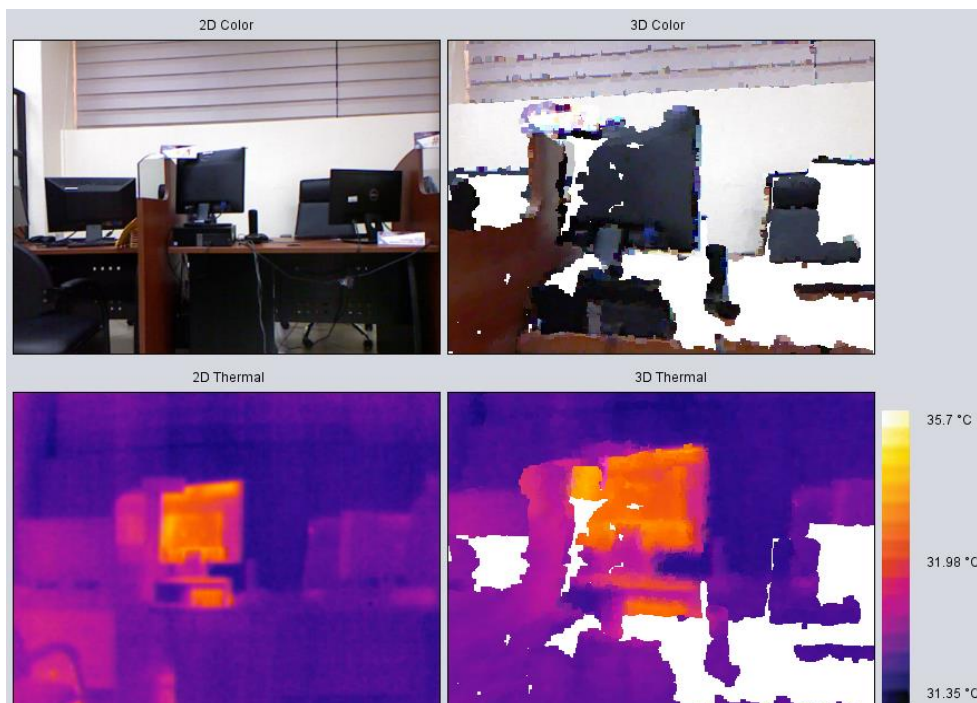


Gráfico 6.61. Reporte de termografía 2D y 3D al computador de escritorio con acceso remoto al sitio Web DEaDV.

Elaborado por: El investigador.

En las tablas 6.10, 6.11 y 6.12, se registran las medidas obtenidas mediante la radiometría de la cámara en los tres horarios indicados anteriormente.

Tabla 6.10. Temperaturas medidas en el computador con acceso remoto en horario de 08:00 h a 09:00 h.

Nº Medidas (x)	Temperatura máxima °C	x-x _m	Desviación estándar °C [(x-x _m)/s]	Temperatura media °C	x-x _m	Desviación estándar °C [(x-x _m)/s]	Temperatura mínima °C	x-x _m	Desviación estándar °C [(x-x _m)/s]
1	34,87	0,24	1,59	32,00	0,31	1,63	31,10	0,34	1,71
2	34,85	0,22	1,46	31,98	0,29	1,52	31,06	0,30	1,50
3	34,63	0,00	0,01	31,68	-0,02	-0,08	30,76	0,00	-0,02
4	34,78	0,15	1,00	31,86	0,16	0,88	30,92	0,16	0,79
5	34,55	-0,08	-0,52	31,67	-0,02	-0,13	30,70	-0,06	-0,32
6	34,57	-0,06	-0,39	31,63	-0,07	-0,35	30,70	-0,06	-0,32
7	34,57	-0,06	-0,39	31,58	-0,12	-0,61	30,68	-0,08	-0,43
8	34,43	-0,20	-1,31	31,49	-0,21	-1,09	30,58	-0,18	-0,93
9	34,53	-0,10	-0,65	31,51	-0,18	-0,99	30,58	-0,18	-0,93
10	34,51	-0,12	-0,79	31,55	-0,15	-0,77	30,56	-0,20	-1,04
Media Aritmética (x_m)=	34,63			31,70			30,76		
Desviación estándar (s)=	0,1515			0,1877			0,1970		
Varianza (s²)=	0,0229			0,0352			0,0388		

Elaborado por: El investigador.

El registro de temperaturas en el horario de 08:00 h a 09:00 h, permitió estadísticamente realizar el cálculo del coeficiente de la correlación de Pearson, entre la temperatura mínima y la temperatura media con un valor de 0,98963 significando una correlación alta cercana a la perfecta; la correlación entre la temperatura máxima y la temperatura mínima con un valor de 0,97848 significando una correlación alta; y la correlación entre temperatura máxima y la temperatura media con un valor 0,97844; que igualmente es una correlación alta. Estos valores calculados confirman una linealidad en la obtención de las medidas registradas, que pueden ser apreciados en la gráfica 6.62.

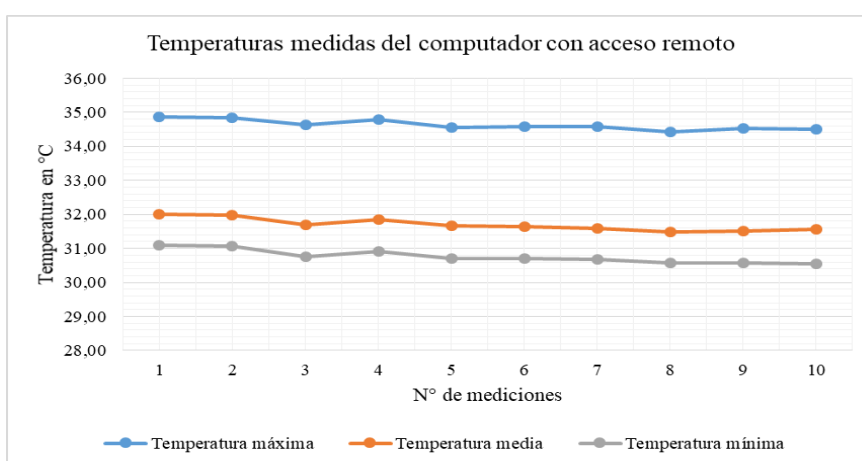


Gráfico 6.62. Registro de temperaturas del computador con acceso remoto en horario de 08:00 h a 09:00 h.
Elaborado por: El investigador.

Tabla 6.11. Temperaturas medidas en el computador con acceso remoto en horario de 12:00 h a 13:00 h.

Nº Medidas (x)	Temperatura máxima °C	x-x _m	Desviación estándar °C [(x-x _m)/s]	Temperatura media °C	x-x _m	Desviación estándar °C [(x-x _m)/s]	Temperatura mínima °C	x-x _m	Desviación estándar °C [(x-x _m)/s]
1	35,76	0,06	0,46	32,38	0,21	0,91	31,47	0,04	0,28
2	35,70	0,01	0,04	31,98	-0,19	-0,86	31,35	-0,08	-0,55
3	35,68	-0,02	-0,11	32,16	-0,02	-0,07	31,42	-0,01	-0,07
4	35,78	0,09	0,60	32,26	0,09	0,38	31,52	0,09	0,62
5	35,57	-0,13	-0,88	31,95	-0,22	-1,00	31,41	-0,02	-0,14
6	35,67	-0,02	-0,18	32,01	-0,16	-0,73	31,20	-0,23	-1,60
7	35,39	-0,31	-2,15	31,88	-0,29	-1,31	31,28	-0,15	-1,04
8	35,90	0,20	1,44	32,43	0,26	1,13	31,60	0,17	1,18
9	35,83	0,13	0,95	32,55	0,38	1,66	31,68	0,25	1,73
10	35,67	-0,02	-0,18	32,15	-0,02	-0,11	31,37	-0,06	-0,42
Media Aritmética (x_m)=	35,70			32,18			31,43		
Desviación estándar (s)=	0,1421			0,2257			0,1441		
Varianza (s²)=	0,0202			0,0510			0,0208		

Elaborado por: El investigador.

El registro de temperaturas en el horario de 12:00 h a 13:00 h, permitió estadísticamente realizar los cálculos del coeficiente de la correlación de Pearson, entre la temperatura mínima y la temperatura media con un valor positivo de 0,8772 significando una correlación positiva muy aceptable; la correlación entre la temperatura máxima y la temperatura mínima con un valor positivo de 0,72719 significando una correlación buena; y la correlación entre temperatura máxima y la temperatura media con un valor positivo de 0,85024 significando una correlación positiva muy aceptable. Estos valores calculados confirman una linealidad <<aceptable>>en las medidas, pero en menor grado a la obtenida en el horario de 08:00 h a 09:00 h. La obtención de las medidas registradas, pueden ser apreciados en la gráfica 6.63.

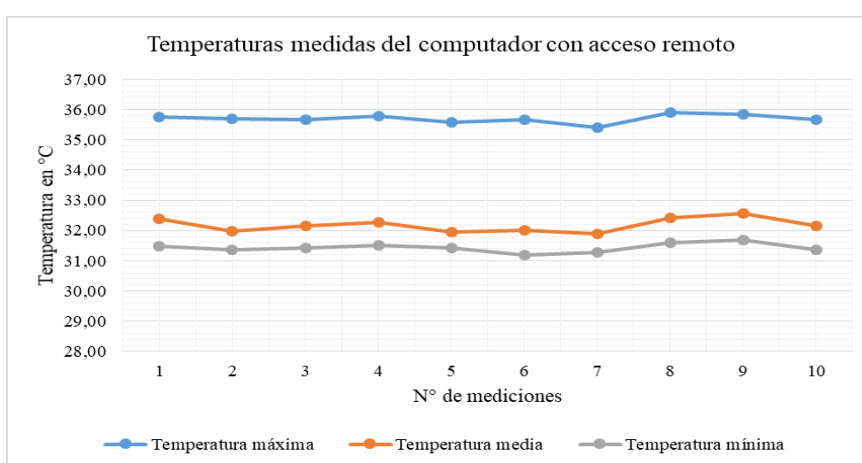


Gráfico 6.63. Registro de temperaturas del computador con acceso remoto en horario de 12:00 h a 13:00 h.
Elaborado por: El investigador.

Tabla 6.12. Temperaturas medidas en el computador con acceso remoto en horario de 18:00 h a 19:00 h.

Nº Medidas (x)	Temperatura máxima °C	x-x _m	Desviación estándar °C [(x-x _m)/s]	Temperatura media °C	x-x _m	Desviación estándar °C [(x-x _m)/s]	Temperatura mínima °C	x-x _m	Desviación estándar °C [(x-x _m)/s]
1	34,51	0,15	1,05	31,71	0,18	1,43	30,78	0,39	1,91
2	34,45	0,09	0,62	31,70	0,17	1,35	30,65	0,26	1,27
3	34,50	0,14	0,98	31,62	0,09	0,71	30,56	0,17	0,83
4	34,48	0,12	0,84	31,59	0,06	0,47	30,33	-0,06	-0,29
5	34,42	0,06	0,41	31,55	0,02	0,15	30,28	-0,11	-0,53
6	34,37	0,01	0,05	31,50	-0,03	-0,25	30,39	0,00	0,00
7	34,36	0,00	-0,02	31,48	-0,05	-0,41	30,28	-0,11	-0,53
8	34,21	-0,15	-1,10	31,38	-0,15	-1,20	30,24	-0,15	-0,73
9	34,23	-0,13	-0,95	31,43	-0,10	-0,80	30,20	-0,19	-0,92
10	34,10	-0,26	-1,88	31,35	-0,18	-1,44	30,18	-0,21	-1,02
Media Aritmética (x_m)=	34,36			31,53			30,39		
Desviación estándar (s)=	0,1395			0,1255			0,2052		
Varianza (s²)=	0,0195			0,0157			0,0421		

Elaborado por: El investigador.

El registro de temperaturas en el horario de 18:00 h a 19:00 h, permitió estadísticamente realizar los siguientes cálculos del coeficiente de la correlación de Pearson, entre la temperatura mínima y la temperatura media con un valor positivo de 0,9005 significando una correlación positiva muy aceptable; la correlación entre la temperatura máxima y la temperatura mínima con un valor positivo de 0,7517 significando una correlación positiva aceptable y la correlación entre temperatura máxima y la temperatura media con un valor positivo de 0,92199 significando una correlación positiva muy aceptable. La obtención de las medidas registradas, pueden ser apreciados en la gráfica 6.64.

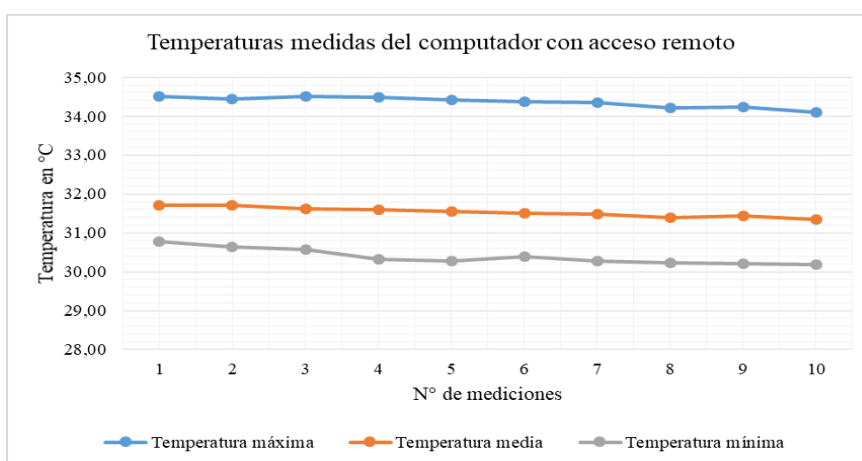


Gráfico 6.64. Registro de temperaturas del computador con acceso remoto en horario de 18:00 h a 19:00 h.
Elaborado por: El investigador.

Los resultados obtenidos en los horarios estipulados, muestran un comportamiento estable del equipo monitoreado, pero con la necesidad de acciones que prevengan fallos en la continuidad y rendimiento de los equipos. De acuerdo con *el análisis predictivo termográfico* realizado es preciso que los equipos en el horario de 12:00 h a 13:00 h. tengan mayor ventilación y se evite el incremento de la temperatura que puede ser perjudicial para los equipos de cómputo DEaDV.

La tabla 6.13, sugiere acciones de mantenimiento en los sistemas eléctricos y electrónicos cuando existen cambios de temperatura.

Tabla 6.13. Control termográfico: acciones sugeridas basadas en el aumento de la temperatura.

Diferencia de temperatura (T) basado en comparaciones entre componentes similares bajo carga similar.	Diferencia de temperatura (T) basado en comparaciones entre componente y temperatura ambiente del aire	Acción sugerida
1° C - 3° C	1° C - 10° C	Posible deficiencia; revisar garantías de investigación del equipo.
4° C - 15° C	11° C - 20° C	Indica deficiencia probable; reparación cuando el tiempo lo permita.
-----	21° C - 40° C	Monitorear hasta que se puedan realizar las medidas correctivas.
>15° C	>40° C	Discrepancia o mayor error; reparación inmediata.

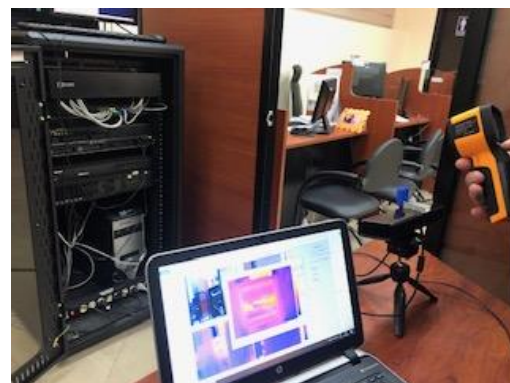
(ANSI/NETA MTS-2007, 2007)

Una vez realizada la inspección se sugiere efectuar las acciones necesarias de acuerdo a lo que indica el Instituto Americano de Estándares Nacionales (*American National Standards Institute* [ANSI]), mostrado en la tabla 6.13.

Las gráficas 6.65, y 6.66, muestran la inspección realizada a varios de los equipos de la DEaDV; considerando las condiciones de funcionamiento y la puesta punto del sistema de control de termografía 3D.



a. Configuración del sistema de control 3D.



b. Selección de la paleta color y utilización de la cámara termográfica HT-175.



c. Captura de las imágenes para el reporte termográfico.



d. Encuadre del sistema de control termográfico 3D.

Gráfico 6.65. Inspecciones a los servidores de la DEaDV.

Elaborado por: El investigador.



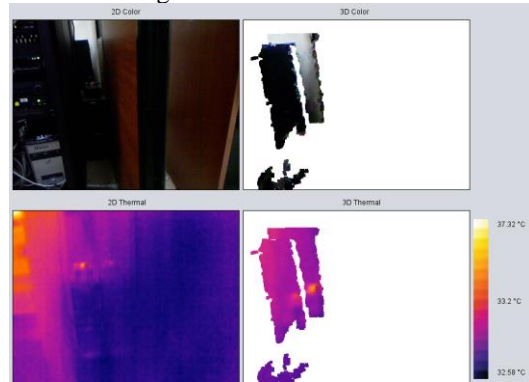
a. UPS de los servidores del DEaDV.



b. Encuadre del sistema de control termográfico 3D.



c. Captura de las imágenes para el reporte termográfico.



d. Reporte termográfico del UPS.

Gráfico 6.66. Inspecciones al UPS de la DEaDV.

Elaborado por: El investigador.

La gráfica 6.67, muestra la inspección de termográfica 2D y 3D del servidor (objetivo analizar), así como las temperaturas medidas en el instante de la revisión.

