

## **Implementación de un sistema de diagnóstico y alarma basado en termografía en el equipamiento asistencial crítico de un hospital\*<sup>62</sup>**

**Raúl Ruiz de la Hermosa<sup>1</sup>, M<sup>a</sup> Carmen Carnero<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Ciudad Real. Universidad de Castilla-La Mancha. Avda. Camilo José Cela s/n, 13071 Ciudad Real. raul.ruizdelahermosa@uclm.es, carmen.carnero@uclm.es

### **Resumen**

*El uso de tecnologías basadas en la condición, como el análisis de vibraciones o la termografía, se está convirtiendo en una herramienta indispensable para los Servicios de Mantenimiento de medianas y grandes empresas. Este artículo pretende demostrar la eficacia de la termografía en áreas críticas de un hospital de última generación. Se muestra un ejemplo de aplicación en el Hospital General de Ciudad Real, enfocando el estudio en la parte de diagnóstico y creación de un sistema de alarmas de fácil interpretación, sistema que emplea dos criterios y que permite un seguimiento continuado de las instalaciones anteriormente mencionadas.*

**Palabras clave:** Mantenimiento, Termografía, Infrarrojos, Diagnóstico, Sistema de Alarmas, Hospital.

### **1. Introducción**

El crecimiento de la competencia y el aumento de requerimientos para obtener niveles de máxima calidad a menor coste, ha creado la necesidad urgente de implementar políticas tecnológicas de mantenimiento para obtener mayor disponibilidad, seguridad y efectividad en equipos y dispositivos clave (Al-Habaibeh et al., 2003). Era habitual que las organizaciones que no incluían la generación de beneficios económicos como objetivo prioritario, como puede ser el caso del Sistema Sanitario Público Español, no sintiesen esta motivación de mejora. Aún así, la tendencia se ha invertido en los últimos años y, comienza a ser habitual el uso del mantenimiento condicional enfocado a instalaciones eléctricas, sistemas de alumbrado o de calefacción y refrigeración. El análisis mediante termografía es una de las prácticas en auge, ya que permite identificar fácilmente funcionamientos eléctricos defectuosos, desgastes o problemas de potencia, permitiendo que el trabajador se adelante al reemplazo de piezas o equipos antes de la aparición del fallo (Huber, 2006). Por tanto, la utilización de esta tecnología es esencial en los programas de Mantenimiento Predictivo, complementando el Mantenimiento Correctivo que habitualmente se desarrolla en los centros sanitarios.

En el caso concreto del Hospital General de Ciudad Real, se ha tendido a la subcontratación de ciertas acciones de mantenimiento, siempre bajo la supervisión del Área de Mantenimiento del centro. Esto ha provocado la descentralización de algunas actividades, lo que ha supuesto un aseguramiento del correcto funcionamiento de los

---

<sup>62</sup> Este trabajo se deriva de la participación de sus autores en un proyecto de investigación financiado por la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha con referencia PCI08-0042-6312.

servicios críticos, pero ha dificultado la aplicación de procesos de mejora continua. Al tratarse de un hospital de reciente creación y puesta en marcha, se optó por esta forma de trabajo durante la etapa de arranque. Una vez finalizada esta fase, se ha observado la necesidad de aumentar la disponibilidad, seguridad y calidad de los servicios prestados, ya que se entiende que la aparición de cualquier deficiencia puede acarrear influencias negativas en la vida de las personas. Es por ello que se ha implementado la termografía, no sólo en las instalaciones generales, sino también en otras relacionadas con la actividad asistencial como son los servicios de urgencias, quirófanos, paritorios, unidades de cuidados intensivos, electromedicina, hemodiálisis y hemodinámica.

En este artículo se pretende presentar el proceso de implantación de la termografía en las áreas anteriormente citadas, centrándose en la fase de diagnóstico y la creación de un sistema de alarmas bajo dos criterios de codificación de incrementos de temperatura, como son el Military Standard (MIL-STD-2084, 1982) (Preditec, 1997) para equipos eléctricos y el basado en la experiencia.

