

TERMOGRAFÍA ACTIVA. Parte 1.

Enfoque teórico de la captación infrarroja, procesamiento de datos y clasificación

Manuel Rodríguez-Martín¹, Susana Lagüela-López^{1,2},
Diego González-Aguilera¹ y Lucía Díaz-Vilariño²

¹ Escuela Politécnica Superior de Ávila

² Universidad de Vigo

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/7556>

1. INTRODUCCIÓN

El uso de la termografía ha ido en aumento en la última década, pasando de ser un instrumento costoso y solo presente en determinados laboratorios y centros de investigación, a ser una herramienta tecnológica más en la rutina de muchos profesionales de la ingeniería. Sin embargo, a día de hoy sus usos más habituales están relacionados con la inspección cualitativa que, como se detallará más adelante, consiste a grandes rasgos en la detección de zonas calientes o frías para descubrir ciertas anomalías o tratar de prevenir determinadas patologías en máquinas, edificios o fallos eléctricos o electrónicos, siempre a través de la mera visualización de la imagen termográfica. Para estos usos, el procesado de la imagen termográfica suele limitarse al ajuste de la paleta de colores, delimitación y medición de zonas y/o puntos de interés o al establecimiento de distribuciones térmicas en el espacio a través de rectas o superficies, todo ello con el fin de ilustrar el informe que, a menudo, el termógrafo tiene que redactar. Sin embargo, este uso cualitativo de la técnica como se verá más adelante, aun siendo el más extendido y utilizado a día de hoy, no abarca, ni mucho menos, todas las posibilidades que la termografía puede aportar a la ingeniería y a la industria.

La secuencia que se va a seguir en este artículo comenzará con la introducción de los principios teóricos de funcionamiento la técnica, desarrollando de modo claro y conciso las diferentes ecuaciones a través de las cuales se explica el fenómeno de la captación infrarroja y la extracción de datos. Los autores propondrán un enfoque sencillo de procesamiento fundamentado en funciones de temperatura y enfriamiento. Posteriormente se pasará a definir las principales formas de trabajo sustentadas en el uso de cámaras termográficas.

2. ENFOQUE TEÓRICO

2.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UNA CÁMARA TERMOGRÁFICA

El funcionamiento de una cámara termográfica se asemeja al propio de una cámara fotográfica digital; de la misma manera, el comportamiento de la radiación infrarroja en lo referente

a su captación por cámaras termográficas se puede asimilar con el comportamiento del espectro visible de la radiación electromagnética que se corresponde con el intervalo de longitudes de onda que el ojo humano es capaz de captar (0.4-0.7 μm). No todos los cuerpos emiten radiación dentro del espectro visible, pero los que lo hacen iluminan a otros cuerpos, los cuales absorben, reflejan o transmiten la luz de una manera u otra en función de sus características físicas y ello posibilita la distinción de distintos objetos en una fotografía o en la imagen natural captada por los propios ojos. Lo mismo ocurre con la radiación infrarroja, pero con una importante diferencia: todos los cuerpos son emisores de dicha radiación si su temperatura es superior a 0° K.

La imagen térmica es proyectada en un plano focal mediante una serie de lentes y es ahí, en el propio plano focal, donde una serie de sensores registran para cada punto de su superficie (píxel) el valor de la irradiancia (potencia de la radiación incidente por unidad de superficie). La cámara recibe la radiación infrarroja emitida por los cuerpos situados dentro del campo de visión que abarcan las lentes.

Siguiendo con el símil de la cámara fotográfica; si un objeto no emisor de luz absorbe gran parte de la radiación incidente y se sitúa dentro del campo de captación de una cámara fotográfica, esta registrará una imagen oscura debido a la ausencia de radiación electromagnética propia y/o reflejada. Si tal objeto se situara frente a una cámara termográfica todo sería distinto pues este siempre emitirá una radiación infrarroja propia (al encontrarse a una temperatura superior a 0°K) que será proporcional a la temperatura absoluta del cuerpo elevada a su cuarta potencia y que podrá ser captada por el sensor de la cámara IR (infrarroja). Aquí radica una de las diferencias principales entre las cámaras digitales y las cámaras termográficas: las primeras sólo registran la fracción visible de la radiación electromagnética emitida por fuentes de luz o reflejada por objetos de su alrededor; sin embargo, la cámara termográfica registra la fracción infrarroja (infrarrojo térmico) de la radiación electromagnética emitida por cualquier cuerpo, es decir, la parte del espectro electromagnético cuya longitud de onda queda entre 8 y 14 μm (onda larga), la cual siempre existe para temperaturas superiores a 0°K, sin necesidad de que el cuerpo refleje la radiación de otros (que también se registraría), permitiendo realizar observaciones sin necesidad de que haya presencia de luz. Esta ventaja es la que hace de las cámaras termográficas una herramienta de enorme atractivo para la toma de imágenes nocturnas, principalmente en el ámbito de la seguridad y la defensa.