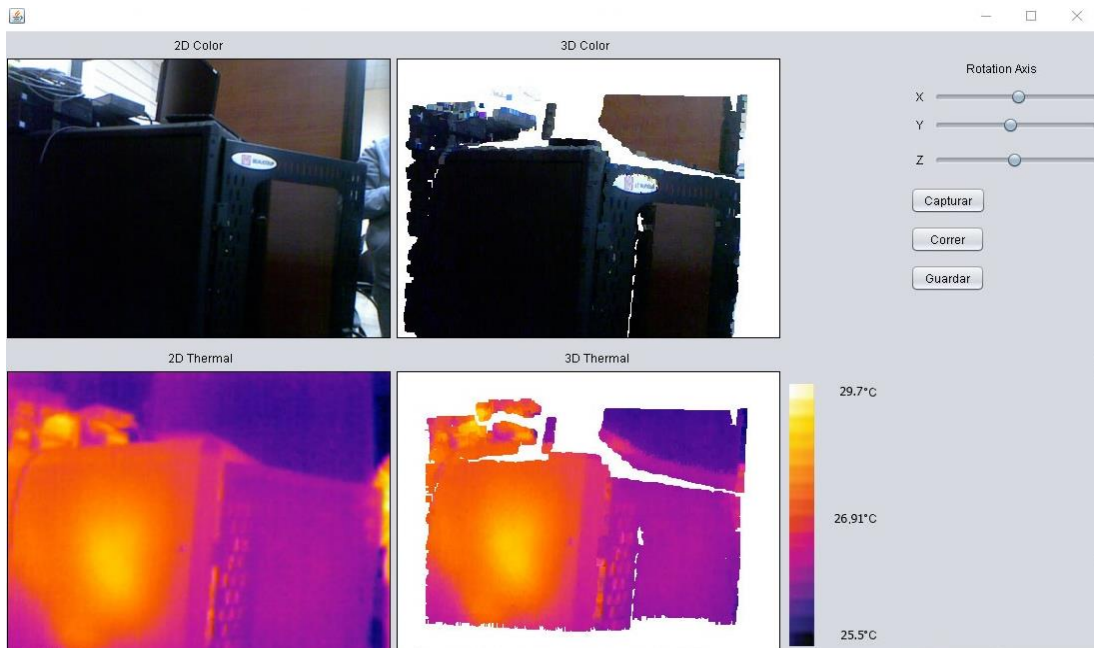


Gráfico 6.67. Inspección termográfica 2D y 3D del servidor DEaDV.

Elaborado por: El investigador.

La gráfica 6.68, muestra la inspección de termográfica 2D y 3D de los interruptores (objetivo analizar), así como las temperaturas medidas en el instante de la revisión.

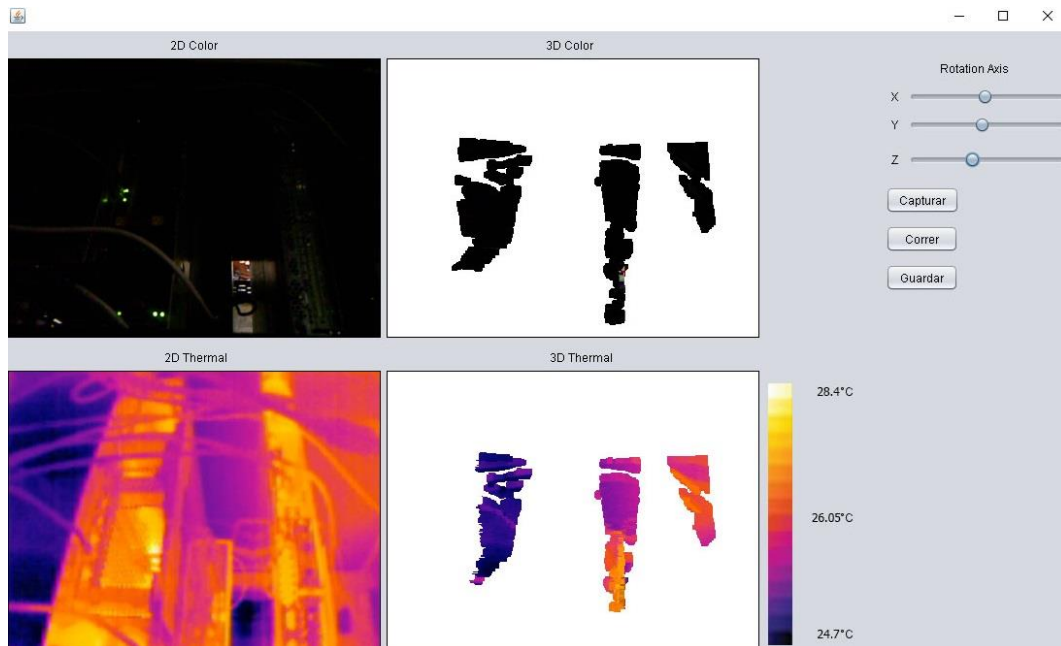


Gráfico 6.68. Inspección termográfica 2D y 3D de los interruptores DEaDV.
Elaborado por: El investigador.

La gráfica 6.69, muestra la inspección termográfica 2D y 3D de la parte posterior del servidor (objetivo analizar), así como las temperaturas medidas en el instante de la revisión.

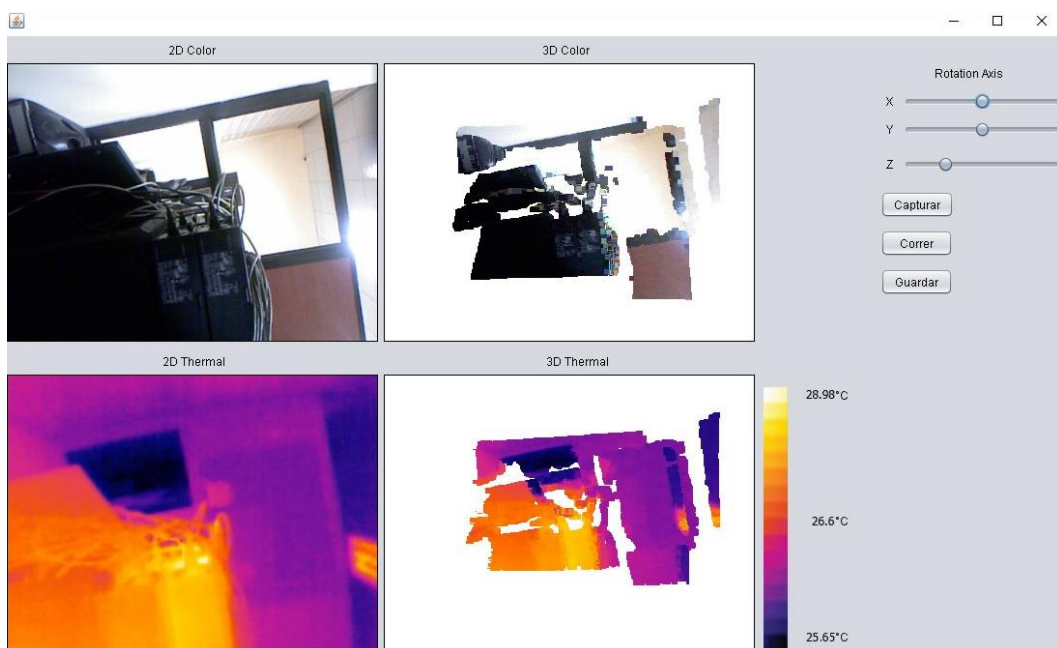


Gráfico 6.69. Inspección termográfica 2D y 3D de la parte posterior del servidor DEaDV.
Elaborado por: El investigador.

La gráfica 6.70, muestra la inspección termográfica 2D y 3D de los enrutadores (objetivo analizar), así como las temperaturas medidas en el instante de la revisión.

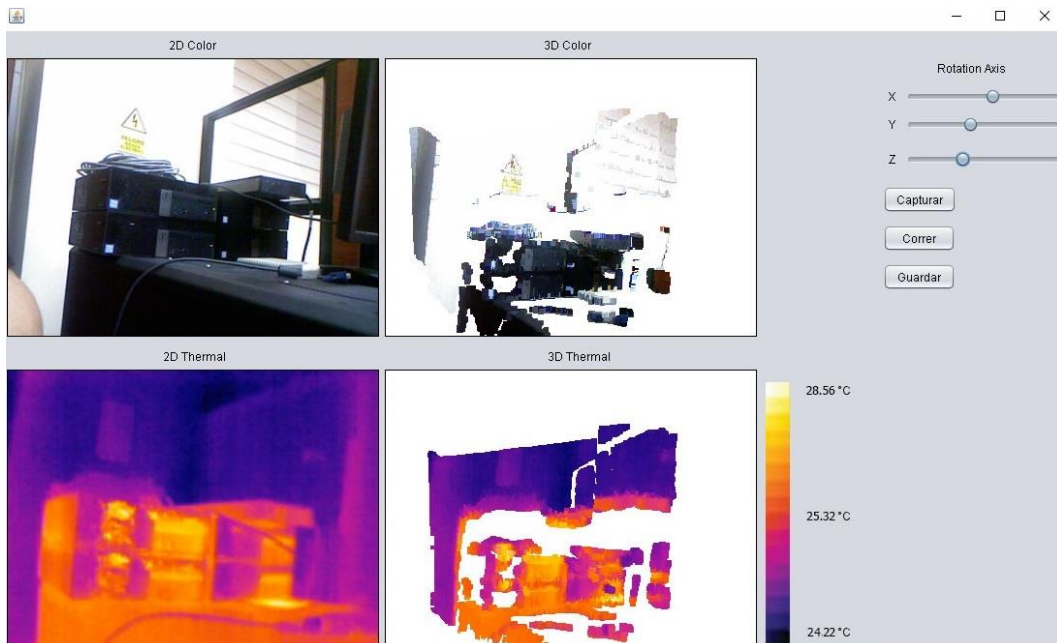


Gráfico 6.70. Inspección termográfica 2D y 3D de los enrutadores DEaDV.
Elaborado por: El investigador.

El proceso precisa la inspección termográfica de los equipos computacionales de la DEaDV, y muestra los siguientes resultados:

1. Ninguna irregularidad o área crítica de los dispositivos inspeccionados; considerando como indicador la imagen termográfica 2D y 3D.
2. La temperatura que mantienen los equipos no llega a los 27 °C, lo que indica que los equipos no tienen que ser interrumpidos para su revisión (mantenimiento).
3. El análisis termográfico 3D, es mejor cuando se consideran parámetros y especificaciones de las cámaras termográficas, una de las características útiles es la distancia a la que se realiza el enfoque del objetivo que debe ser igual o mayor a 0,8 metros, puesto que eso recomienda el fabricante de la Kinect.
4. Es fundamental que la DEaDV, considere un sistema de refrigeración acorde a la cantidad de equipos computacionales que emplea; puesto que la inspección predice un alto índice de calor, encontrándose al borde de la temperatura de trabajo sugerida técnicamente por los fabricantes.

A continuación se generan y ejemplifican dos informes termográficos gráfica 6.71 y 6.72, aplicando el reporte técnico del sistema de control de termografía 3D.

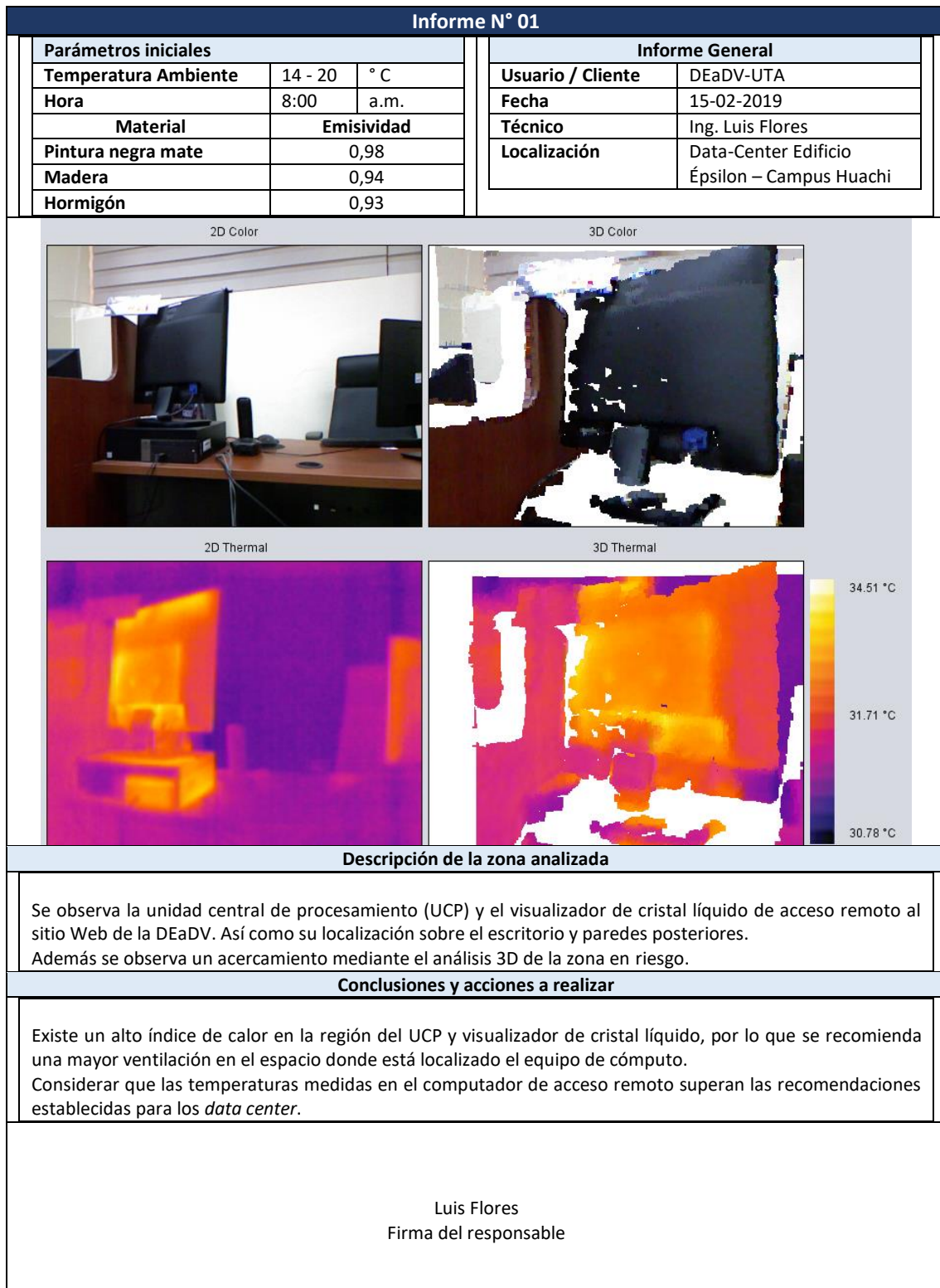


Gráfico 6.71. Informe del análisis termográfico 3D del computador de acceso remoto al sitio Web de la DEaDV.
Elaborado por: El investigador.

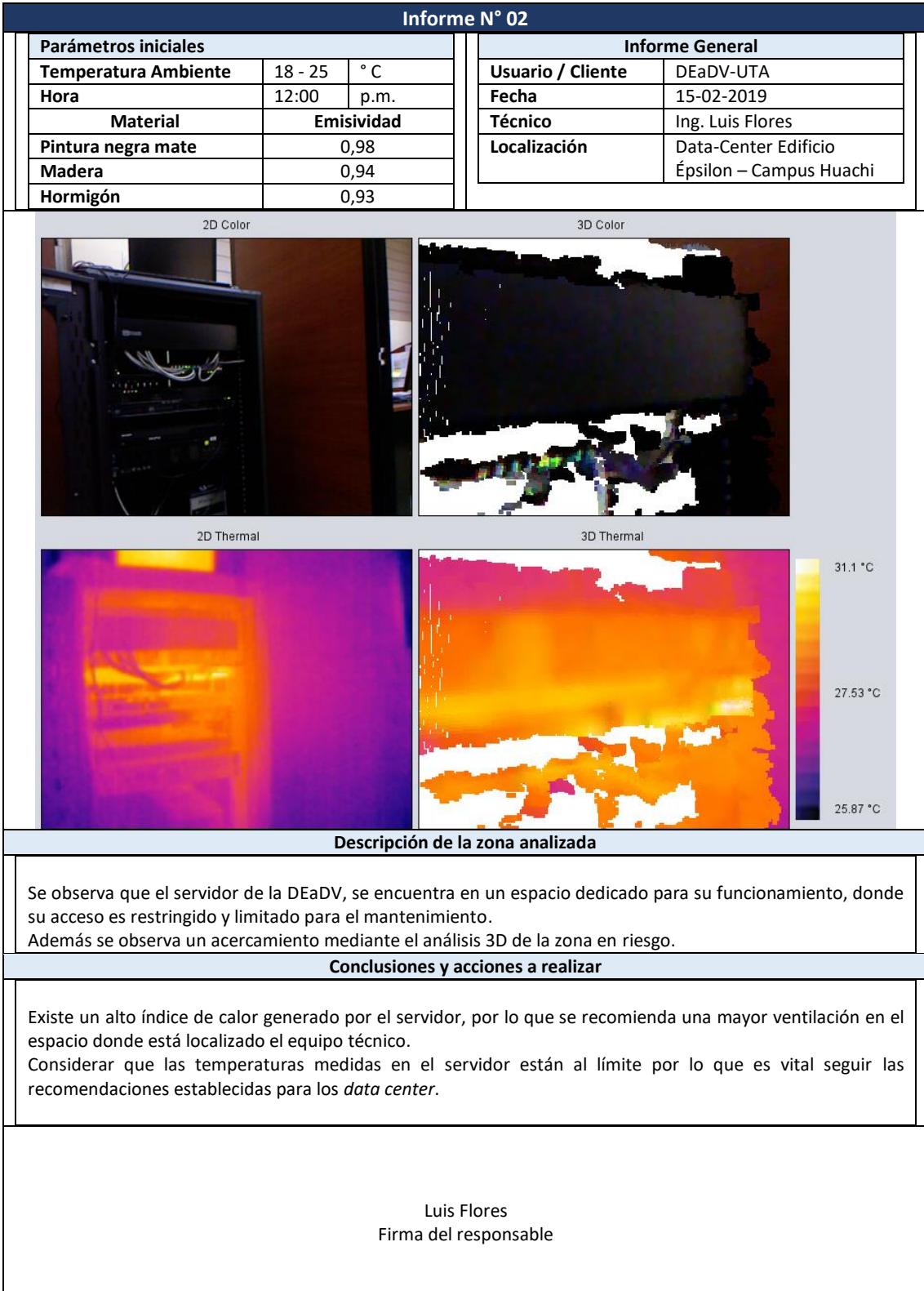


Gráfico 6.72. Informe del análisis termográfico 3D del servidor de la DEaDV.
Elaborado por: El investigador.