El artículo está estructurado como se expone a continuación. En la sección 2 se presentan las características más importantes de la termografía, así como su actual utilización en áreas de Mantenimiento. En la sección 3 se hace una breve introducción de la termografía infrarroja en el ámbito sanitario, mientras que en la sección 4 se explica el proceso de implantación en las instalaciones del Hospital General de Ciudad Real. Finalmente se recogen las referencias.

## **2. Termografía infrarroja**

Actualmente, la termografía es una técnica muy consolidada para la inspección de instalaciones eléctricas. Junto con el análisis de vibraciones, ha sido durante los últimos años el principal método de la industria para el diagnóstico de fallos, como parte de los programas de mantenimiento predictivo. La gran ventaja de estos métodos es que permiten la inspección de instalaciones en funcionamiento; de hecho, es un prerrequisito para que los resultados de la medición sean correctos, por lo que no es necesario interrumpir los procesos o servicio en curso.

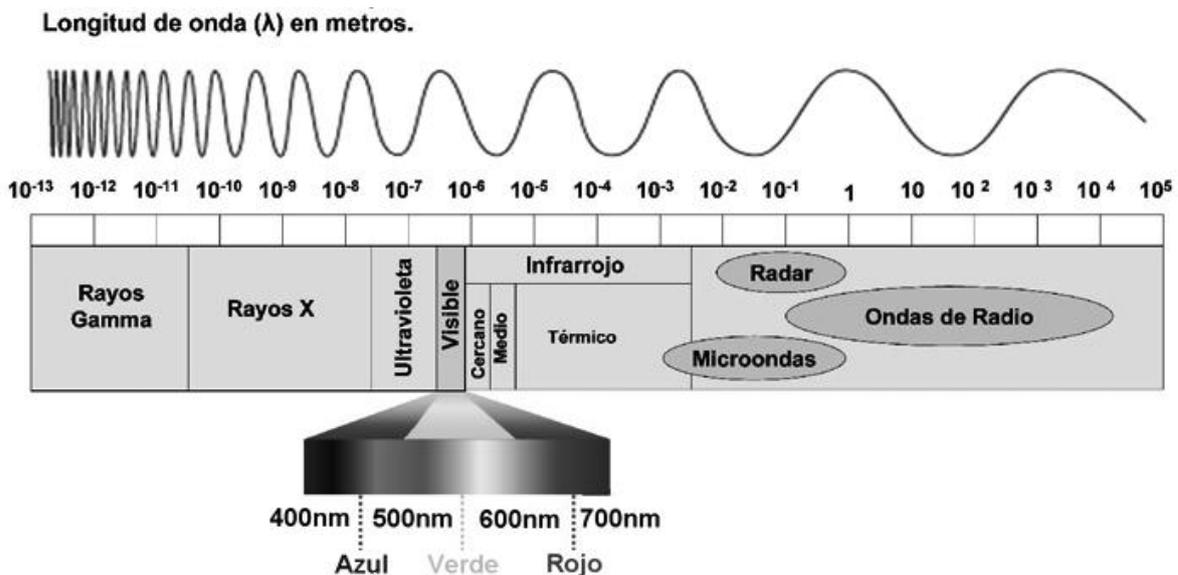
La termografía se basa en el utilización del espectro electromagnético, el cual se divide arbitrariamente en diversas zonas con distintas longitudes de onda denominadas bandas, que se distinguen por los métodos utilizados para producir y detectar radiación. Todas las bandas están regidas por las mismas leyes y las únicas diferencias son las debidas a las diferencias en la longitud de onda. La termografía utiliza la banda espectral del infrarrojo. En el extremo de la longitud de onda corta, la frontera se encuentra en el límite de la percepción visual, en el rojo profundo. En el extremo de la longitud de onda larga, se funde con las longitudes de onda de radio de microondas, en el intervalo del milímetro (Figura 1) (Valea, 1998).

Aparentemente esta técnica que podría parecer sencilla, no lo es tanto si no se tienen en cuenta aspectos que afectan a la medición y que en muchos casos no pueden ser eliminados, pero si minimizados. Los más destacados se enuncian a continuación (Foszez, 2003):

- Emisividad. Habitualmente se trabaja con elementos que no se pueden considerar cuerpos negros (emisores perfectos) y, por tanto, su emisividad no es la máxima. Para corregir este problema, las cámaras termográficas permiten la modificación de este valor tabulado.
- Reflejos. Suelen aparecer en elementos metálicos como hornos. Para su eliminación se evita la medición directa, utilizándose un pequeño ángulo.

- Enfoque y distancia del equipo. Un mal enfoque o una distancia excesiva disminuye la calidad de la medición.
- Interferencias. El humo, polvo, una lente sucia, etc., pueden provocar una imprecisión en la medida.
- Calibración. Se sugiere realizar la calibración una vez al año.

Por tanto, la termografía, usada bajo las condiciones adecuadas, es una de las herramientas más eficaces para la detección y diagnóstico de fallos. El éxito en su implantación surgirá como consecuencia de la buena utilización de la técnica, así como del correcto entrenamiento del usuario (Snell, 2005). Sus beneficios pueden ser numerosos y considerables: ahorros de tiempo y costes, mejora de la disponibilidad de las instalaciones, aumento de los ciclos de vida y seguridad y disminución de los tiempos de parada (Orlove, 2005).



**Figura 1.** Espectro electromagnético.

### **Aplicación de la termografía en el ámbito sanitario**

Con la finalización de la Segunda Guerra Mundial, aparece la aplicación de la termografía en hospitales, aunque siempre ligada a la salud del paciente y al diagnóstico de enfermedades (Ring, 2007). Posteriormente se propone su utilización en otros procesos como sistemas de ventilación, calefacción y sobre todo en el mantenimiento general de instalaciones. Esta tendencia se ve reforzada por un cambio en la economía de mercado, que hace que la aplicación de la termografía disminuya los costes energéticos.

Se tiene constancia escrita de los buenos resultados obtenidos con su aplicación en centros sanitarios (Stymiest, 2004), siendo uno de los ejemplos más reconocidos el procedente de un conjunto de hospitales localizados en Västerås (Suecia) (FLIR System, 2005), en los que se ha creado un departamento con 36 trabajadores entrenados en la técnica, cuyo objetivo es la detección e inspección de fugas en instalaciones eléctricas y de fontanería. Esta práctica ha conseguido reducir el tiempo en la identificación y análisis de problemas en hasta un 50% y los gastos económicos en un 7% comparado con años previos. Aún así, este trabajo no se centra en áreas críticas, por

lo que el estudio en el Hospital General de Ciudad Real muestra una aportación relevante en ese aspecto.

### **3. Implantación de termografía en el Hospital General de Ciudad Real**

Antes de incorporar la técnica predictiva a las instalaciones del Hospital General de Ciudad Real, se realizó un primer análisis para identificar aquellas áreas que serían objeto de estudio. El trabajo, en conjunto con el Subdirector de la Gestión de los Servicios Técnicos, el Jefe de Servicio de Mantenimiento de las Instalaciones y Edificio, el Jefe de Servicio de Electromedicina e ingenieros de las empresas subcontratadas para el mantenimiento del centro, identificó dos ejes de estudio, uno en relación con las instalaciones eléctricas y de alumbrado general y otro con instalaciones y equipos críticos. De este segundo grupo, se seleccionaron las áreas y dispositivos mencionados a continuación:

- Urgencias.
- Unidad de Cuidados Intensivos.
- Reanimación.
- Quirófanos.
- Partitorios.
- Hemodiálisis.
- Neonatos.
- Hemodinámica.
- Radioterapia.
- Angiógrafo digital.
- Equipos de tomografías axiales computerizadas (TAC).
- Equipo de tomografía por emisión de positrones y axial computerizada (PET-TAC).
- Lámparas quirúrgicas.
- Otros.

En esta lista se incluyeron también los equipos pertenecientes al centro anexo de Especialidades, Diagnóstico y Tratamiento situado en la localidad de Daimiel (Ciudad Real).