6.7. Modelo operativo

Descripción del sistema de control de termografía 3D

El sistema de control de termografía 3D, como se indica en la gráfica 6.42, está integrado por lo siguiente:

- Computador.
- Cámara termográfica.
- Sensor Kinect XBOX 360.
- Trípode.
- 2 Cables USB.
- 1 Cable de alimentación.
- Software y controladores para el reporte termográfico.
- Maleta.

Para el correcto funcionamiento del sistema de control de termografía 3D, es necesario cumplir con los siguientes requerimientos:

Requisitos mínimos del *hardware* del computador:

- Procesador de 32 bits (x86).
- Procesador de doble núcleo a 2.66 GHz o superior.
- Puerto USB 2.0.
- Puerto USB 3.0
- Memoria RAM 2 GB.

Requisitos mínimos del *software* del computador:

- Windows 7.

Definición de las operaciones de mantenimiento

Registrar todos los equipos que se desea supervisar. Considerar que muchas organizaciones ya disponen de un registro; se debe eliminar dispositivos o equipos que no se ajusten a las inspecciones de termografía.

Asignar prioridades en la lista de equipos. Por lo general, las industrias u organizaciones conservan registros de mantenimiento y producción. Estos registros mostrarán qué dispositivos o equipos muestran mayor tendencia a desperfectos y, por tanto, debe ser inspeccionado más cuidadosamente. Conjuntamente tener en cuenta las consecuencias directas de una avería. El equipo prioritario se debe supervisar con más frecuencia y atención que el equipo que puede permanecer temporalmente fuera de servicio sin afectar la funcionalidad de todo el proceso. Con la información sustentada se puede empezar a programar inspecciones térmicas, sin ser favorable hasta realizar una inspección inicial.

Realizar una inspección inicial

Para comenzar a diagnosticar problemas de dispositivos y equipos, se debe contar con material de referencia. Por lo tanto, es beneficioso realizar termografías de todos los dispositivos y equipos que se desea inspeccionar. Esto se debe realizar durante el funcionamiento del proceso en condiciones normales. Considerar que en ciertos casos, es posible que se deba realizar varias termografías de dispositivos que conforman el equipo, especialmente si se tiene componentes esenciales o subsistemas con tendencia a averías.

Resulta muy importante documentar bien la inspección inicial. El informe de la inspección inicial debe incluir los métodos y/o procedimientos utilizados, como la configuración de emisividad y reflexión de cada dispositivo o del equipo, así como una descripción de la ubicación exacta de cada termografía.

Una vez que se disponga de una base de datos de imágenes de referencia, se puede determinar qué temperaturas son aceptables para cada dispositivo del equipo y definir un umbral de alarma de temperatura. Esto permite al sistema de termografía activar alarmas o avisos, por si alguna parte de la termografía se calienta demasiado, lo que

ayuda a agilizar las inspecciones futuras. Toda la información ayuda a las inspecciones y permite determinar si el equipo puede sufrir algún problema.

Iniciar la inspección

La documentación de referencia, permite tener una base de datos de todas las mediciones de temperatura de los dispositivos y equipos con lo que se puede empezar una *inspección*. La base de datos del proceso, facilita las actividades de programación y comprobación de las inspecciones. Además se debe considerar las tendencias de los equipos con probabilidad de averías o impacto en todo el proceso.

Los parámetros de funcionamiento de dispositivos y equipos, faculta para la ejecución de la inspección térmica, solo se deben establecer avisos de temperaturas correctas para comenzar la inspección. Si los dispositivos y equipos proporcionan alguna sospecha se deben analizar con mayor profundidad.

Es necesario analizar con atención las termografías. El usuario del sistema de termografía necesita comprender en profundidad la física de la tecnología termográfica y el funcionamiento del dispositivo o equipo inspeccionado.

(Alava Ingenieros, 2011)

Análisis y creación de informes

En el análisis y creación de un informe de mantenimiento predictivo IR, es preciso detallar una conveniente estructura. Los siguientes ítems, aportan para la consolidación técnica del mismo.

- Crear fichas individuales de equipos en observación.
- Utilizar recomendaciones personalizadas.
- Estandarizar el tamaño de las imágenes.
- Personalizar paleta de colores.
- Establecer estéticamente rangos de temperatura.
- Mostrar herramientas de análisis con imagen.
- Generación automática.

(Portal ingeniería y gestión del mantenimiento, 2016)

El flujograma que se presenta en la figura 6.73, demuestra como la termografía se ajusta a casi todos los programas de mantenimiento que puede incluir otras tecnologías que apoyen el mantenimiento predictivo.

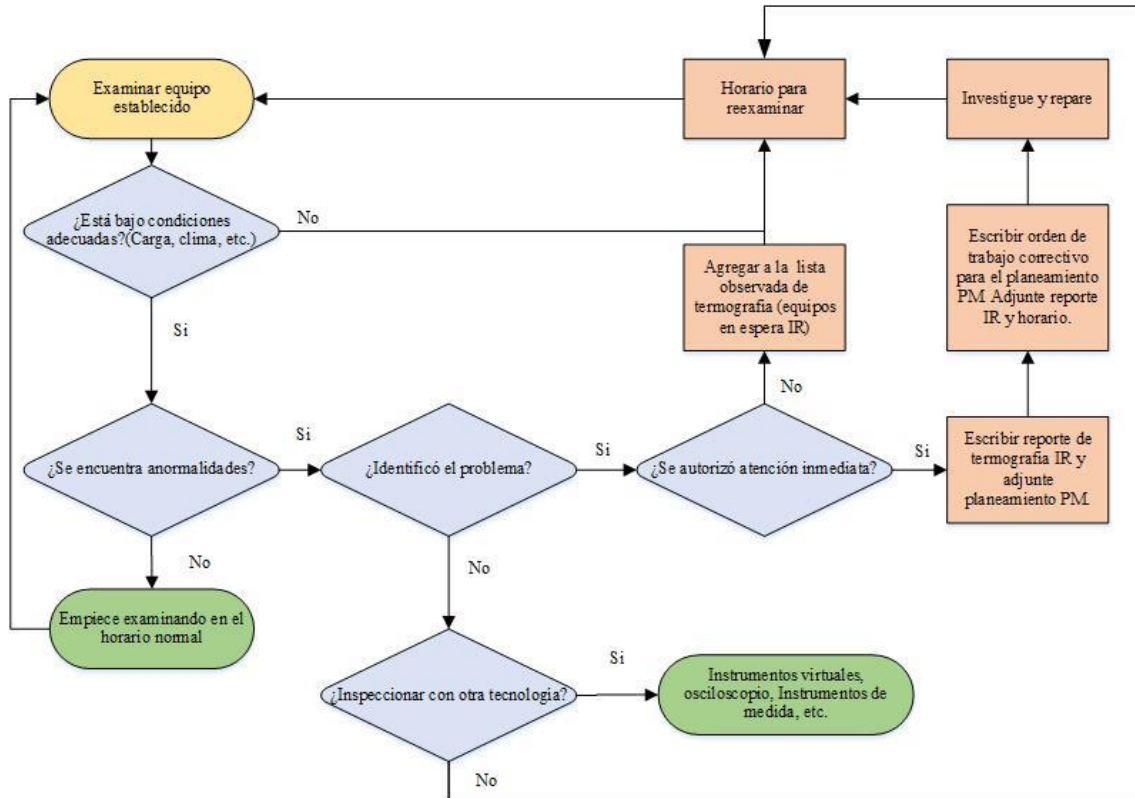


Gráfico 6.73. Proceso de inspección de termografía. (Fluke Corporation, 2010)

Elaborado por: El investigador.

6.8. Administración de la propuesta

Para la administración del sistema de control de termografía 3D, es necesario realizar los siguientes pasos:

a. Responsables de la gestión del mantenimiento

Director de la DEaDV: Gestiona los requerimientos del proceso, supervisa el desarrollo de los procesos y delega las actividades a las distintas áreas de trabajo.

Programadores y técnicos: Encargados de revisar y planificar las actividades de gestión del mantenimiento de dispositivos y equipos de la DEaDV.

b. Documentación e información inicial

La dirección DEaDV, debe contar con el inventario y documentación de dispositivos y equipos. Este debe ser actualizado, precisar los diferentes aspectos técnicos, ubicación y responsables de los mismos.

Para este paso es beneficioso contar con un cronograma de actividades. El mantenimiento preventivo debe llevarse a cabo en fechas establecidas; en cambio el mantenimiento predictivo se utilizará para monitorear dispositivos y equipos críticos de acuerdo a la información y sugerencias del fabricante; se considerará también las experiencias del personal técnico que está en permanente control del funcionamiento y previsión del equipo.

Nº	Código	Descripción	Localización	Frecuencia	Fecha	Actividad	Tiempo de ejecución	Observación	Responsable	Revisión

Elaborado
Cargo
Firma

Revisión y aprobación
Cargo
Firma

Gráfico 6.74. Cronograma de actividades de mantenimiento.
Elaborado por: El investigador.

c. Informe del mantenimiento predictivo

El *informe del mantenimiento predictivo*, será estructurado como un ensayo técnico, en donde se considerarán condiciones normales de funcionamiento del dispositivo en análisis, así como los rangos críticos en los cuales el mismo puede sufrir una avería o desperfecto al operar en este ambiente.

En el ensayo debe describir un orden:

1. Establecer un rango de temperaturas que aborde la temperatura a medir.
2. Posición y campo de visión (reflejo, encuadre, resolución, normas de seguridad).
3. Considerar parámetros de la cámara, para la obtención de termogramas mediante la inspección de objeto.
4. Enfocar correctamente la imagen.
5. Considerar estándares ASTM E 1934-99a (emisividad, temperatura reflejada).
6. Almacenar las imágenes RGB y térmicas (termogramas).
7. Analizar las observaciones de la inspección del termograma obtenido, con un software especializado, bajo criterios de aceptación y desaprobación.
8. Detallar en el reporte observaciones y anomalías encontradas.

(Aldana Rodríguez, 2017)

A continuación en las gráficas 6.75 y 6.76, se ilustran modelos que cumplen estándares de informes de ensayos de termografía aplicados al sector industrial:

Informe N° 0X																		
Empresa		Cámara																
Descripción y Ubicación		Paleta																
Equipo, dispositivo o elemento		Fecha																
Tipo de Inspección		Hoja																
		T _{Mín.} =	T _{Máx.} =															
Imagen real		Imagen termográfica																
Evaluación:		Evaluación:																
Análisis térmico																		
Clasificación de falla		Ítem	Valor															
Δt O/S*		Emisividad																
Condición		Distancia																
Resolución de IR		T _{refl.} *																
Lente		SP1*																
		SP2																
		SP3																
<p>* O/S: Temperatura sobre similar (<i>Temperatura Over Similar</i>)</p> <p>* SP: Lugar (<i>Spot</i>)</p> <p>* T_{refl.}: Temperatura reflejada</p>																		
<p>Para efectos de clasificación de fallas se manejan los siguientes criterios, considerando normativas de la Asociación Internacional de Pruebas Eléctricas (<i>InterNational Electrical Testing Association [NETA]</i>).</p> <p>* O/S: Temperatura Over Similar – O/A: Temperatura Over/Ambient</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>DELTA DE TEMPERATURA</th> <th>CLASIFICACIÓN</th> <th>CONDICIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1° C – 10° C O/A ó < 3° C O/S</td> <td>En buen estado</td> <td>BUENO</td> </tr> <tr> <td>11° C - 20° C O/A y 3° C a 15° C O/S</td> <td>Probable deficiencia</td> <td>ACEPTABLE</td> </tr> <tr> <td>21° C - 40° C O/A y > 15° C O/S</td> <td>Deficiencia</td> <td>INSATISFACTORIA</td> </tr> <tr> <td>> 40° C O/A y > 15° C O/S</td> <td>Deficiencia mayor</td> <td>PELIGROSA</td> </tr> </tbody> </table>				DELTA DE TEMPERATURA	CLASIFICACIÓN	CONDICIÓN	1° C – 10° C O/A ó < 3° C O/S	En buen estado	BUENO	11° C - 20° C O/A y 3° C a 15° C O/S	Probable deficiencia	ACEPTABLE	21° C - 40° C O/A y > 15° C O/S	Deficiencia	INSATISFACTORIA	> 40° C O/A y > 15° C O/S	Deficiencia mayor	PELIGROSA
DELTA DE TEMPERATURA	CLASIFICACIÓN	CONDICIÓN																
1° C – 10° C O/A ó < 3° C O/S	En buen estado	BUENO																
11° C - 20° C O/A y 3° C a 15° C O/S	Probable deficiencia	ACEPTABLE																
21° C - 40° C O/A y > 15° C O/S	Deficiencia	INSATISFACTORIA																
> 40° C O/A y > 15° C O/S	Deficiencia mayor	PELIGROSA																
Estadística y pronóstico																		
Diagnóstico y recomendaciones																		
Diagnóstico:																		
Recomendación:																		

Gráfico 6.75. Modelo de informe 1. (Aldana Rodríguez, 2017)

Informe N° 0X						
Parámetros iniciales			Informe General			
Temperatura Ambiente		° C	Usuario / Cliente			
Hora		a.m./p.m.	Fecha			
Material	Emisividad		Técnico			
Selección del material			Localización			
Selección del material						
Selección del material						
Imagen termográfica			Imagen real			
Observaciones						
T*. Máxima			° C	Punto Crítico	T. ° C	Criticidad
T. Mínima			° C	1		Óptimo , Alerta, Crítico
				2		
T. Promedio			° C	3		
				4		
*T: Temperatura						
Zonas	Detalle		Puntos	Detalle		
1			1			
2			2			
3			3			
4			4			
Descripción de la zona analizada						
Conclusiones y acciones a realizar						
<p>_____</p> <p>Firma del responsable</p>						

Gráfico 6.76. Modelo de informe 2. (Arias Hermida & Carrasco Torres, 2016)

Con el desarrollado del sistema de control de termografía 3D, se puede adicionar un nuevo modelo de informe o reporte termográfico, gráfica 6.77; el cual debe cumplir con los estándares regulatorios como los informes que le anteceden y como valor agregado del informe será la visualización y análisis termográfico 3D del objeto inspeccionado.


Informe N° 0X			
Parámetros iniciales		Informe General	
Temperatura Ambiente		° C	Usuario / Cliente
Hora		a.m./p.m.	Fecha
Material	Emisividad		Técnico
Selección del material			Localización
Selección del material			
Selección del material			
2D Color		3D Color	
2D Thermal		3D Thermal	
		 <p>41.38 °C 35.17 °C 32.93 °C</p>	
Descripción de la zona analizada			
Conclusiones y acciones a realizar			
<hr style="width: 20%; margin: auto;"/> Firma del responsable			

Gráfico 6.77. Modelo de informe 3 con análisis termográfico 3D.
Elaborado por: El investigador.

6.9. Plan de monitoreo y evaluación de la propuesta

El monitoreo de equipos y/o dispositivos conlleva una planificación y acción. Este desarrollo permitirá que el programa de mantenimiento por medio del sistema de control de termografía 3D proyecte buenos resultados. Para lo cual se debe considerar los siguientes lineamientos:

1. Comunicar a todos los colaboradores y encargados de los equipos sobre la planificación de la termografía.
2. Integrar la termografía a los programas de mantenimiento predictivos existentes.
3. Revisar las normas y procedimientos de seguridad para la inspección de equipos y/o dispositivos.
4. Crear una lista de equipos y/o dispositivos, programas y rutas de inspección.
5. Capturar las imágenes termográficas de todos los equipos críticos durante el primer estudio para establecer una línea de referencia y punto de partida.
6. Importar, descargar y/o guardar las imágenes termográficas de cada caso de estudio para un posterior seguimiento y evaluación si es necesario.
7. Crear una plantilla o formato de informes en el que se pueda socializar los resultados después de cada caso de estudio.
8. Configurar avisos para comparación de imágenes termográficas e indicadores clave para el seguimiento del mantenimiento a través del tiempo.
9. Modificar el escenario de la inspección, listas y rutas con el paso del tiempo según las necesidades que se generen en el programa de mantenimiento.

(Snell, 2014)

Para realizar de forma segura y eficiente el monitoreo y evaluación, se necesita de una formación calificada en el uso de equipo termográfico, normas de seguridad y procedimientos de inspección. Es muy importante cualificar y certificar al personal en procedimientos de termografía independientemente de la formación y experiencia técnica que evidencie el técnico. Si bien la certificación supone una inversión, se trata de un valor agregado con una gran rentabilidad; no es de interés que el personal certificado realice inspecciones de mayor calidad, sino que las inspecciones sean más coherentes técnicamente. La probabilidad de no certificarse puede llevar a equivocaciones que tiene alto costo y peligro, causando graves resultados en

recomendaciones imprecisas de los problemas encontrados o que no se detecten ningún tipo de problema (Fluke Corporation y The Snell Group, 2016)

Tabla 6.14. Niveles de certificación para inspección termográfica.

Niveles de certificación para inspección termográfica	
Nivel 1	Cualificado que recopila datos confiables, calidad y puede clasificarse por escrito con criterios de Aceptado/Rechazado.
Nivel 2	Cualificado que configura y calibra el equipo, para interpretar datos, crear reportes técnicos y supervisar al personal del nivel 1.
Nivel 3	Cualificado para generar procedimientos de inspección, interpretar códigos relacionados con este escenario y gestionar un programa que incluya supervisión y ejecución de comprobaciones.

(Fluke Corporation y The Snell Group, 2016)

Es importante, integrar y ejecutar acciones de mantenimiento predictivo por medio del sistema de control de termografía 3D, como se observa en la gráfica 6.78.

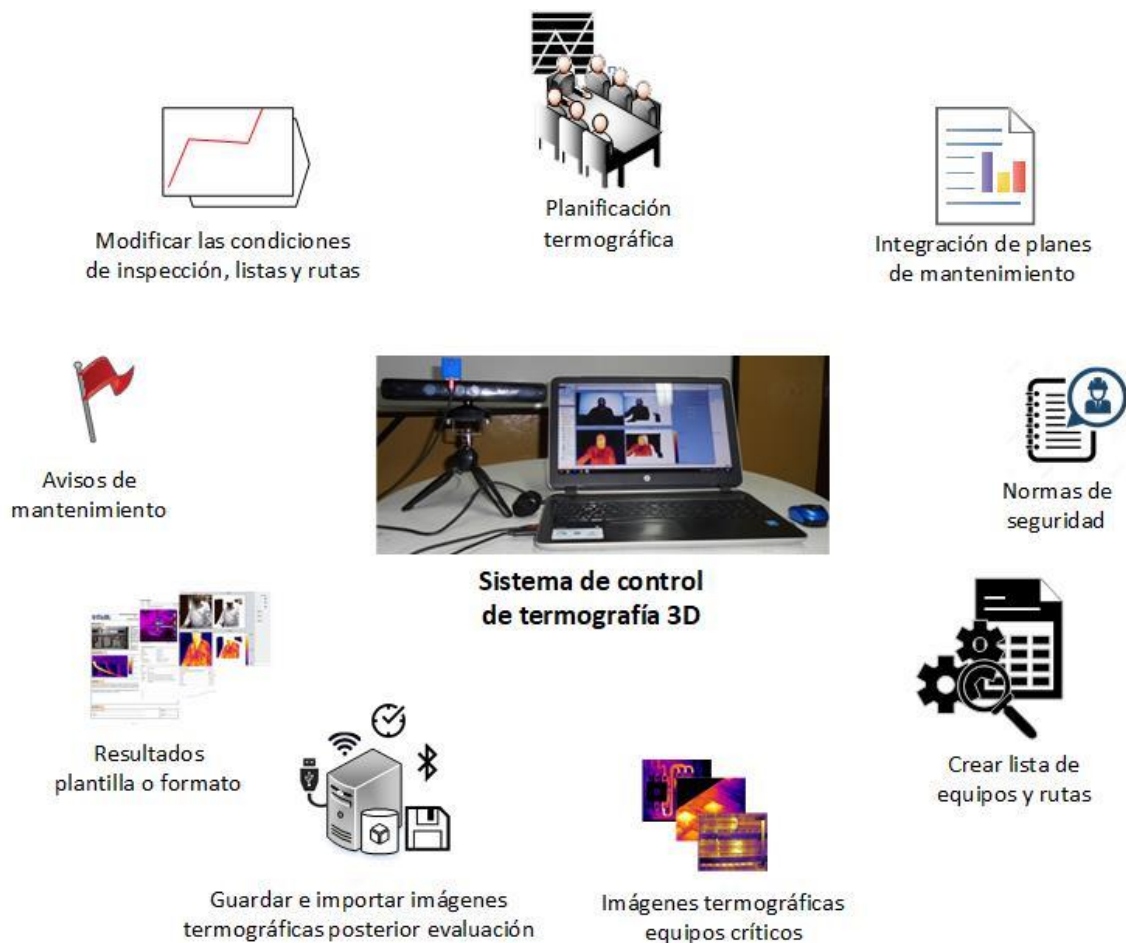


Gráfico 6.78. Monitoreo e integración de un sistema de control de termografía.
Elaborado por: El investigador.

Para facilitar el plan de evaluación conviene contestar a las siguientes preguntas:

Tabla 6.15. Plan de evaluación.

PREGUNTAS BÁSICAS	EXPLICACIÓN
1. ¿Qué evaluar?	<ul style="list-style-type: none"> - Resultados de imágenes termográficas obtenidas. - Informes de mantenimiento predictivo.
2. ¿Por qué evaluar?	<ul style="list-style-type: none"> - Por el cumplimiento de las actividades de mantenimiento de los equipos. - Por la verificación del sistema de control Termografía Infrarroja (TIR). - Por la utilidad del sistema de control TIR.
3. ¿Para qué evaluar?	<ul style="list-style-type: none"> - Analizar el funcionamiento del sistema de control TIR. - Verificar el funcionamiento del sistema de control TIR. - Determinar la utilidad del sistema de control TIR.
4. ¿Con qué criterios?	<ul style="list-style-type: none"> - Eficiencia del sistema de control TIR. - Eficacia del sistema de control TIR. - Disponibilidad del sistema de control TIR.
5. Indicadores	<ul style="list-style-type: none"> - Calidad de las imágenes termográficas (cualitativo). - Exactitud en las medidas de temperatura (cuantitativo).
6. ¿Quién evalúa?	<ul style="list-style-type: none"> - Director de la DEaDV. - Programadores y técnicos de la DEaDV.
7. ¿Cuándo evaluar?	<ul style="list-style-type: none"> - Previa las actividades de mantenimiento. - Beneficioso en cada semestre.
8. ¿Cómo evaluar?	<ul style="list-style-type: none"> - Inspeccionar la calidad de las imágenes termográficas. - Comprobar el registro de datos y parámetros técnicos (emisividad y precisión +/- 2% datos del fabricante). - Manuales y / o parámetros técnicos de equipos.
9. ¿Fuentes de información?	<ul style="list-style-type: none"> - Registro histórico y / o bases de datos. - Personal encargado del mantenimiento.
10. ¿Con qué evaluar?	<ul style="list-style-type: none"> - Instrumentos de medida termográfica. - Pruebas y simulación con equipos análogos.

Elaborado por: El investigador.

BIBLIOGRAFÍA

- Abeles, P. (3 de Enero de 2017). *Tutorial Kinect*. Obtenido de https://boofcv.org/index.php?title=Tutorial_Kinect
- Abeles, P. (10 de Noviembre de 2018). *https://boofcv.org*. Obtenido de https://boofcv.org/index.php?title=Tutorial_Camera_Calibration
- Alava Ingenieros. (9 de Mayo de 2011). *Grupo Alava Ingenieros*. Obtenido de FLIR Systems AB: www.alava-ing.es
- Aldana Rodríguez, D. (2017). *Aplicación de la termografía infrarroja como método de inspección no destructivo para el mantenimiento predictivo del proceso de extrusión de tubería en PVC*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/59301/1/TESIS-%20MAESTR%C3%8DA%20EN%20INGENIERIA%20MEC%C3%81NICA%20-DIDIER%20ALDANA%20RODR%C3%8DGUEZ%20-79953235.pdf>
- Alvarez Brotons, X. (2004). *Control predictivo de canales de riego utilizando modelos de predicción de tipo Muskingum (primer orden) y de tipo Hayami (segundo orden)*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3330/34059-5.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Amperis. (12 de Agosto de 2007). *Textos Científicos.com*. Obtenido de <https://www.textoscientificos.com/node/885>
- ANSI/NETA MTS-2007. (27 de Septiembre de 2007). *STANDARD FOR MAINTENANCE TESTING SPECIFICATIONS for Electrical Power Distribution Equipment and Systems*. Obtenido de www.netaworld.org
- Arias Hermida, G. E., & Carrasco Torres, P. A. (2016). *Simulación de una inspección termográfica de una configuración específica de materiales de construcción*. Quito: EPN.
- ASTM. (28 de Febrero de 2008). *Radiografía industrial y NDT*. Obtenido de Industrial Radiographi Supplies & Services, Inc.: http://www.irss.ca/development/documents/CODES%20&%20STANDARDS_

02-28-08/ASTM/Thermography/Guide%20for/E1934-99a%20Examining%20Elec%20&%20Mech%20Equip.pdf

ASTM. (28 de Febrero de 2008). *Radiografía industrial y NDT*. Obtenido de Industrial Radiographi Supplies & Services, Inc.: http://www.irss.ca/development/documents/CODES%20&%20STANDARDS_02-28-08/ASTM/Thermography/Test%20Method%20for/E1933-99a%20Emissivity%20Using%20Infrared%20Imaging.pdf

Ballesteros Robles, F. (Febrero de 2017). La estrategia predictiva en el mantenimiento industrial. *Preditécnico*(23), 36-45. Recuperado el 8 de Enero de 2018, de <http://www.preditec.com/noticias/revista-preditecnico-num-23---descarga-gratuita/>

Barajas, O. (7 de Mayo de 2009). *electronicosonline.com*. Recuperado el 5 de Diciembre de 2018, de <https://www.electronicosonline.com/Certificaciones-ISO-para-termografia/>

Birbilis, G. (28 de Julio de 2015). *zoomicon.wordpress.com*. Obtenido de <https://zoomicon.wordpress.com/2015/07/28/kinect-for-xbox-360-and-kinect-for-windows-kfw-v1-specs/>

Boofcv.org. (29 de Diciembre de 2018). *boofcv.org*. Obtenido de http://boofcv.org/index.php?title=Main_Page

Caballero, R. (8 de Abril de 2005). <http://gpd.sip.ucm.es/rafa/docencia/>. Obtenido de <http://gpd.sip.ucm.es/rafa/docencia/programacion/tema4/hebras.pdf>

Caiza López, N. A. (2016). *TERMOGRAFÍA INDUSTRIAL EN MOTORES ELÉCTRICOS DE LA PLANTA SOGUAR S.A. PARA DETERMINAR PARÁMETROS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO*. Ambato: UTA.

Castillo, J. (Julio de 2010). *Monografias.com* S.A. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos92/termografia-mantenimiento/termografia-mantenimiento.shtml>

Cerdeira Pérez, F. (2008). *Desarrollo de nuevas técnicas de análisis no destructivo basadas en termografía infrarroja para su aplicación en la detección de falta de adherencia de aplacados en fachadas de edificios*. Vigo: Universidad de Vigo.

- Chromy, A., & Klima, O. (2017). A 3D Scan Model and Thermal Image Data Fusion Algorithms for 3D Thermography in Medicine. *Journal of Healthcare Engineering*. 2017, págs. 1-9. El Cairo: Hindawi. doi:<https://doi.org/10.1155/2017/5134021>
- Coello, A. (Enero de 2012). *principiosdemantenimientousb.wikispaces.com*. Obtenido de <https://principiosdemantenimientousb.wikispaces.com/05.+Control+de+procesos+de+mantenimiento>.
- Conceptodefinicion.de. (2018). *conceptodefinicion.de/servicio/*. Obtenido de <http://conceptodefinicion.de/servicio/>
- Contraloría General del Estado. (10 de Febrero de 2014). <https://www.inmobiliar.gob.ec>. Obtenido de <https://www.inmobiliar.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/Reglamento-General-Sustitutivo-para-el-manejo-y-Administración-de-Bienes-S.P..pdf>
- Data Center Knowledge. (28 de Julio de 2013). *datacenterknowledge*. Obtenido de <http://www.datacenterknowledge.com/>
- De Souza, M. A., Sanches, I. J., Gamba, H. R., & Nohama, P. (2013). Image Fusion Improvements applied at the Generation of 3D Thermal Models. *35th Annual International Conference of the IEEE EMBS* (págs. 3371-3374). Osaka: IEEE.
- Deconceptos. (2018). *deconceptos.com*. Obtenido de <https://deconceptos.com/ciencias-sociales/manufactura>
- Diestefano, J. J., Stubberud, A. R., & Williams, I. J. (1992). *Retroalimentación y Sistemas de Control*. Bogotá: McGraw-Hill.
- DITIC-UTA. (21 de Junio de 2016). Plan de Mantenimiento UTA V1.0. Ambato, Tungurahua, Ecuador: DITIC-UTA.
- Dongguan Xintai Instrument Co., Ltd. (19 de Octubre de 2017). *tools.in.th*. Obtenido de [tools.in.th: http://www.tools.in.th/manual/Catalog-กล้องถ่ายภาพความร้อน-XINTEST.pdf](http://www.tools.in.th/manual/Catalog-กล้องถ่ายภาพความร้อน-XINTEST.pdf)
- Duque, E. (5 de Febrero de 2015). *edwinnui.wordpress.com*. Obtenido de <https://edwinnui.wordpress.com/2015/02/05/diferencias-entre-kinect-v1-y-kinect-v2-2/>

EAE Business School. (19 de Diciembre de 2017). *retos-operaciones-logistica.eae.es*.
 Obtenido de Retos en Supply Chain: <https://retos-operaciones-logistica.eae.es/tipos-de-sistemas-de-produccion-industrial-y-sus-caracteristicas/>

EFITEC. (23 de Enero de 2016). <http://efitecsa.com/>. Obtenido de <http://efitecsa.com/termografia-herramienta-mantenimiento/>

Escuelapedia. (12 de Octubre de 2015). *escuelapedia.com*. Obtenido de <http://www.escuelapedia.com/respuestas/cual-es-la-diferencia-entre-manufactura-y-servicios>

Espitia Contreras, A. A. (2014). *Caracterización del perfil antropométrico estudiantil de la Universidad Militar Nueva Granada Sede calle 100 y Campus Cajicá mediante el uso de medios virtuales*. Universidad Militar Nueva Granada, Ingeniería Industrial . Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada. Recuperado el 30 de Noviembre de 2018, de <https://www.researchgate.net/publication/275346013>

FLIR Systems Incorporated. (14 de Agosto de 2008). *Automation.com*. Obtenido de https://www.automation.com/pdf_articles/Automation_Guidebook.pdf

FLIR Systems, Inc. (2018). *flir.com*. Recuperado el 15 de Agosto de 2018, de <https://www.flir.com.mx/products/lepton/>

FLIR Systems, Inc. (22 de Marzo de 2018). *flir.com/globalassets*. Obtenido de <https://www.flir.com/globalassets/imported-assets/document/flir-lepton-datasheet.pdf>

Fluke Corporation. (2010). Obtenido de www.fluke.com

Fluke Corporation. (2010). *Applying infrared thermography to predictive maintenance*. Everett, Washington, Estados Unidos: Fluke Corporation.

Fluke Corporation. (18 de Mayo de 2018). <https://www.fluke.com/es-es>. Obtenido de <https://www.fluke.com/es-es>: <https://www.fluke.com/es-es>

Fluke Corporation y The Snell Group. (14 de Marzo de 2016). <http://content.fluke.com>. Obtenido de <http://content.fluke.com/dashboard/files/eses/import/booklet.pdf>

Fluke Ibérica, S.L. (21 de Octubre de 2005). *fluke.es*. Obtenido de <http://www.fluke.es>

Fundación de la Energía de la Comunidad. (2011). *Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid*. Obtenido de

- <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-de-la-Termografia-Infrarroja-fenercom-2011.pdf>
- Gestamp. (Junio de 2017). *Departamentode I+D de Loire-Gestamp*. Obtenido de <https://www.ehu.es/documents/1380611/5935760/Visi%c3%b3n+artificial+aplicada+a+im%c3%a1genes+termogr%c3%a1ficas+para+el+control+de+calidad+de+las+1%c3%adneas+de+estampaci%c3%b3n+en+caliente>
- Groupgets. (2 de Abril de 2018). *groupgets.com*. Obtenido de https://files.groupgets.com/PT2/2018-04-02_PureThermal2_Schematic.PDF
- GroupGets. (27 de Junio de 2018). *GroupGets.com*. Obtenido de https://www.mouser.ec/datasheet/2/813/PureThermal_2_-_Datasheet_-_1.1-1375351.pdf
- Grupo de Investigación en Robótica Autónoma del CAETI. (30 de Julio de 2015). *tecnodacta.com.ar*. Obtenido de <http://tecnodacta.com.ar/gira/2015/07/conociendo-coordenadas-reales-con-kinect/>
- Guamán Tisalema, D. P. (2015). *ANÁLISIS, EVALUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE IMÁGENES TERMOGRÁFICAS UTILIZANDO REDES NEURONALES ARTIFICIALES Y TÉCNICAS DE EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE TEXTURA DE HARALICK*. Ambato: UTA.
- Guerrero Mena, C. N. (2013). *Evaluación de la Aplicabilidad de la Técnica de la Termografía Infrarroja al Reconocimiento del Estado de Elementos de Hormigón*. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona: Màster universitari en Tecnologia a l'Arquitectura. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/19610>
- Herrera C., D. (1 de Junio de 2011). <https://sourceforge.net>. Obtenido de <https://sourceforge.net/projects/kinectcalib/files/v1.1/>
- Ibarra-Castanedo, C., Piau, J.-M., Guilbert, S., Avdelidis, N. P., Genest, M., Bendada, A., & Maldague, X. P. (2009). Comparative study of active thermography techniques for the nondestructive evaluation of honeycomb structures. *Research in Nondestructive Evaluation*, 20, 1-31. Obtenido de <http://vision.gel.ulaval.ca/~bendada/publications/id679.pdf>

- Ibarra-Castanedo, C., Sfarra, S., Genest, M., & Maldague, X. (2015). Infrared Vision: Visual Inspection Beyond the Visible Spectrum. En Z. Liu, H. Ukida, P. Ramuhalli, & K. Niel, *Integrated Imaging and Vision Techniques for Industrial Inspection* (págs. 41-58). London: Springer. doi:<https://doi.org/10.1007/978-1-4471-6741-9>
- IES Huelin. (6 de Marzo de 2012). ieshuelin.com/huelinwp. Obtenido de <http://ieshuelin.com/huelinwp/download/Tecnologia/Tecnologia%20industrial/3-SISTEMAS-AUTOMaTICOS-DE-CONTROL-ampliacion-PAG-1-a-34.pdf>
- Infaimon. (16 de 10 de 2012). infaimon.com. Obtenido de Su asesor en visión artificial: www.infaimon.com
- International Organization for Standardization. (Marzo de 2008). <https://www.iso.org>. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/41648.html>
- Isasi Andrieu, A., Artech Vicario, J. A., & Araquistain, I. (27 de 03 de 2014). *Interempresas.net*. Obtenido de Metalmecánica: www.interempresas.net
- ISOTEST. (10 de Marzo de 2017). isotest.blog. Obtenido de <http://www.isotest.blog/category/termografia/>
- Jana, A. (2012). *Kinect for Windows SDK Programming Guide*. Birmingham, Inglaterra: Packt Publishing.
- Kramer, J., Burrus, N., Ehtler, F., Herrera C, D., & Parker, M. (11 de Junio de 2012). *the-eye.eu/public/Books*. Obtenido de https://the-eye.eu/public/Books/IT%20Various/hacking_the_kinect.pdf
- LEGISLACIÓN NACIONAL - ECUADOR. (1998). De los Derechos de Autor y Derechos Conexos. Quito: SICE.
- Libro Blanco del Control Automático* (Primera ed.). (2009). Madrid: Comité Español de Automática (CEA). Obtenido de http://intranet.ceautomatica.es/sites/default/files/upload/8/files/LibroBlancodeIControlCEA_TamannoReducido.pdf
- López Rodríguez, G. (2010). *Aplicación de la termografía infrarroja en la evaluación no destructiva de estructuras de madera*. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- lucasrangit. (28 de Enero de 2013). <https://github.com>. Obtenido de <https://github.com/lucasrangit/RGBDLocalization/blob/master/helpers.c>

- Maldague, X. P. (2001). *Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing* (Primera ed.). New York: Wiley-Interscience.
- Mantenimiento Mundial. (2011). *Mantenimiento Mundial*. Obtenido de Mantenimiento Mundial Definiciones: <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/definiciones.asp>
- Matallana, E., & Martínez Romero, E. (2017). Técnica Flexible de Zhang para el cálculo de parámetros intrínsecos y extrínsecos en el ajuste de dietas en cultivos de *Oreochromis Sp.* *Teknos*, 22-30. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6382616>
- MathWorks. (2013). <https://la.mathworks.com>. Recuperado el 2 de Noviembre de 2018, de <https://la.mathworks.com/videos/camera-calibration-with-matlab-81233.html>
- Méndez, R. (1997). *Geografía económica. La lógica espacial del capitalismo global*. Barcelona: Ariel.
- Microsoft. (13 de Septiembre de 2013). *microsoft.com*. Recuperado el 30 de Noviembre de 2018, de <https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=40278>
- Mora Gutiérrez, L. A. (2009). *Mantenimiento. Planeación, ejecución y control* (Primera ed.). México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
- Moulay A., A., Yannis, G., Clemente-Ibarra, C., & Abdelhakim, B. (2016). Three-dimensional thermography for non-destructive testing and evaluation. *Quantitative InfraRed Thermography Journal*, 14, 1-28. doi:10.1080/17686733.2016.1229245
- Muñoz Abella, M. B. (2008). *Universidad Carlos III de Madrid*. (U. C. Mecánica, Ed.) Obtenido de <http://ocw.uc3m.es>: <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/teoria-de-maquinas/lecturas/MantenimientoIndustrial.pdf>
- Netbeans.apache.org. (Junio de 2000). *Netbeans.org*. Obtenido de https://netbeans.org/index_es.html
- New Optical Applications. (2018). *NOA*. Obtenido de noaweb.es: <https://www.noaweb.es/actualidad/>
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de Control Moderna*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.