Una vez identificados los dispositivos que se pretendían termografiar, se creó una ruta de seguimiento y se estableció una periodicidad bimensual para el trabajo de campo. Esta periodicidad se amplió a trimestral cuando se recopiló un archivo histórico superior a un año y medio y se corroboró el control de la técnica por parte de ingenieros y técnicos. Cada grupo de mediciones se realiza en periodos de 5 días orientativos en los que, acompañando a la captura termográfica, se hace otra fotográfica que sirve para corroborar situaciones de evidente deterioro, mal funcionamiento, suciedad, etc. Hasta el momento actual, se recopila una media superior a 1.600 archivos termográficos y fotográficos por grupo de mediciones.

En algunos casos, el seguimiento de la ruta no se puede hacer de manera estricta, puesto que las mediciones están sujetas a cuestiones de seguridad del paciente. Se estipula no

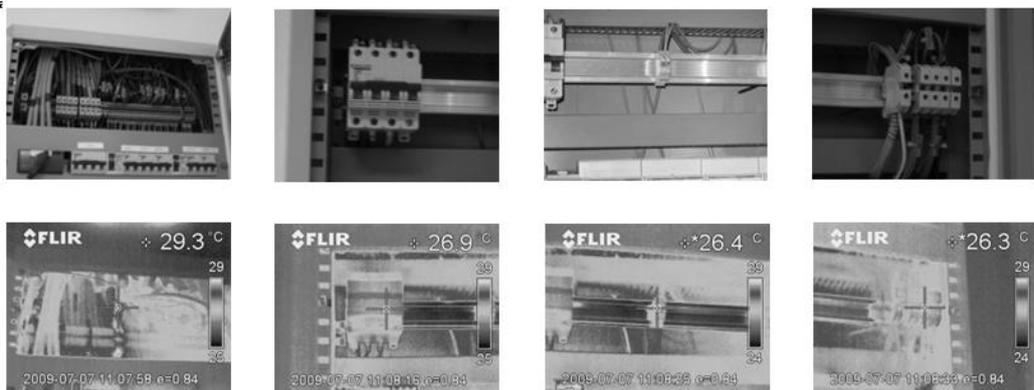
manipular ningún elemento durante intervenciones quirúrgicas u operaciones de riesgo por parte del personal sanitario, esperando a la finalización inmediata de éstas para la revisión del equipo o instalación. Estas precauciones también se tienen en cuenta cuando se trabaja con los equipos TAC y PET-TAC, ya que, aunque la criticidad de la prueba no es tan alta como el de la intervención quirúrgica, los equipos si tienen especial importancia en el conjunto. De igual manera, se establecen otras condiciones de seguridad, esta vez en relación con el termógrafo, requiriéndose que las rutas predictivas se hagan en compañía de técnicos cualificados, que son los que se encargarán de la apertura y cierre de elementos que conlleven peligro eléctrico.

Finalizado el trabajo de campo, la investigación se encarga de la gestión de la documentación gráfica, creando un sistema de carpetas que separa los archivos por tipo (termografía y fotografía), mes de la captura ordenadas por orden cronológico, días de las capturas ordenados por orden cronológico, número de inventario y puertas, en el caso de cuadros eléctricos. A continuación, se recoge esta información en hojas de cálculo, tantas como elementos inventariados, siguiendo una estructuración similar a la que se muestra (Figura 2). En cada hoja se debe incluir, además, el número de inventario, la descripción, marca, modelo, número de serie, equipo y ubicación. También se cuenta con dos campos en los que se puede anotar cualquier tipo de descripción y comentarios adicionales.



<b>Inventario</b>	HGC08N01046
<b>Descripción</b>	QUIRÓFANO 11
<b>Marca</b>	
<b>Modelo</b>	
<b>Número de serie</b>	
<b>Equipo</b>	CUADRO ELÉCTRICO/TRAFO AISLAMIENTO/DESLASTRE MECÁNICO
<b>Ubicación</b>	HGC08N01046
<b>Descripción</b>	
<b>Comentarios adicionales</b>	

Fotos



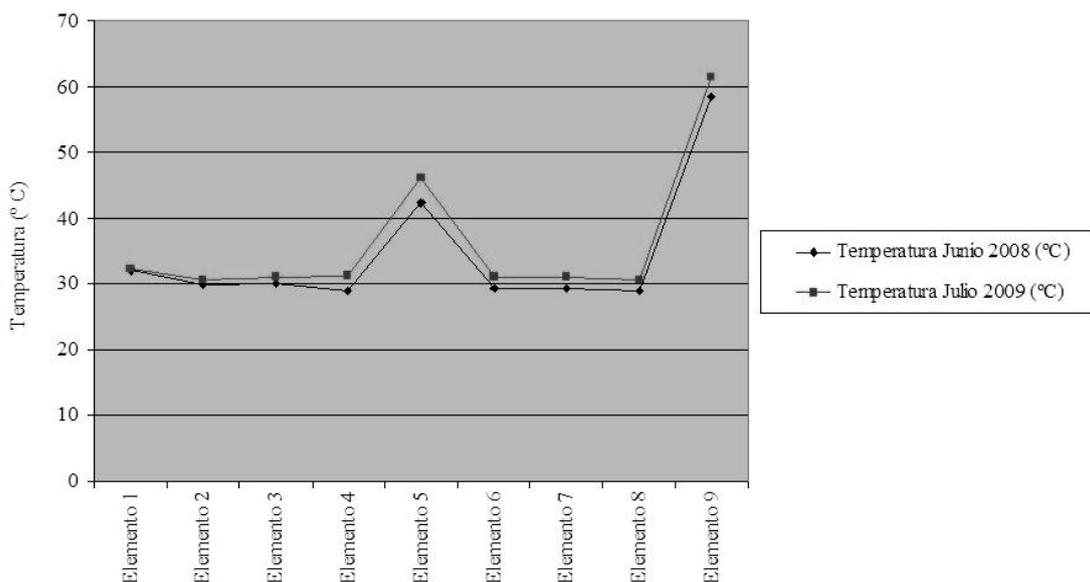
**Figura 2.** Hoja de cálculo asociada al cuadro eléctrico de un quirófano.

Es indispensable acompañar esta ordenación de material con estudios de tiempos de intervención. Con la ventaja de que la cámara termográfica y fotográfica insertan la fecha y hora de medición en cada archivo (según modelo), este trabajo se materializa de manera más sencilla y permite conocer en qué puntos se hace el mayor empleo de tiempo, pudiendo compatibilizar estas actividades con las propias de los técnicos de

mantenimiento y maximizando su eficiencia durante la jornada laboral. Se debe destacar que normalmente no existe una relación directa entre la inversión de tiempo y la criticidad del equipo, recalcando, por tanto, que su interés radica en cuestiones organizativas.

El siguiente paso es la aplicación del sistema de alarmas y el diagnóstico. Para el diagnóstico se trabaja con un software informático proporcionado por la misma empresa que comercializa las cámaras termográficas. La principal ventaja que presentan estos programas informáticos es la celeridad con que permiten obtener los datos de temperatura, lo que en una cuestión indispensable en casos como el de este estudio en el que, como se indicaba con anterioridad, se trabaja con un volumen de archivos muy elevado por mes. El análisis se puede llevar a cabo por puntos de calor, líneas isotermas o áreas delimitadas en las que se obtienen los máximos y mínimos de temperatura. Suele ser habitual compaginar el estudio de máximos de temperatura por área con los de puntos de calor. Los datos de temperatura máxima recogidos se introducen en otra hoja de cálculo debidamente referenciada.

El diagnóstico se hace por comparación de temperaturas, para lo que se puede optar por dos procedimientos. En el caso de que se disponga de las especificaciones técnicas de temperatura de los equipos, dispositivos, etc., basta con comprobar si se cumplen los requerimientos sugeridos por el fabricante, pero en general, hay que recoger una medición de prueba, teniendo conocimiento del perfecto funcionamiento de las instalaciones y registrar esta medición como referencia. Al ser el Hospital de nueva construcción cuando se inició el estudio, se optó por la segunda alternativa, asegurando la calidad de esa medición, registrándola tras una inspección correctiva. Los valores de referencia corresponden a los meses de Mayo y Junio del 2008, aunque existen algunas excepciones dadas por funcionamientos que no se corresponden con rendimientos significativos. Los datos introducidos se tabulan y representan (Figura 3 y Tabla 1) de una manera que hagan más intuitivo el seguimiento de los incrementos o decrementos de temperatura.