- Optris GmbH. (9 de Septiembre de 2016). *optris.co.uk*. Obtenido de optris.co.uk/downloads: www.optris.co.uk
- Ortega Ramírez, J. R. (2015). La termografía infrarroja para la documentación de inmuebles. *Publicaciones Digitales ENCRyM, Problemática y diagnóstico de Sistemas Constructivos con Metales. Estado del Arte*(Primera), 149-164. Obtenido de <https://revistas.inah.gob.mx/index.php/digitales/article/view/5433/5761>
- Pacio, G. (2014). *Data centers hoy*. Buenos Aires: Alfaomega Grupo Editor Argentino S.A.
- Peña Santos, D. Y. (2012). *Evaluación de la técnica de termografía para la detección de defectos en soldadura*. Bogotá: Universidad Libre. Obtenido de <http://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/9828/MONOGRAFÍA%20DEYCI%20PEÑA%20SANTOS.pdf?sequence=1>
- Pérez Villegas, M. (2016). *Aplicaciones de la termografía infrarroja en el mantenimiento industrial para mejorar la productividad y sustentabilidad*. Obtenido de http://www.aciemmantenimientoygestiondeactivos.org/home/files/Trabajos/17057_TRA_MEX_M_PEREZ_CIMGA2017.pdf
- Picazo Ródenas, M. J. (2016). *DIAGNÓSTICO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS MEDIANTE TÉCNICAS DE TERMOGRAFÍA INFRARROJA*. Valencia: Universitat Politècnica de València. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/62317/PICAZO%20-%20Diagnóstico%20de%20máquinas%20eléctricas%20mediante%20técnicas%20de%20termografía%20infrarroja.pdf?sequence=1>
- Polochè Arango, A. (2011). *GILPOL CO*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/poloche74ingcontrol/ingenieria-de-control>
- Portal ingeniería y gestión del mantenimiento. (4 de Enero de 2016). *ingenieriamantenimiento.org*. Obtenido de [boletin-mejorar-informes-de-termografia:](http://www.ingenieriamantenimiento.org/boletin-mejorar-informes-de-termografia/) <http://www.ingenieriamantenimiento.org/boletin-mejorar-informes-de-termografia/>

- Preditec GRUPO ÁLAVA. (2018). *Preditec es una empresa de GRUPO ÁLAVA*. Obtenido de Preditec GRUPO ÁLAVA: <http://www.preditec.com/mantenimiento-predictivo/>
- Rangel, J., Soldan, S., & Kroll, A. (2014). 3D Thermal Imaging: Fusion of Thermography and Depth Cameras. *12th International Conference for Quantitative InfraRed Thermography (QIRT 2014)*. Bordeaux.
- Revista Líderes. (9 de Junio de 2014). En Ambato se forja el nuevo emprendimiento. *Revista Líderes*. Obtenido de <http://www.revistalideres.ec/lideres/ambato-forja-nuevo-emprendimiento.html>
- Rivera, C. (16 de Noviembre de 2017). *cesarrivera.cl/investigacion-basica-e-investigacion-aplicada/*. Obtenido de <http://www.cesarrivera.cl/investigacion-basica-e-investigacion-aplicada/>
- Robinson, D. W., Simpson, R., Parian, J. A., Cozzani, A., Casarosa, G., Sablerolle, S., & Ertel, H. (Septiembre de 2017). 3D thermography for improving temperature measurements in thermal vacuum testing. *CEAS Space J*, 9, 333-350. doi:10.1007/s12567-017-0167-3
- Rocha Núñez, J. M., & Lara Hernández, E. G. (11 de Septiembre de 2008). *gama.fime.uanl.mx*. Obtenido de <http://gama.fime.uanl.mx/~agarcia/materias/ingco/apclas/01%20-%20Introduccion%20a%20los%20Sistemas%20de%20Control.pdf>
- Rogalski , A., & Chrzanowski , K. (2002). Infrared devices and techniques. *Opto-Electron*(Rev 10 (2)), 111-136.
- Rogalski, A. (2011). Recent progress in infrared detector technologies. *Infrared Phys Technol*(54), 136–154.
- RS Components. (27 de Octubre de 2015). *es.rs-online.com*. Obtenido de <https://www.voltimum.es/documentos/presentaciones-webinars/presentacion-3>
- Ruiz Canales, A., & Molina Martínez, J. M. (2007). *.infoagro.com*. Obtenido de Infoagro Systems, S.L.: http://www.infoagro.com/riegos/control_riego_y_fertilizacion.htm

- Santamaría Holec, R. (2004). Los 10 Errores que no debe cometer en su Programa de Termografía. *Tecnología Avanzada para Mantenimiento S.A. de C.V.*, 1-6. Obtenido de <https://www.tam.com.mx/images/descargas/articulos/tam08.pdf>
- SdNcenter. (10 de Diciembre de 2014). <http://www.sdncenter.com/>. Recuperado el 14 de Diciembre de 2018, de <https://www.javonet.com/>: <https://www.javonet.com>
- SEAS, Estudios Superiores Abiertos. (2013). *Gestión de mantenimiento I*. Zaragoza: SEAS, S.A. Obtenido de <http://www.fnmt.es/documents/10179/6076529/20151105+Documentacion+1/931c925e-bb51-450d-bb17-db70ff3a6524>
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo - Senplades 2017. (22 de Septiembre de 2017). *Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo*. Obtenido de [planificacion.gob.ec](http://www.planificacion.gob.ec): http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf
- Silva, P. (10 de Octubre de 2011). *copimerainternacional.org*. Obtenido de http://copimerainternacional.org/inicio/images/conferencias/planeacion_y_programacion_en_mantenimiento.pdf
- Sináis Ingeniería de Mantenimiento. (2013). *www.sinais.es*. Recuperado el 8 de Enero de 2018, de <http://www.sinais.es/Mantenimiento%20Predictivo.pdf>
- Skogestad, S., & Postlethwaite, I. (1995). *Multivariable feedback control: analysis and*. John Wiley & Sons.
- Snell, J. (7 de Mayo de 2014). *interempresas.net*. (S. Fluke Ibérica, Ed.) Obtenido de https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/5159/13153-spa-w.pdf
- Testo Argentina SA. (2010). *Academia on line*. Obtenido de Termografía - ¿Qué es?: <http://www.academiatesto.com.ar/cms/termografia-que-es>
- Transmidiesel S.A.S. (2016). *www.transmidiesel.com/index.php*. Obtenido de <http://www.transmidiesel.com/index.php/servicios/mantenimiento-predictivo-preventivo-correctivo>

- udaix. (22 de Junio de 2016). *es.123rf.com*. Obtenido de https://es.123rf.com/photo_80715775_diagrama-de-infográfico-de-los-métodos-de-transferencia-de-calor-que-incluye-la-convección-de-la-conducción-y-.html
- VIDITEC S.A. (13 de Mayo de 2014). *docplayer.es*. Obtenido de <http://docplayer.es/19254067-Inspeccion-de-sistemas-electricos-con-camaras-termograficas.html>
- Villaescusa Egea, F. J. (2013). *Aplicación de los ensayos no destructivos : análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja en un remolcador*. Universidad Politécnica de Cartagena . Cádiz: Escuela de Ingeniería Naval y Oceánica. Obtenido de <http://repositorio.upct.es/handle/10317/3383>
- Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., & Ye, K. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. México: Pearson Educación.
- Zonapredictiva. (2015). *zonapredictiva.com*. Obtenido de <http://zonapredictiva.com/zona/index.php/2015/06/25/importancia-del-mantenimiento-predictivo/>

ANEXOS

Anexo 1: Encuesta dirigida al personal que integra la DEaDV.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

MAESTRÍA EN AUTOMATIZACIÓN Y SISTEMAS DE CONTROL

ENCUESTA DIRIGIDA AL PERSONAL QUE INTEGRA LA DIRECCIÓN DE EDUCACIÓN A DISTANCIA Y VIRTUAL

OBJETIVO:

- Identificar el nivel de conocimiento sobre el sistema de control de termografía 3D y el mantenimiento predictivo.

Estimado personal del DEaDV:

El presente cuestionario tiene como propósito recabar información sobre la mantenibilidad de los equipos, dicha información será aporte para el trabajo investigativo que pretende optimizar la gestión de mantenimiento realizada por Ustedes.

Por tanto, la contestación a este cuestionario es una importante colaboración en beneficio de la DEaDV.

INSTRUCTIVO:

- Seleccione una de las alternativas que se propone.
- Marque con una X en la casilla la alternativa que usted eligió; salvo el caso particular de que una/s pregunta/s se le pida elegir una o varias alternativas.

DATOS GENERALES:

Género: M F **Educación:** Superior Posgrado

¿Cuántos años tiene?

- Menos de 20
- Entre 20 y 25
- Entre 26 y 35
- Entre 36 y 45
- Más de 45

Cargo que desempeña:

- Gerencial
- Administrativo
- Otro _____

DATOS ESPECÍFICOS:

1. ¿Conoce Usted lo qué es el mantenimiento de equipos?

- Sí No

De ser *sí* su respuesta, conteste las siguientes preguntas.

2. ¿Qué tipos de mantenimiento conoce? (Escoja una o varias alternativas):

- Correctivo
 Preventivo
 Predictivo
 Ninguno
 Otro ¿Cuál? _____

3. ¿Con qué frecuencia realiza actividades de mantenimiento en su área?

- Diaria
 Semanal
 Mensual
 Semestral
 Otro ¿Cuál? _____

4. ¿En qué horario realiza las actividades de mantenimiento?

- Mañana
 Tarde
 Noche

5. ¿Qué tiempo destina a las actividades de mantenimiento?

- 1 a 2 horas
 2 a 4 horas
 5 a 10 horas
 Más de 10 horas

6. ¿Cuál o cuáles medios o herramientas utiliza para realizar actividades de mantenimiento? (Escoja una o varias alternativas):

- Herramientas para computador (brochas, desarmadores, paños de limpieza, pinzas, spray, etc.)
 Herramientas eléctricas (cautín, soplador, taladro)
 Instrumentos de medida (multímetro, osciloscopio)
 Software (Antivirus, instaladores)
 Otros ¿Cuál? _____

7. ¿Cree Usted que la gestión de mantenimiento ayuda a la continuidad y vida útil de los equipos?

- Sí No

8. ¿Considera Usted que es necesario un sistema de control para predecir el mantenimiento de los equipos?

Sí No

9. ¿Conoce Usted lo que es la termografía o captura de imágenes térmicas a distancia?

Sí No

10. ¿Considera Usted que la alta temperatura es un factor que afecta la funcionalidad de dispositivos, equipos y sistemas electrónicos?

Sí No

11. ¿Encuentra conveniente que un sistema de termografía asista al mantenimiento de los equipos electrónicos?

Sí No

12. ¿Cree Usted que las imágenes térmicas en tres dimensiones favorezcan las labores de mantenimiento de los equipos electrónicos?

Sí No

¡Gracias por su colaboración!

Anexo 2: Estándar ASTM E 1934-99a.



Designation: E 1934 – 99a

Standard Guide for Examining Electrical and Mechanical Equipment with Infrared Thermography¹

This standard is issued under the fixed designation E 1934; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This guide lists the responsibilities of the end user and the infrared thermographer when examining electrical and mechanical systems.

1.2 This guide outlines the specific content required to document qualitative and quantitative infrared examinations of electrical and mechanical equipment²

1.3 *This guide may involve use of equipment and materials in the presence of heated, moving or all of these or electrically energized equipment.*

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*

E 1316 Terminology for Nondestructive Examinations³

3. Terminology

3.1 *Definitions:*

3.1.1 *end user*—the person responsible for using the information provided by an infrared examination.

3.1.2 *exception*—an abnormally warm or cool connector, conductor or component.

3.1.3 *infrared examination*—the use of an infrared imaging system to provide thermal data about a structure, system, object or process.

3.1.4 *inventory list*—a list of the equipment by the infrared thermographer.

3.1.5 *qualified assistant*—a person provided and authorized by the end user to perform the tasks required by the infrared thermographer. He/she shall be knowledgeable of the operation and history of the equipment to be examined and of all safety

practices and rules of the end user.

3.1.6 *qualitative infrared inspection*—an infrared examination that provides images of exceptions but not temperature data.

3.1.7 *quantitative infrared inspection*—an infrared examination that provides both images of exceptions and temperature data.

3.2 See also Terminology E 1316.

4. Significance and Use

4.1 This guide can be used by an end user to specify infrared examinations of electrical and mechanical equipment and an infrared thermographer to perform them.

4.2 This guide lists the joint responsibilities of the end user and the infrared thermographer when using infrared thermography.

4.3 The purpose of an infrared examination is to identify and document exceptions in the end user's electrical or mechanical systems, or both.

4.3.1 In electrical equipment, warm exceptions are usually created by an increase in resistance caused by loose or deteriorated connections, short circuits, overloads, load imbalances or faulty, mismatched or improperly installed components. Cool exceptions are usually caused by failed components.

4.3.2 In mechanical equipment, warm exceptions are usually created by friction caused by improper lubrication, misalignment, worn components or mechanical loading anomalies. Cool exceptions are usually caused by failed components.

4.3.3 Exceptions in insulation systems are usually caused by missing or deteriorated materials, improper installation or insufficient amounts of material.

4.4 Providing opinions about the causes of exceptions, the integrity of the equipment or recommendations for corrective actions require knowledge and skills beyond those of infrared thermography.

4.5 Infrared examinations provide data about equipment at the time of examination only.

4.6 Infrared examinations are not remedial.

4.7 An infrared examination of electrical and mechanical equipment does not assure its proper operation. Other tests and proper maintenance are necessary to ensure their reliable performance.

¹ This guide is under the jurisdiction of ASTM Committee E-7 on Nondestructive Testing and is the direct responsibility of Subcommittee E07.10 on Emerging NDT Methods.

Current edition approved Dec. 10, 1999. Published February 2000. Originally published as E 1934 – 97. Last previous edition E 1934 – 99.

² This guide is adapted from the *Guideline for Infrared Inspection and Mechanical Systems* developed by Infraspection Institute, 1971 Shelburne Road, Shelburne, VT 05482, 1993.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.03.

5. Personnel Responsibilities

5.1 The infrared thermographer shall:

5.1.1 Have sufficient knowledge of the components, construction and theory of electrical or mechanical equipment, or both, to understand the observed patterns of radiation,

5.1.2 Be knowledgeable of, and comply with, the safety practices and rules of the end user, and

5.1.3 Use an infrared imaging system with imaging or radiometric capabilities, or both, sufficient to meet the examination requirements.

5.2 Unless he/she is a licensed electrician, professional engineer or has other equivalent qualifications, the infrared thermographer:

5.2.1 Shall not perform any tasks that are normally done by these personnel. Unless so qualified and authorized by the end user, the infrared thermographer,

5.2.2 Shall not remove or replace covers or open or close cabinets containing electrical or mechanical equipment,

5.2.3 Shall not measure electric loads of equipment, and

5.2.4 Shall not touch any equipment and shall maintain a safe distance from it.

5.3 The qualified assistant shall fulfill the responsibilities listed in 3.1.5, 6.1, 6.2, 6.4 through 6.4.3, 6.7.1, and 6.8.

5.4 The end user shall assume full responsibility for consequences resulting from actions taken, or not taken, as a result of data provided by an infrared examination.

6. Procedure

6.1 The end user shall provide, to accompany the infrared thermographer, a qualified assistant who is knowledgeable of the operation and history of the equipment to be examined.

6.2 With the assistance of the qualified assistant, the infrared thermographer shall develop an inventory list of the equipment to be examined in a logical, efficient and safe route through the facility.

6.3 The infrared thermographer shall perform a calibration test(s), before each quantitative infrared examination, to ensure that all temperature-measuring equipment is within the manufacturers' standard specifications for accuracy.

6.4 The qualified assistant shall prepare the equipment for examination by:

6.4.1 Obtaining authorization necessary to gain access to the equipment to be examined and notifying operations personnel of the examination activities,

6.4.2 Opening or removing, or both, all necessary cabinet and enclosure covers immediately before examination to provide the infrared thermographer with direct views of the equipment.

6.4.3 Ensuring that the equipment to be examined is under adequate load, creating satisfactory loads when necessary, and allowing sufficient time for recently energized equipment to produce stable thermal patterns.

6.5 When examining the equipment, the thermographer will comply with all safety rules, regulations and practices of the end user.

6.6 The infrared thermographer shall perform examinations when the environmental and physical conditions, such as solar gain, wind, surface and atmospheric moisture and heat transfer

are favorable to gathering accurate data.

6.7 The infrared thermographer shall document any exceptions found by recording the data required in 7.2 through 7.2.9 or 7.3 through 7.3.6, or all of these.

NOTE 1—Special care must be exercised when examining surfaces having low emissivities (<0.5). In these circumstances exceptions may be more difficult to detect. Also, such surfaces produce reflections that can be misleading. The infrared thermographer should be aware of these potential error sources and use techniques to minimize them, such as moving the position of the imager and blocking the surfaces from reflected sources.

6.7.1 When requested by the infrared thermographer, the qualified assistant shall measure the loads of electrical equipment.

6.8 The qualified assistant shall close or replace, or both, the cabinet and enclosure covers that had been opened or removed in 6.4.2 immediately after examination and documentation by the infrared thermographer.

6.9 The infrared thermographer shall prepare a report for the end user containing the appropriate content listed in Section 7.

6.10 The infrared thermographer shall, when requested by the end user, re-examine each exception after repair to assure that its operating temperature is normal and the potential problem corrected.

7. Report

7.1 The infrared thermographer shall provide documentation for all infrared examinations. The following information shall be included in a report to the end user:

7.1.1 The name, affiliation, address, and telephone number of the infrared thermographer, and his/her certification level and number, if applicable.

7.1.2 The name and address of the end user,

7.1.3 The name(s) of the assistant(s) accompanying the infrared thermographer during the examination,

7.1.4 The manufacturer, model and serial number of the infrared imaging system used,

7.1.5 The inventory list (see 6.2) with notations of the items of equipment that were examined and explanations for the items not examined. Also, the items with low-emissivity surfaces (see Note 1) should be identified.

7.1.6 The date(s) of the inspection and when the report was prepared.

7.2 When performing a qualitative infrared examination, the infrared thermographer shall provide the following information for each exception identified:

7.2.1 Its exact location,

7.2.2 A description, such as its significant nameplate data, phase or circuit number, rated voltage, current rating and/or rotation speed,

7.2.3 The ambient air temperature and, when relevant, the wind speed and direction and the sky conditions at the time of the examination,

7.2.4 The time the exception was documented,

7.2.5 Hardcopies of the thermal image (thermogram) and of a corresponding visible-light image,

7.2.6 The field of view or magnification multiplier of the infrared imager lens, and any imager settings that could affect the accuracy, reliability, or repeatability of the inspection data.

7.2.7 Notation of any attenuating media, such as windows,

E 1934

filters, atmospheres or external optics,

7.2.8 If desired, a subjective repair priority rating provided by the qualified assistant or end user representative, or both, based on the importance of the exception to the safe and profitable operation of the facility, and

7.2.9 Any other information or special conditions which may affect the results, repeatability or interpretation of the exception.

7.3 When performing a quantitative infrared examination, the infrared thermographer shall provide the following additional information for each exception:

NOTE 2—The purpose of a quantitative infrared inspection is to produce temperature data. If temperature data are not desired or required, then the infrared thermographer performs a qualitative infrared inspection and does not measure or provide temperatures.

7.3.1 The distance from the infrared camera to the exception,

7.3.2 Whenever possible, the maximum rated load of an electrical system exception and its measured load at the time of the examination, and

7.3.2.1 The percentage load on the electrical exception,

calculated by dividing its measured load by its rated load and multiplying by 100,

7.3.3 The reflected temperature, emissivity and transmission values used to calculate the temperature(s) of the exception,

7.3.4 The temperature of the exception,

NOTE 3—Actual temperatures of surfaces having low emissivities may differ from corrected radiometric measurements.

7.3.5 If requested, the difference between the temperature of the exception and the temperature of a defined reference such as a similar component under similar load, ambient temperature or a standard (see Note 3), and

7.3.6 If requested, a comparison of the measured temperatures with reference standards, and complete identification of these standards, including their sources.

8. Keywords

8.1 imaging; infrared; infrared examination; infrared inspection; infrared testing; infrared thermography; nondestructive testing; radiometry; temperature criteria; temperature measurement

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9685 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

Anexo 3: Elementos del procedimiento para inspección por termografía infrarroja según estándar ASTM E-1934-99.

Título

Nombre con el que se indica la inspección y la técnica.

Objetivo

Permite describir el lugar donde se realizará la inspección, que proceso o maquinaria se inspeccionará y el nombre de la técnica que se aplicará.

Alcance

Es donde se enlistan los componentes a evaluar y facilitando la ruta de inspección para los componentes y/o equipos.

Documentos técnicos de referencia

Son registros relacionados a las normas técnicas; estándares y regulaciones pertinentes de componentes bajo análisis.

Nomenclatura

Son las palabras claves, acrónimos técnicos, abreviaturas, siglas, etc.

Responsabilidades y calificación del personal

Es necesario especificar el número de personas requeridas para la inspección, en el cual se describe las competencias técnicas y certificaciones que debe tener cada uno los candidatos.

Materiales de los componentes a inspeccionar

Es donde se realiza una descripción, así como la relación de los materiales y estructura de los elementos a inspeccionar.

Técnica usada

Es una directriz breve de la técnica de ensayos no destructivos a usar.

Equipo

Se describe el equipo a usar, marca, referencia, especificaciones técnicas relevantes.

Descripción del ensayo

Se describe el paso a paso del proceso de inspección, así como los aspectos técnicos inherentes al proceso y/o aplicación.

Interpretación de imágenes e indicaciones

Se describe los documentos técnicos de referencia, método y software que analizará las imágenes encontradas.

Normas de seguridad

Es un aspecto de seguridad que se aplica al momento de realizar la inspección de equipos mecánicos y eléctricos.

Elementos relevantes del reporte según numeral 7 del estándar ASTM E1933 – 99a Anexo 4.

(Aldana Rodríguez, 2017)

Anexo 4: Estándar ASTM E 1933 – 99a.



Designation: E 1933 – 99a

Standard Test Methods for Measuring and Compensating for Emissivity Using Infrared Imaging Radiometers¹

This standard is issued under the fixed designation E 1933; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

1. Scope

1.1 These test methods cover procedures for measuring and compensating for emissivity when measuring the surface temperature of a specimen with an infrared imaging radiometer.²

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

1.3 *These test methods may involve use of equipment and materials in the presence of heated or electrically-energized equipment, or both.*

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*

E 1316 Terminology for Nondestructive Examinations³

3. Terminology

3.1 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

3.1.1 *reflected temperature*—the temperature of the energy incident upon and reflected from the measurement surface of the specimen.

3.1.2 *surface-modifying material*—any tape, spray, paint or the like that is used to change the emissivity of the specimen surface.

3.2 See also Terminology E 1316.

4. Summary of Test Method

4.1 Two test methods are given for measuring the emissivity of a specimen surface, the contact thermometer method and the non-contact thermometer method.

4.2 A test method is also given for compensating for the error produced by emissivity using the computer built into an

infrared imaging radiometer.

5. Significance and Use

5.1 The emissivity of a specimen can cause surface temperature measurement errors. Two test methods are provided for measuring and compensating for this error source.

5.2 These test methods can be used in the field or laboratory, using commonly available materials.

5.3 These test methods can be used with any infrared radiometers that have the required computer capabilities.

6. Interferences

6.1 *Contact Thermometer Method*—Contact thermometers can act as heat sinks and change the temperature of the specimen.

6.2 *Noncontact Thermometer Method:*

6.2.1 The use of surface-modifying materials can change the heat transfer properties and temperature of the specimen. Any such errors can be minimized by applying surface-modifying materials to the smallest area that satisfies the measurement accuracy requirements of the radiometer and infrared thermographer.

6.2.2 Before the surface-modifying material is applied to an area of the specimen adjacent to the area where the emissivity is to be measured (as directed in 8.2.4), errors can be minimized by viewing the imager display to ensure that both areas have the same temperature.

6.2.3 When removing a surface-modifying material, as directed in 8.2.7, errors can be minimized by ensuring that the surface is returned to its original condition.

6.3 Both test methods require the specimen to be at a temperature that is at least 10°C warmer or cooler than the ambient temperature. Potential errors can be minimized by ensuring the stability of the temperature difference between the specimen and the ambient temperature during the test. Also, the emissivity measurement accuracy can be increased by increasing this temperature difference.

6.4 The emissivity of a specimen may be specific to the temperature of the specimen and the spectral waveband of the infrared imaging radiometer used to make the measurement. Therefore, the temperature of the specimen and the spectral waveband of the radiometer should be noted along with the measured emissivity value.

6.5 These test methods are valid only for specimens that are

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee E-7 on Nondestructive Testing and are the direct responsibility of Subcommittee E07.10 on Emerging NDT Methods.

Current edition approved Dec. 10, 1999. Published February 2000. Originally published as E 1933-97. Last previous edition E 1933-99.

² These test methods are adapted from the *Guideline for Measuring and Compensating for Reflected Temperature, Emittance and Transmittance* developed by Infraspation Institute, 1971 Shelburne Road, Shelburne, VT 05482, 1993.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.03.

opaque in the waveband of the infrared imaging radiometer.

6.6 As the emissivity of a specimen decreases, its reflectivity increases. Careful consideration and avoidance of potential error sources, including the precise determination of reflected temperature in 8.1.3 and 8.2.3, is required to accurately measure the emissivity values of specimens having lower emissivities. For materials with emissivities less than 0.5, radiometric temperature measurements and emissivity measurements may have a high likelihood of error.

7. Apparatus

7.1 *Calibrated Infrared Imaging Radiometer*, with a built-in computer that allows the infrared thermographer to input reflected temperatures and emissivity values.

7.2 *Tripod*, or device to support the infrared imaging radiometer.

7.3 A natural or induced means of heating or cooling the specimen at least 10°C above or below the ambient temperature.

7.4 The contact thermometer method requires a calibrated contact thermometer.

7.5 The noncontact thermometer method requires a surface-modifying material with a known emissivity at a temperature close to that of the specimen and in the same spectral waveband of the infrared imaging radiometer.

NOTE 1—For best results, the surface modifying material should have a high emissivity, preferably 0.9 or greater.

8. Procedure

8.1 *Contact Thermometer Method*:

8.1.1 Place the infrared imaging radiometer on the tripod or support device at the desired location and distance from the specimen.

8.1.2 Point the infrared imaging radiometer at the specimen and focus on the portion where the emissivity is to be measured.

8.1.3 Use an appropriate infrared imaging radiometer measurement function (such as spot temperature, crosshairs, or isotherm) to measure and compensate for the reflected temperature error incident upon the specimen.

NOTE 2—Such measurements are generally more accurate when the measurement is averaged over a small region of the image. Use of an average temperature box or a narrow band isotherm will produce more reproducible results than single pixel measurements.

8.1.4 Use the contact thermometer to measure the temperature of the point or area just measured in 8.1.3. Record this temperature.

8.1.5 Without moving the imager, adjust its computer's emissivity control until the imager's computer indicates the same temperature recorded in 8.1.4. The indicated emissivity value is the measured emissivity of the specimen, at this temperature and spectral waveband.

8.1.6 Repeat procedures 8.1.1 through 8.1.5 a minimum of three times and average the emissivity values to yield an average emissivity.

8.2 *Noncontact Thermometer Method*:

8.2.1 Place the infrared imaging radiometer on the tripod or support device at the desired location and distance from the specimen.

8.2.2 Point the infrared imaging radiometer at the specimen and focus on the portion where the emissivity is to be measured.

8.2.3 Use an appropriate infrared imaging radiometer measurement function (such as spot temperature, crosshairs, or isotherm) to measure and compensate for the reflected temperature error incident upon the specimen.

8.2.4 Apply the surface-modifying material to, or immediately adjacent to, the portion of the specimen where the emissivity is to be measured. Make sure the surface-modifying material is dry and in good contact with the specimen.

8.2.5 Enter the known emissivity value of the surface-modifying material in the radiometer's computer under the emissivity input (sometimes referred to as *emittance* or *E*).

8.2.6 Use the radiometer to measure the temperature of the surface-modifying material. Record this temperature.

8.2.7 Focus the infrared imaging radiometer on the portion of the specimen immediately adjacent to the surface-modifying material (where the emissivity is to be measured), or remove the surface-modifying material and focus the imager on the previously-modified specimen (where the emissivity is to be measured).

8.2.8 Without moving the imager, adjust its computer's emissivity control until the imager's computer indicates the same temperature recorded in 8.2.6. The indicated emissivity value is the measured emissivity of the specimen, at this temperature and spectral waveband.

8.2.9 Repeat 8.2.1 through 8.2.8 a minimum of three times and average the emissivity values to yield an average emissivity.

8.3 Compensate for emissivity errors by entering the known average emissivity value of the specimen in the radiometer's computer under the emissivity input (sometimes referred to as *emittance* or *E*).

9. Precision and Bias

9.1 *Precision*—An interlaboratory test program is not practical here because of the nature of the test specimens. However, a measure of the precision of the methods can be inferred from the results of the replicate tests specified in 8.1.6 and 8.2.8.

9.2 *Bias*—These test methods for measuring emissivity have no bias because the values of emissivity are defined only in terms of the test methods.

10. Keywords

10.1 emissivity; imaging; infrared; infrared testing; infrared thermography; nondestructive testing; radiometry; reflected temperature; surface-modifying material; target-width/distance ratio; temperature compensation; temperature measurement

 E 1933

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

Anexo 5: Cámara micro-termal de alta resolución FLIR LEPTON 3 & 3.5




HIGH RESOLUTION MICRO THERMAL CAMERA

FLIR LEPTON® 3 & 3.5

FLIR's highest resolution LWIR micro thermal imaging module now includes LEPTON 3.5. LEPTON 3.5 offers the same 160x120, 12 micron, uncooled FPA found in the Lepton 3.0 but now provides calibrated radiometric output across the entire 19,200 pixel array. Lepton 3.5 also increases the scene dynamic range to +400 degrees C providing even greater flexibility for demanding applications. Incorporating the same form and fit as the other most popular Lepton products, the Lepton 3.5 allows for a fast and easy upgrade path with little effort. The revolutionary Lepton was the first complete longwave infrared sensor small enough to be used in smartphones and other mobile platforms. The new radiometric Lepton 3.5 offers users more advanced capability where temperature values and high temperature scenes are required. Smaller than a dime, low power consumption, unmatched image quality, and simple integration coupled with the lowest cost of any FPA based thermal sensor on the market today provides users the tool for innovative product development efforts.

www.flir.com/lepton



ENHANCED IR SENSOR
Greater resolution & sensitivity than common thermopile arrays

- 160 x 120 active pixels
- Thermal sensitivity <50 mK
- Low operating power – 140 mW typical, 650 mW during shutter event
- Low power standby mode



MICRO THERMAL IMAGER
Uncooled thermal imaging for small electronics

- 56° lens
- Integrated digital thermal image processing
- Integrated shutter
- Fast time to image (<0.5 seconds)

For Lepton 3.5

- Optional radiometry for temperature values of every pixel
- Increased scene dynamic range - +400° C (typical)



EASE OF INTEGRATION
Simplifies development & manufacturing of thermal-enabled devices

- Small 11.8 x 12.7 x 7.2 mm package
- SPI video interfaces
- Uses standard cell phone-compatible power supplies
- Two-wire serial control interface
- 32-pin socket interface to connector

SPECIFICATIONS

Overview	Lepton 3	Lepton 3.5
Sensor technology	Uncooled VOx microbolometer	Uncooled VOx microbolometer
Spectral range	Longwave infrared, 8 μm to 14 μm	Longwave infrared, 8 μm to 14 μm
Array format	160 x 120, progressive scan	160 x 120, progressive scan
Pixel size	12 μm	12 μm
Effective frame rate	8.7 Hz (commercial application exportable)	8.7 Hz (commercial application exportable)
Thermal sensitivity	<50 mK (0.050° C)	<50 mK (0.050° C)
Temperature compensation	Automatic. Output image independent of camera temperature.	Automatic. Output image independent of camera temperature.
Radiometric Accuracy		High gain Mode: Greater of +/- 5° C or 5% (typical) Low Gain Mode: Greater of +/- 10° C or 10% (typical)
Non-uniformity corrections	Integral Shutter	Integral Shutter
Scene dynamic range	0° to 120° C	High Gain Mode: -10° to +140° C Low Gain Mode: -10° to +400° C (at room temperature) -10° to +450° C (typical)
Image optimization	Factory configured and fully automated	Factory configured and fully automated
FOV - horizontal	57°	57°
FOV - diagonal	71°	71°
Lens Type	f/1.1	f/1.1
Output format	User-selectable 14-bit, 8-bit (AGC applied), or 24-bit RGB (AGC and colorization applied)	User-selectable 14-bit, 8-bit (AGC applied), or 24-bit RGB (AGC and colorization applied)
Solar protection	Integral	Integral
Electrical		
Input clock	25-MHz nominal, CMOS IO Voltage Levels	25-MHz nominal, CMOS IO Voltage Levels
Video data interface	Video over SPI	Video over SPI
Control port	CCI (I2C-like), CMOS IO Voltage Levels	CCI (I2C-like), CMOS IO Voltage Levels
Input supply voltage (nominal)	2.8 V, 1.2 V, 2.5 V to 3.1 V IO	2.8 V, 1.2 V, 2.5 V to 3.1 V IO
Power dissipation (Typical, room temp)	Nominally 150 mW (operating), 650 mW (during shutter event), 5 mW (standby)	Nominally 150 mW (operating), 650 mW (during shutter event), 5 mW (standby)
Mechanical		
Package dimensions – socket version (w x l x h)	10.50 x 12.70 x 7.14	10.50 x 12.70 x 7.14
Weight	0.9 grams	0.9 grams
Environmental		
Optimum operating temperature range	-10°C to +65°C	-10°C to +80°C
Non-operating temperature range	-40 °C to +80 °C	-40 °C to +80 °C
Shock	1500 G @ 0.4 ms	1500 G @ 0.4 ms

Specifications are subject to change without notice. For the most up-to-date specs, go to www.flir.com

CORPORATE HEADQUARTERS
FLIR Systems, Inc.
27700 SW Parkway Ave.
Wilsonville, OR 97070
PH: +1 877.773.3547

SANTA BARBARA
FLIR Systems, Inc.
6769 Hollister Ave.
Goleta, CA 93117
Phone: +1 805 690 6602

CHINA
FLIR Systems Co., Ltd
Room 502, West Wing, Hanwei Building
No. 7 Guanghua Ave.
Chaoyang District, Beijing 100004, China
Phone: +86 10-59797755

EUROPE
FLIR Systems, Inc.
Luxemburgstraat 2
2321 Meer
Belgium
Phone: +32 (0) 3665 5106

www.flir.com
NASDAQ: FLIR

Equipment described herein is subject to US export regulations and may require a license prior to export. Diversion contrary to US law is prohibited. Imagery for illustration purposes only. Specifications are subject to change without notice. ©2018 FLIR Systems, Inc. All rights reserved. 03/22/18
18-0541-OEM



The World's Sixth Sense®

(FLIR Systems, Inc., 2018)

Anexo 6: Tarjeta inteligente *PureThermal 2* con entradas y salidas para el control de la cámara micro-thermal de alta resolución FLIR LEPTON 3 & 3.5

GroupGets PureThermal 2

FLIR Lepton® Smart I/O Module



The PureThermal 2 FLIR Lepton Smart I/O Module is a hackable thermal webcam module for the FLIR Lepton Longwave Infrared (LWIR) camera core. It ships pre-configured to operate as a plug-and-play UVC 1.0 USB thermal webcam that will work with standard webcam apps such as VLC Media Player on PC, Linux, Mac, and Android.