**Figura 3.** Diagnóstico de temperaturas en un cuadro eléctrico (paritorio).

**Tabla 1.** Diagnóstico de temperatura en un cuadro eléctrico (paritorio).

Junio 08		Julio 09			
		Temperatura (°C)		Temperatura (°C)	Variación (°C)
Puerta 1			Puerta 1		
	Elemento 1	36,6		Elemento 1	-1,4
	Elemento 2	34,4		Elemento 2	-0,3
	Elemento 3	35,5		Elemento 3	-0,4
	Elemento 4	34,2		Elemento 4	0,2
	Elemento 5	48,9		Elemento 5	-0,4
	Elemento 6	32,3		Elemento 6	1,4
	Elemento 7	32,4		Elemento 7	-0,7
	Elemento 8	32,5		Elemento 8	0,2
	Elemento 9	62,6		Elemento 9	-0,1

El último paso para la detección de fallos es el estudio de alarmas. En la actualidad se conocen múltiples criterios, por lo que la elección de uno dependerá de causas como la reflexión, radiación, carga de trabajo, variación de la emisividad, inducción y aumentos de resistencia. En el caso del Hospital General de Ciudad Real tienen mucho peso los factores asociados a la carga de trabajo, los problemas originados por reflexión y, en menor medida, los aumentos de resistencia. Tras un análisis previo, se seleccionaron el criterio basado en la experiencia (Tablas 2 y 3) y el Military Standard (Tablas 4 y 5) para equipos eléctricos. Varios criterios se desecharon por excesiva sensibilidad de temperaturas o por alejarse de las especificaciones del estudio.

**Tabla 2.** Alarmas del sistema basado en la experiencia.

Basado en la experiencia	Acciones
$\Delta T$ de 10 a 20°C	Poca probabilidad de encontrar un componente averiado. Realizar acciones correctivas en el próximo paro planificado.
$\Delta T$ de 21 a 40°C	Probabilidad de encontrar un fallo. Tomar medidas correctivas tan pronto como sea posible.
A partir de 41°C	Fallo inminente del componente. Detener la inspección e informar. Acciones correctivas inmediatas.

**Tabla 3.** Codificación del sistema basado en la experiencia.

Código de color	Estado y acciones
Verde claro	Temperatura de referencia
Verde lima	No realizar acciones correctivas
Amarillo claro	Poca probabilidad de encontrar un componente averiado. Realizar acciones correctivas en el próximo paro planificado.
Oro	Probabilidad de encontrar un fallo. Tomar medidas correctivas tan pronto como sea posible.
Anaranjado	Fallo inminente del componente. Detener la inspección e informar. Acciones correctivas inmediatas.

**Tabla 4.** Alarmas del sistema Military Standard.

Military Standard	Probabilidad de fallo
$\Delta T$ de 10 a 25°C	Poca probabilidad de encontrar un componente averiado. Realizar acciones correctivas en el próximo plano planificado.
$\Delta T$ de 26 a 40°C	Probabilidad de encontrar fallo en el componente a menos que se corrija.
$\Delta T$ de 41 a 70°C	Bastante probable que se produzca el fallo del componente a menos que se corrija.
A partir de 71°C	Fallo inminente del componente. Detener la inspección e informar.

**Tabla 5.** Codificación del sistema Military Standard (continuación).

<b>Código de color</b>	<b>Estado y acciones</b>
Verde claro	Temperatura de referencia
Verde lima	Funcionamiento correcto
Amarillo claro	Poca probabilidad de encontrar un componente averiado. Realizar una acción correctiva en el próximo paro planificado.
Oro	Probabilidad de encontrar fallo en el componente a menos que se corrija
Anaranjado	Bastante probable que se produzca el fallo del componente a menos que se corrija
Rojo	Fallo inminente del componente. Detener la inspección e informar

Debido a la diversidad de componentes, hay que tener especial cuidado en la instauración de alarmas. A modo de ejemplo, se observó el contraste entre el excelente funcionamiento de los sistemas en múltiples cuadros eléctricos en contra de la imposibilidad de usar un patrón en la inspección de los sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI).