For developers, it's reference firmware and hardware schematic are open source for customized applications. We have also created an open source software application, [GetThermal](#), to view Lepton data on x86 Linux and macOS platforms. For computers using a Microsoft Windows OS you can use the [FLIR Lepton User App](#) on the Lepton Getting Started page under the Downloads section. GetThermal as well as the FLIR Lepton User App with a PureThermal 2 (PT2) both support the *radiometric* mode of Lepton 2.5 & 3.5. Stay up to date with resources, video, and software for PT2 at its [resource page](#).

FEATURES

- Get Thermal video over USB right out of the box using freeware apps like VLC on Mac, Linux, Windows, or Android
- PT2 can do 9 Hz color video over usb using the [USB UVC class](#)
- STM32F412 ARM microprocessor. Execute on-board image processing without the need for an external system
- Through-holes for GPIO and peripheral breakouts to easily attach other devices
- Open source reference firmware is on the [GroupGets Github](#)
- Device Firmware Upgrade (DFU) the STM32 ARM MCU over USB
- Debug via JTAG through a 6-Pin plug-of-Nails port using a Tag-Connect TC2030-IDC-NL, an ARM20-CTX, & ST-Link V/2.
- Powered via USB
- UART, I2C, and GPIO Expansion via standard 0.1" holes
- Compatible with all current 2.x and 3.x Lepton cores
- Compact 30 x 18mm form-factor that can be embedded into other modules or inconspicuously housed as a standalone web, research, or security camera

APPLICATIONS

- Thermal Imaging
- Non-contact temperature measurements
- Motion Sensing
- Night Vision
- Gesture Recognition



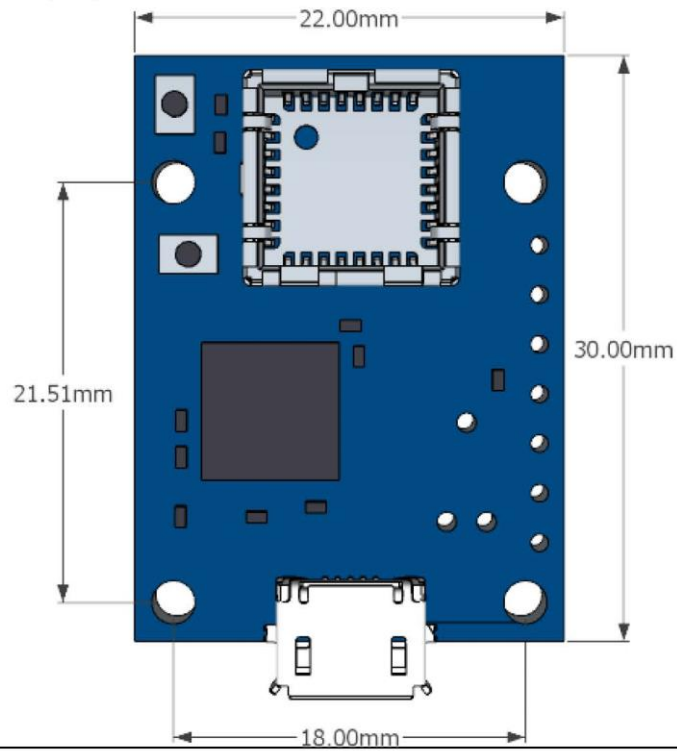
GroupGets

GroupGets.com

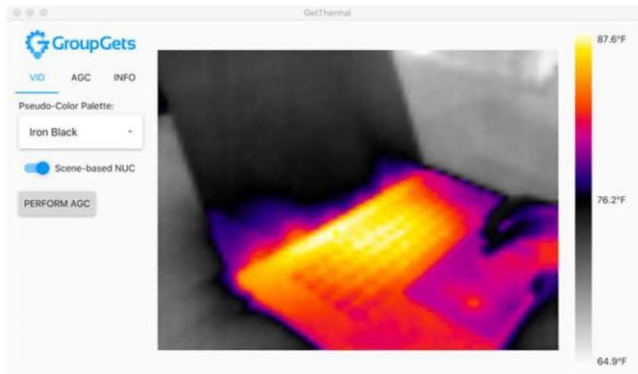
PureThermal 2 Specifications

Power Inputs	Micro USB
Maximum Input Voltage (LiPo/H1)	5.5v
Lepton Core Support	Lepton 2.x and 3.x
Expansion	I2C, UART, GPIO, JTAG
Processor	STM32F412 (1M Flash, 512K RAM)
Thermal Video Outputs	UVC over USB
PureThermal 2 Part Number	PURETHERMAL-2

Dimensions (mm)



Application Information



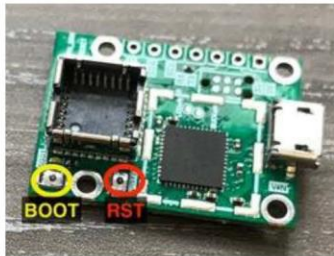
Programming PureThermal 2

You can program the PureThermal 2 over USB in DFU-Mode.

If you're not compiling from source you can download the firmware from [our PureThermal Firmware releases section here](#) and substitute the .bin file in the .tgz for main.bin in the commands below.

Entering bootloader (DFU) mode

1. Locate the buttons to press on your PureThermal board.



2. Press and hold the BOOT button
3. Without releasing BOOT, press and release RST

4. Release BOOT
5. When you successfully enter DFU mode, the indicator LED will stop blinking and dim to half brightness

Linux / MacOS Flashing

Install dfu-util:

```
sudo apt-get install dfu-util  
or
```

```
brew install dfu-util  
or your system's package manager.
```

Then run:

```
dfu-util -a 0 -D main.bin -s 0x08000000  
or use:
```

```
scripts/flash.sh
```

Windows Flashing

DfuSe USB drivers. <http://www.st.com/web/en/catalog/tools/FM147/CL1794/SC961/SS1533/PF257916#>

win32 DFU tools https://files.groupgets.com/purethermal/win32_dfu.zip

To install DFU drivers, may need to use the device manager to select the st drivers

```
extract win32_dfu.zip to the current folder.  
win32_dfu\bin2dfu --i main.bin --a 0x08000000 --o main.dfu  
win32_dfu\DfuSeCommand -c -d --fn main.dfu  
or use:
```

```
scripts/make_and_flash.bat
```

Alternate Flashing Method (not over usb)

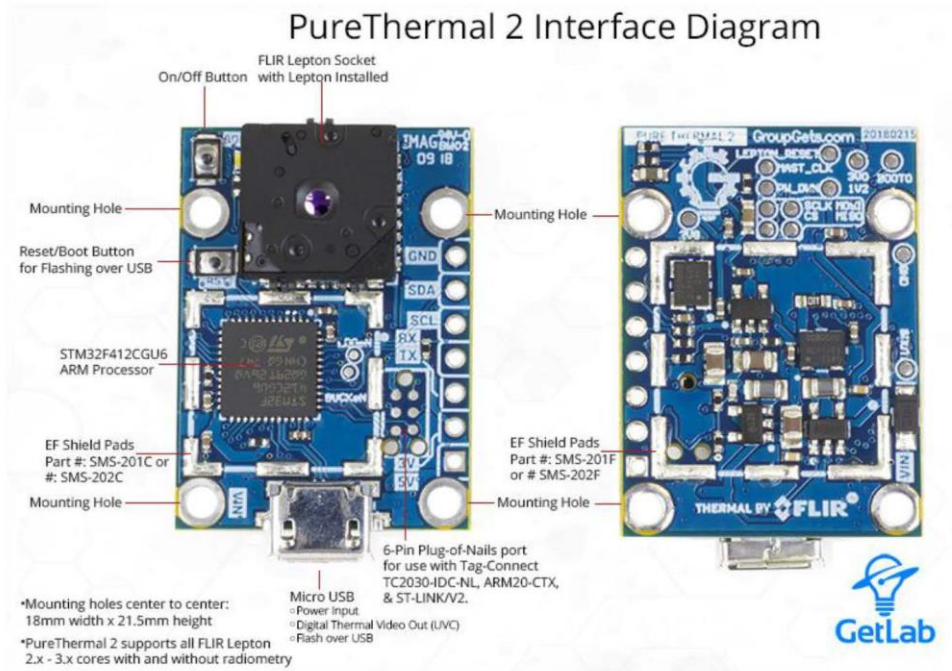
Windows Flashing

Alternatively, you can Flash the PureThermal 2 using the hardware below a [ST-Link V2](#), [Tag-Connect TC2030-IDC-NL](#), & a [Tag-Connect ARM20-CTX 20-Pin to TC2030-IDC Adapter](#). You can download the latest release firmware on the [PureThermal github releases page](#).



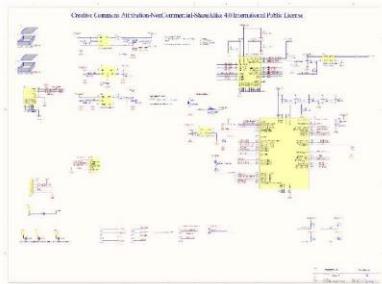
GroupGets.com

PureThermal 2 Interface Diagram



Hardware Schematic

[Downloadable .pdf version available here.](#)

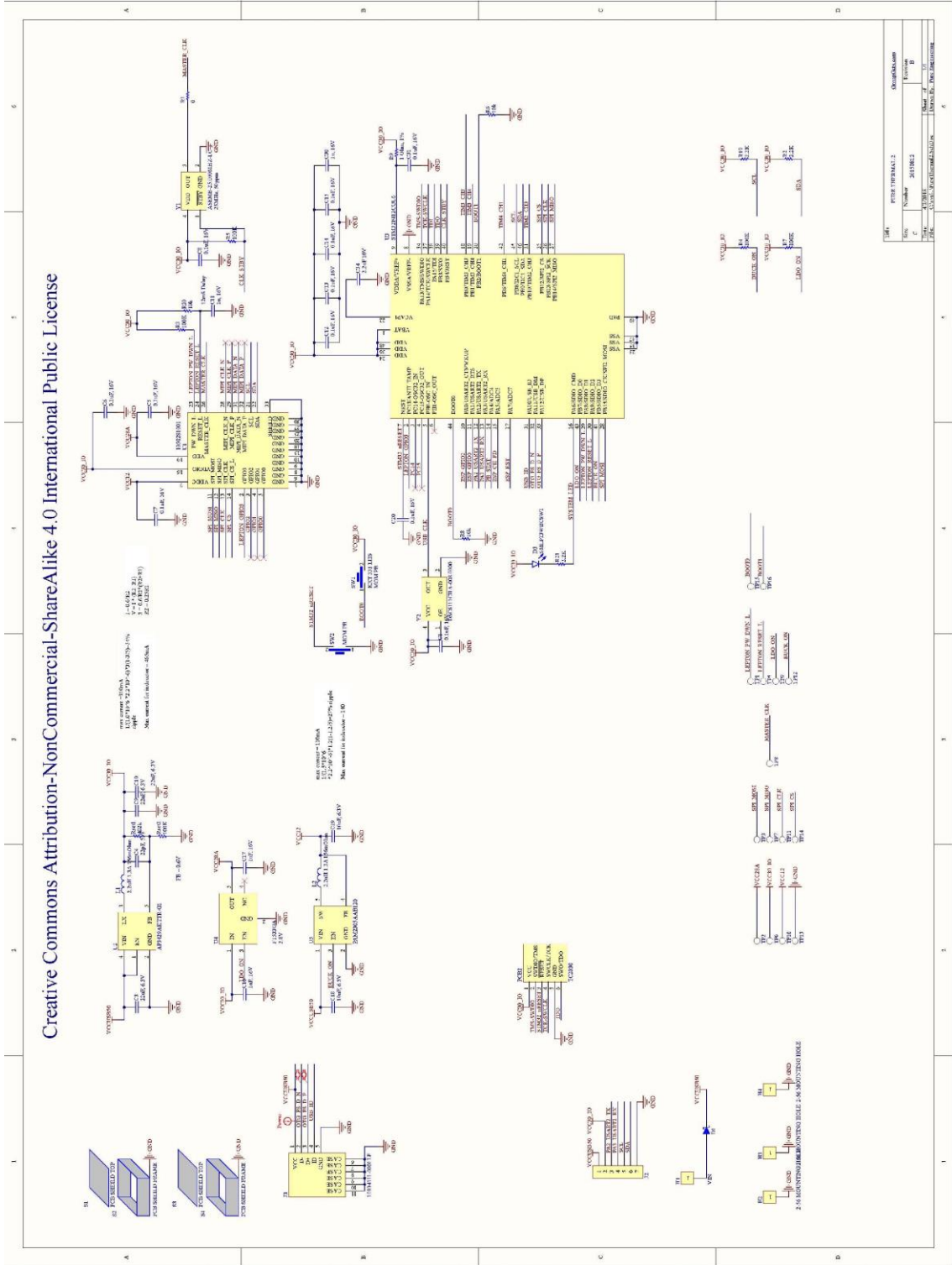


GroupGets

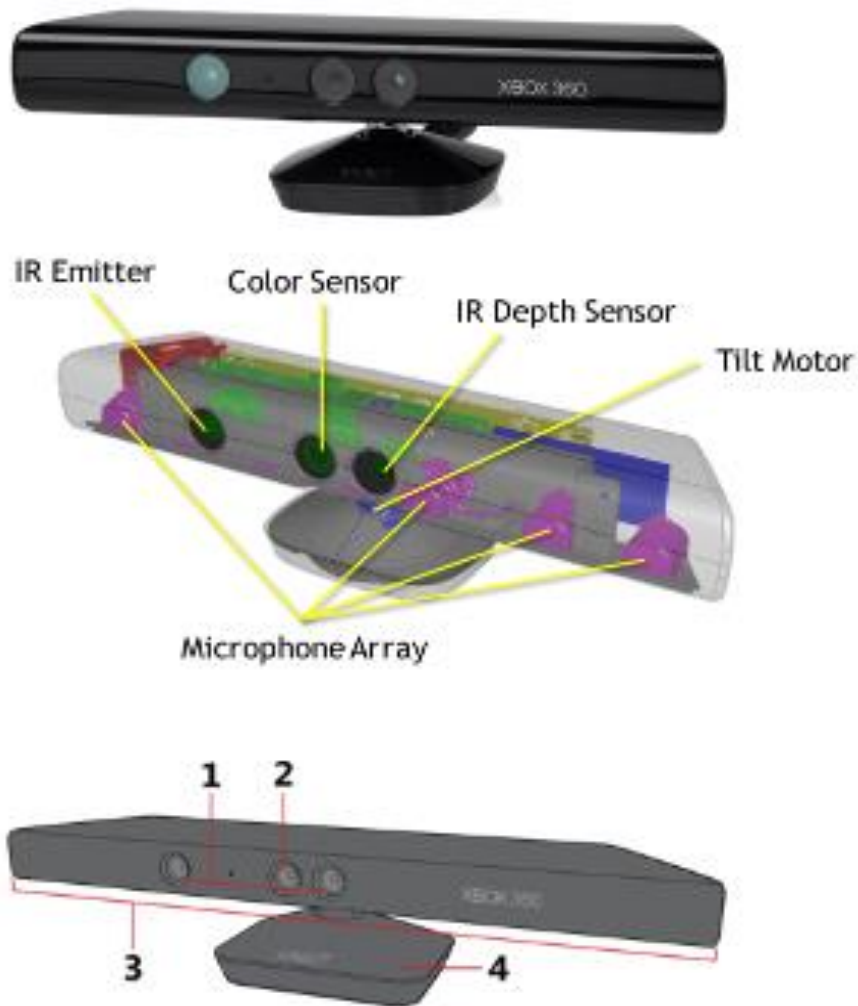
GroupGets.com

(Groupgets, 2018)

Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International Public License



Anexo 7: Sensor Kinect para Xbox 360.



- 1) 3D Depth sensor (IR Emitter + IR Camera / Depth Sensor)
- 2) RGB camera (Color Sensor)
- 3) Microphone array
- 4) Tilt motor (for detecting floor and players in the playspaces)

Kinect	Specifications
Viewing angle	Field of View (FoV): 43° vertical x 57° horizontal
Vertical tilt range	±27°
Frame rate (depth and color stream)	30 frames per second (FPS)
Audio format	16-kHz, 24-bit mono pulse code modulation (PCM)
Audio input characteristics	4-microphone array 24-bit analog-to-digital converter (ADC) onboard signal processing (including acoustic echo cancellation & noise suppression)
Accelerometer characteristics	2G/4G/8G accelerometer configured for 2G range 1° accuracy detail limit

(Birbilis, 2015)

Anexo 8: Algoritmos del sistema de control de termografía 3D

Algoritmo para capturar

Hilo: Daemon Thread, capturar video en tiempo real desde FLIR Lepton con open CV desde interfaz gráfica

```
class DaemonThread implements Runnable // Crear una clase dentro de JFrame form a ser ejecutada
como un hilo
{
protected volatile boolean runnable = false; //Variable booleana para determinar ejecución dentro de loop
@Override
public void run() //Método de ejecución
{
int count = 0;
synchronized(this){ //Sincronizar con formulario
while(runnable){ //Ejecutar mientras runnable sea true
if(webSource.grab()){ //si se captura un dispositivo de video
try{
webSource.retrieve(frame); // Decodifica y devuelve el fotograma de vídeo capturado.
Imgproc.resize(frame, frame, new Size(), 3.6, 3.6, Imgproc.INTER_LINEAR); //Reescalar la
imagen termica
Imgcodecs.imencode(".png", frame, mem); //Escribir imagen en memoria en formato png
Image im = ImageIO.read(new ByteArrayInputStream(mem.toArray())); //Convertir Mat a Array
BufferedImage buff = (BufferedImage) im; //Convertir Array a Imagen en memoria
BufferedImage
Graphics g=panel_t.getGraphics(); //Obtener graficos dentro del panel donde se ejecutara el video
if (g.drawImage(buff, 0, 0, getWidth(), getHeight() , 0, 0, buff.getWidth(), buff.getHeight(), null))
//Mostrar video en tiempo real en el panel de la interfaz
if(runnable == false){ //En caso que se detenga la ejecución esperar
System.out.println("Going to wait()");
this.wait();
}
}
catch(Exception ex){
System.out.println("Error");
}
}
}
}
}
```

Método: Superponer imagen

//Crear método con parámetros de Matrices de imagen (fondo en blanco e imagen térmica), posición x, posición y, ancho y alto

```
public static void overlayImage(Mat image, Mat overlay, int x, int y, int width, int height) {
    Point p1 = new Point(0, 60); //Punto de inicio donde se superposicionará la imagen térmica sobre el
    fondo
    Point p4 = new Point(576, 432); //Punto final donde se superposicionará la imagen térmica sobre el
    fondo
    Rectangle rect = new Rectangle(x, y, width, height); //Crear un rectángulo en la posición x, y dada, con
    dimensiones de ancho y alto de imagen dadas
    Mat submat = image.submat(new Rect(rect.x, rect.y, overlay.cols(), overlay.rows())); //Superponer
    Matrices de imagenes
    overlay.copyTo(submat); //Copiar imagen térmica procesada al fondo
    Imgcodecs.imwrite("log/Over.png", image); //Guardar Imagen térmica superpuesta al fondo en formato
    png
}
}
```

Método: Convertir Matriz de imagen a BufferedImage

//Crear método que retorna un tipo BufferedImage, pasando como parámetro una matriz de imagen de *openCV*

```
public BufferedImage Mat2BufferedImage(Mat m) {
    int type = BufferedImage.TYPE_BYTE_GRAY; //Crea un tipo entero para imagen monocromática
    if (m.channels() > 1) //Verifica si es imagen monocromática o rgb
    {
        type = BufferedImage.TYPE_3BYTE_BGR; //crea un tipo entero para imagen rgb
    }
    int bufferSize = m.channels()*m.cols()*m.rows(); //Crea el tamaño en memoria según la matriz de
    imagen
    byte[] b = new byte[bufferSize]; //Crea un vector de bytes según tamaño de memoria asignado
    m.get(0, 0, b); // Obtener todos los pixeles
    BufferedImage image = new BufferedImage(m.cols(), m.rows(), type); //Crea una imagen en
    memoria según las filas, columnas y tipo de imagen de la matriz
    final byte[] targetPixels = ((DataBufferByte) image.getRaster().getDataBuffer()).getData(); //Crear
    un vector de bytes según datos almacenados en memoria
    System.arraycopy(b, 0, targetPixels, 0, b.length);
    return image; //Retornamos la imagen
}
```

Clase: Hilo de ejecución para obtener temperaturas desde la cámara *FLIR Lepton*

```
public class LPT extends Thread{
private JComboBox Jc; //Crea un combo box a ser utilizado para configurar los filtros de imagen
private JLabel Tmax; //Crea una etiqueta donde se mostrará la temperatura máxima
private JLabel Tmed; //Crea una etiqueta donde se mostrará la temperatura media
private JLabel Tmin; // Crea una etiqueta donde se mostrará la temperatura mínima
private volatile boolean exit=true; //Variable booleana que determina estado del loop de ejecución
```

Constructor donde se pasarán como parámetro las variables previamente declaradas desde una interfaz gráfica

```
public LPT(JComboBox Jc, JLabel Tmax, JLabel Tmed, JLabel Tmin,JTextField Tpunto){
this.Jc=Jc;
this.Tmax=Tmax;
this.Tmed=Tmed;
this.Tmin=Tmin;
this.Tpunto=Tpunto;
}
```

```
public void stoprunning(){
exit=false;
}
```

@Override

```
public void run() {
try {
```

```
    // Usar las funciones de Javonet para llamar los métodos de las (*.dll) (*.Net) del SDK de FLIR
```

Lepton

```
    while(exit==true){
        NType cci = Javonet.getType("CCI");
        NObject coArray=cci.invoke("GetDevices"); //Obtener dispositivos
        NObject cci1 = coArray.getIndex(0); //Obtener dispositivo 1
        NObject open=cci1.invoke("Open"); //Abrir dispositivo1
        NObject uvc=open.get("port"); //Obtener el puerto UVC
```

```
    //Importar la clase Rad (Radiometría)
```

```
    NObject rad=Javonet.New("Rad",uvc);
    NObject sys=Javonet.New("Sys",uvc);
    NEnum sr=rad.invoke("GetTLinearResolution");
    String sro=sr.getValue().toString();
```



```

    NObject roi = Javonet.New("Lepton.CCI+Rad+Roi",new NUShort(0),new NUShort(0),new
NUShort(119),new NUShort(159)); //Declarar área donde se medirá las temperaturas
    NObject ena = Javonet.New("Lepton.CCI+Rad+Enable");
    rad.invoke("SetTLinearEnableState",ena);
    rad.invoke("SetSpotmeterRoi",roi);
    NObject temp=rad.invoke("GetSpotmeterObjInKelvinX100Checked"); //Obtener temperaturas en
formato de texto concatenado
    String kv=temp.invoke("ToString");
// Separar valores numéricos del texto concatenado
    kv = kv.replace("SpotmeterObjKelvin{radSpotmeterValue=", "");
    kv = kv.replace(" radSpotmeterMaxValue=", "");
    kv = kv.replace(" radSpotmeterMinValue=", "");
    kv = kv.replace(" radSpotmeterPopulation=", "");
    kv = kv.replace("}", "");
    String[] values = kv.split(",");
//Convertir temperaturas en tipo texto a tipo numérico
    double maxk=Integer.parseInt(values[1]);
    double medk=Integer.parseInt(values[0]);
    double mink=Integer.parseInt(values[2]);
//Convertir temperatura en formato Kelvilx100 a grados Celsius
    double maxC=(maxk-27315)/100;
    double medC=(medk-27315)/100;
    double minC=(mink-27315)/100;
//Cambiar texto de etiquetas según temperaturas
    Tmax.setText(String.valueOf(maxC)+" °C");
    Tmed.setText(String.valueOf(medC)+" °C");
    Tmin.setText(String.valueOf(minC)+" °C");

//Importar La clase Vid
    NObject vid = Javonet.New("Vid",uvc);
    vid.invoke("SetPcolorLut",Jc.getSelectedIndex()); //Cambiar de filtro (isotérmica)

} catch (JavonetException ex) {
    Logger.getLogger(LPT.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);
}
}
}
}

```

Algoritmo Kinect

Clase: Obtener datos desde Kinect (Basado en el ejemplo de Peter Abeles, librería BoofCV) (Abeles, 2017)

```
//Declarar la clase implementando un hilo para la sincronización de datos con Kinect
public class LogKinectDataApp extends Thread implements StreamOpenKinectRgbDepth.Listener {
{
    //Obtener la ruta donde se ejecuta el programa
    String ruta=System.getProperty("user.dir");
    //Cargar libreria dinámica freenect.dll (Incluir dependencias de la misma en la misma ruta)
    NativeLibrary.addSearchPath("freenect", ruta);
}
    int maxImages; //Número máximo de imágenes a capturar
    Resolution resolution = Resolution.MEDIUM; //Resolución Media
    BufferedImage buffRgb; //
    int frameNumber; //Número de cuadros (frames)

    GrowQueue_I8 buffer = new GrowQueue_I8(1); // Esta es una cola de datos que está compuesta de
bytes.
    int x=1;

    //Constructor con parámetro del máximo número de imágenes
    public LogKinectDataApp(int maxImages) {
        this.maxImages = maxImages;
    }
//Proceso para la transmisión de datos
    public void process() throws IOException {
        int w = UtilOpenKinect.getWidth(resolution); //Obtener la anchura de la imagen de Kinect
        int h = UtilOpenKinect.getHeight(resolution); //Obtener la altura de la imagen de Kinect
        buffRgb = new BufferedImage(w,h,BufferedImage.TYPE_INT_RGB); //Crear una nueva
BufferedImage tipo RGB de resolución según kinect
        StreamOpenKinectRgbDepth stream = new StreamOpenKinectRgbDepth(); //Instanciar clase para
obtener datos de Kinect
        Context kinect = Freenect.createContext(); //Inicializar el dispositivo
        if( kinect.numDevices() < 0 ) //Verifica si existen dispositivos Kinect conectados
            throw new RuntimeException("No kinect found!"); //Muestra mensaje de excepción si no existe un
Kinect conectado
        Device device = kinect.openDevice(0); //Abrir conexión con el Kinect
        stream.start(device,resolution,this); //Empezar la transmisión de datos desde Kinect
        if( maxImages > 0 ) { // Si existen el número de máximo de imágenes declarado es mayor a cero
```

```

while( frameNumber < maxImages ) { //Mientras el número de cuadros (frames) sea menor al número
máximo de imágenes
    System.out.printf("Total saved %d\n",frameNumber); //Muestra el total de imágenes guardadas
    BoofMiscOps.pause(100); //Pausa de 100 ms
}
    stream.stop(); //Detiene la transmisión
    System.exit(0); //Salir del programa
}
}

//Proceso para almacenar archivos. Parámetros; imagen rgb en formato Planar<GrayU8>, imagen de
profundidad, en formato GrayU16,
@Override
public void processKinect(Planar<GrayU8> rgb, GrayU16 depth) {
try {
    UtilImageIO.saveImage(rgb, "log/rgb"+frameNumber+".png"); //Guardar imagen rgb tipo png en la
carpeta log
    UtilImageIO.savePPM(rgb, "log/rgb"+frameNumber+".ppm", buffer); //Guardar imagen rgb tipo
ppm en la carpeta log

    UtilOpenKinect.saveDepth(depth, "log/depth"+frameNumber+".depth", buffer); //Guardar
imagen de profundidad tipo (*.depth) en la carpeta log

    UtilImageIO.saveImage(depth, "log/depth"+frameNumber+".png"); //Guardar imagen de
profundidad tipo png en la carpeta log

    frameNumber++; //Contar número de frames
} catch (IOException e) {
System.exit(0); //Salir del sistema
}
}
}

```

Método: Guardar Nube de puntos térmica (Método Igual para RGB) <<Basado en ejemplo de Peter Abeles (BoofCV)>> (Abeles, 2017)

```
public void GuardarPCt(File guardaPointCloud){ //Parámetro archivo desde JFileChooser
    try {
    if(guardaPointCloud !=null){ //Guardar si el archivo no es nulo
    String baseDir = "log/"; //Carpeta Base
    String nameRgb = baseDir+"thermal0.ppm"; //Leer Imagen térmica en formato ppm
    String nameDepth = baseDir+"depth0.depth"; //Leer profundidad en formato (*.depth)
    String nameCalib = baseDir+"intrinsic.yaml"; //Leer parámetros intrínsecos de Kinect
    CameraPinholeRadial param = CalibrationIO.load(nameCalib); //Configura los parámetros de Kinect
    GrayU16 depth = new GrayU16(1,1);
    Planar<GrayU8> rgb = new Planar<>(GrayU8.class,1,1,3);
    UtilImageIO.loadPPM_U8(nameRgb, rgb, null); //Cargar imagen térmica
    UtilOpenKinect.parseDepth(nameDepth,depth,null); //Cargar Profundidad
    FastQueue<Point3D_F64> cloud = new FastQueue<Point3D_F64>(Point3D_F64.class,true);
    FastQueueArray_I32 cloudColor = new FastQueueArray_I32(3);
    VisualDepthOps.depthTo3D(param, rgb, depth, cloud, cloudColor); //Imagen de profundidad a 3D
    DataOutputStream filec = new DataOutputStream(new
    FileOutputStream(guardaPointCloud.getAbsolutePath()+"_Thermal.txt")); //Ruta y nombre de archivo de
    salida
    filec.write("# Kinect RGB Point cloud. Units: millimeters. Format: X Y Z R G B\n".getBytes());
    //Encabezado del archivo
    for( int i = 0; i < cloud.size; i++ ) { //Ciclo según número de puntos
    Point3D_F64 p = cloud.get(i); //Obtener punto 3d
    int[] color = cloudColor.get(i); //Obtener color
    String line = String.format("%.10f %.10f %.10f %d %d %d\n",p.x,p.y,p.z,color[0],color[1],color[2]);
    //Formato de texto para los valores x y z r g b del archivo csv
    line = line.replace(",","."); //Reemplazar (,) por (.) en caso de que el sistema emplee , como separador
    decimal
    filec.write(line.getBytes()); //Escribir linear en archivo
    }
    filec.close(); //Cerrar escritura de archivo
    System.out.println("Total points = "+cloud.size); //Muestra el número total de puntos
    }
    }
    catch(Exception e){
        System.out.println("Error: "+e);
    }
    }
```

Método: Guardar Imagen 2D RGB (Similar para imagen térmica)

```
public void GuardarRGB(File guardargb){ //Parámetro Archivo Desde Selector de archivos JFile Chooser
try {
if(guardargb !=null { //Si el Archivo No es nulo
Imgcodecs.imwrite(guardargb.getAbsolutePath()+"_rgb.png", img2); //Guarda la Imagen según nombre
colocado en el JFileChooser con el subfijo _rgb tipo de archivo png
}
}
catch(Exception e){
    System.out.println("Error: "+e);
}
}
```

Método: Mostrar Imagen 2D en panel (similar para térmico y RGB)

```
public void planarterm(){
Mat m = Imgcodecs.imread("log/Thermal.png"); //Leer Imagen térmica 2D
    int type = BufferedImage.TYPE_BYTE_GRAY;
if ( m.channels() > 1 ) {
//Reasignar variable en caso de que la imagen sea RGB
    Mat m2 = new Mat();
    Imgproc.cvtColor(m,m2,Imgproc.COLOR_BGR2RGB);
    type = BufferedImage.TYPE_3BYTE_BGR;
    m = m2;
}
byte [] b = new byte[m.channels()*m.cols()*m.rows()]; //Vector de Bytes de tamaño según matriz de
imagen
m.get(0,0,b); // Obtener todos los pixeles
BufferedImage image = new BufferedImage(m.cols(),m.rows(), type);
image.getRaster().setDataElements(0, 0, m.cols(),m.rows(), b);
Graphics g= PANEL_P2.getGraphics(); //Obtener gráficos del panel
g.drawImage(image,0,0,this); //Mostar Imagen en panel
PANEL_P2.revalidate(); //Revalidar panel
PANEL_P2.repaint(); //Redibujar panel
}
```

Método: Crear nube de puntos en JPanel <<Basado en ejemplo de Peter Abeles (BoofCV)>>

(Abeles, 2017)

```
public void termrgb() throws IOException{
String nameDepth = UtilIO.pathExample(System.getProperty("user.dir")+"/log/depth0.png"); //Ruta de la
imagen de profundidad
String nameRgb = UtilIO.pathExample(System.getProperty("user.dir")+"/log/rgb0.png"); //Ruta de la
imagen de color
String nameCalib = UtilIO.pathExample(System.getProperty("user.dir")+"/log/visualdepth.yaml"); //Ruta
del archivo de calibración
VisualDepthParameters param = CalibrationIO.load(nameCalib);
BufferedImage buffered = UtilImageIO.loadImage(nameRgb);
Planar<GrayU8> rgb = ConvertBufferedImage.convertFromPlanar(buffered,null,true,GrayU8.class);
GrayU16 depth =
ConvertBufferedImage.convertFrom(UtilImageIO.loadImage(nameDepth),null,GrayU16.class);
FastQueue<Point3D_F64> cloud = new FastQueue<>(Point3D_F64.class, true);
FastQueueArray_I32 cloudColor = new FastQueueArray_I32(3);
VisualDepthOps.depthTo3D(param.visualParam, rgb, depth, cloud, cloudColor);
viewer2= VisualizeData.createPointCloudViewer(); //Crear Visor de nube de puntos
viewer2.clearPoints(); //Limpiar puntos, en caso de previas ejecuciones
viewer2.setCameraHFov(PerspectiveOps.computeHFov(param.visualParam)); //Configurar posición de
cámara 3D de la nube de puntos
viewer2.setBackgroundColor(16777215); //Color de fondo blanco para el visor
cameraToWorld = new Se3_F64(); //Configurar rotaciones de ejes
//Posicionar ejes según sliders
cameraToWorld.T.z =SZ.getValue();
cameraToWorld.T.x =SX.getValue();
cameraToWorld.T.y =SY.getValue();
viewer2.setCameraToWorld(cameraToWorld); //Rotar vista según rotaciones de ejes
for( int i = 0; i < cloud.size; i++ ) {
Point3D_F64 p = cloud.get(i); //Obtener puntos 3d
int[] color = cloudColor.get(i); //Obtener color correspondiente a los puntos
int c = (color[0] << 16) | (color[1] << 8) | color[2];
viewer2.addPoint(p.x,p.y,p.z,c); //Anadir puntos y color a la nube de puntos del visor
}
viewer2.getComponent().setPreferredSize(new
Dimension(PANEL_P.getWidth(),PANEL_P.getHeight()));
int maxValue = ImageStatistics.max(depth);
JComponent xx;
//Mostrar Nube de puntos en Panel
```

```
xx=viewer2.getComponent();
    PANEL_P4.setLayout(new BorderLayout());
    PANEL_P4.add(xx, BorderLayout.CENTER);
    PANEL_P4.revalidate();
    PANEL_P4.repaint();
}
```