Aún así, el estudio completo queda suficientemente justificado, y así se demostró comparando los históricos de alarmas con las órdenes de trabajo generadas mediante la herramienta de Gestión del Mantenimiento Asistida por Ordenador que se utiliza en el Hospital. Durante el periodo de tiempo comprendido entre el mes de Mayo del 2008 hasta Julio del 2009, se contrastaron las órdenes recogidas como consecuencia del Mantenimiento Correctivo, con las alarmas creadas tras la obtención de un histórico superior a un año. De este examen se observó que equipos como los de rayos X, los TAC y cuadros eléctricos en la zona de hemodiálisis y unidad de cuidados intensivos sufrieron percances que se habían reflejado con irregularidades de temperatura en el mismo espacio de tiempo (Tablas 6, 7 y 8).

**Tabla 6.** Ejemplo de una incidencia en los equipos de rayos X.

<b>Evento</b>	<b>Tipo</b>	<b>Estado</b>	<b>Fecha de final</b>	<b>Fecha inicial planificada</b>	<b>Descripción</b>
300647	Fallo	Terminada	22/02/2009 9:21	22/01/2009	No arranque

**Tabla 7.** Detección del problema mediante el método basado en la experiencia.

<b>B. Experiencia</b>		Elemento 1	Elemento 2	Elemento 3	Elemento 4	Elemento 5
<b>Junio 2008</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	29,1	29,6	27	30,2	38
<b>Octubre 2008</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	29,3	29,9	28,9	29,5	39,1
<b>Enero 2009</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	30,3	34,1	<b>37,9</b>	34	<b>52,7</b>
<b>Abril 2009</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	28	29,6	32,4	33,1	37
<b>Julio 2009</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	29,6	30,3	34	33,1	40,3
<b>Diciembre 2009</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	29,7	30,5	33,1	37,7	39,2

**Tabla 8.** Detección del problema mediante el método Military Standard.

<b>M. Standard</b>		Elemento 1	Elemento 2	Elemento 3	Elemento 4	Elemento 5
<b>Junio 2008</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	29,1	29,6	27	30,2	38
<b>Octubre 2008</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	29,3	29,9	28,9	29,5	39,1
<b>Enero 2009</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	30,3	34,1	<b>37,9</b>	34	<b>52,7</b>
<b>Abril 2009</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	28	29,6	32,4	33,1	37
<b>Julio 2009</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	29,6	30,3	34	33,1	40,3
<b>Diciembre 2009</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	29,7	30,5	33,1	37,7	39,2

## Referencias

Al-Habaibeh, A.; Parkin, R.; (2003). An autonomous low-cost infrared system for the on-line monitoring of manufacturing processes using novelty detection. *International journal of advanced manufacturing technology*, Vol. 22, pp. 249-258.

FLIR Systems Australia; (2007). Infrared cameras save time and costs at hospital group. <http://www.industrysearch.com.au/Features/Infrared-Cameras-Save-Time-and-Costs-at-Hospital-Group-1177>.

Foszez, J.; (2003). Basics of IR thermography. *Plant Engineering*, Vol. 57, pp. 40-42.

Huber, B.; (2006) Include New Items in Your Budgets. *Rock Products*, Vol. 109, pp. 12.

Norma MIL-STD-2084; (1982).

Orlove, G.; (2005). Proper operator training crucial in infrared condition monitoring. *Plant Engineering*, Vol. 59, pp. 51-52.

Preditec IRM España; (1997). Curso de introducción al análisis termográfico. Departamento de Formación Preditec, Cap. 5, pp. 2-9.

Ring, E.; (2006). The historical development of temperature measurement in medicine. *Infrared physics and technology*, Vol. 49, pp. 297-301.

Snell, J.; (2005). Infrared thermography: a view from the USA. *Insight: non-destructive testing and condition monitoring*, Vol. 47, pp. 486-490.

Stymiest, D.; (2004). Full Power?. *Health Facilities Management*, Vol. 17, pp. 22-25.

Valea, A.; (1998). Radiación infrarroja y ultravioleta : tecnología y aplicaciones. McGraw-Hill, Interamericana de España.