2.2 GENERACIÓN DE LA IMAGEN TÉRMICA Y EXTRACCIÓN DE DATOS: DESARROLLO TEÓRICO

La superficie de cualquier material cuya temperatura sea superior a 0 °K, emite radiación IR. Las cargas eléctricas de

los átomos que constituyen tal material están en continua vibración y ello genera la emisión de radiación IR. La relación entre el flujo energético de las radiaciones y las temperaturas depende de varios factores y se define por la ecuación de Planck (Eq. 1) donde h es la constante de Planck, λ es la longitud de onda, k es la constante de Boltzmann, c la velocidad de la luz, T la temperatura absoluta y E_b el poder emisivo espectral en función de la temperatura y de la longitud de onda.

$$E_b(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 (e^{hc/\lambda kT} - 1)} \quad \text{Eq. 1}$$

Un cuerpo negro es aquel cuya superficie absorbe toda la energía en forma de radiación que incide sobre él y, por tanto, no deja lugar al fenómeno de la reflexión. Así, toda la energía que recibe, la absorbe y la emite posteriormente en forma de radiación infrarroja. A través de la segunda Ley de la Termodinámica se puede llegar a una relación entre el poder emisivo de un cuerpo y la cuarta potencia de su temperatura [2]; de esta manera, la potencia emitida por el cuerpo negro viene dada por la ecuación de Stefan-Boltzmann (Eq. 2)

$$W_{CN}(T) = \int_0^\infty E_b(\lambda, T) d\lambda = \sigma T^4 \quad \text{Eq. 2}$$

La proporción de radiación emitida por el cuerpo real (CR) respecto a la radiación (teórica) del cuerpo negro (CN) es la emisividad total (ε) y esta puede ser expresada a través de la ecuación (Eq. 3) donde $\varepsilon(\lambda)$ es la emisividad espectral hemiesférica.

$$\varepsilon(T) = \frac{W_{CR}}{W_{CN}} = \frac{\int_0^\infty \varepsilon(\lambda, T) E_b(\lambda, T) d\lambda}{\int_0^\infty E_b(\lambda, T) d\lambda} \quad \text{Eq. 3}$$

Teniendo presente que la cámara sólo captura la radiación en un intervalo de longitud de onda definido (λ_1 y λ_2) (banda espectral) se necesita calcular la fracción de radiación del cuerpo negro en esta banda de longitudes de onda [4]. La relación entre la porción de radiación del cuerpo negro acotada entre 0 y una longitud de onda es función del producto λT . Este postulado se demuestra con base en la *Ley de desplazamiento de Wien* (Eq. 4) que indica la existencia de una relación inversamente proporcional entre la temperatura y el pico de longitud de onda λ_{max} .

$$\lambda_{max} = \frac{2.898 \times 10^{-3} (m \cdot K)}{T} \quad \text{Eq. 4}$$

$$\frac{E_b(\lambda, T)}{E_b(\lambda_{max}, T)} = f(\lambda T) \quad \text{Eq. 5}$$

Por tanto, la relación entre la radiación del cuerpo negro acotada por las longitudes de onda captadas por la cámara y la radiación teórica (Eq. 5) se podrá expresar como la diferencia de dos funciones cuyas variables son el producto de la temperatura por las respectivas longitudes de onda máxima y mínima admitidas por el sensor: $f(\lambda_2 T)$ y $f(\lambda_1 T)$ (Eq. 6).

La principal ventaja de obtener una función cuya variable sea el producto de la longitud de onda por la temperatura radica en que los valores de $f[\lambda T]$ para cada λT pueden ser obtenidos experimentalmente y a tal efecto han sido tabulados por diferentes autores [5-6] pudiéndose obtener la diferencia de las funciones establecidas en el párrafo anterior (parámetro $H[T, \lambda_1, \lambda_2]$).

Teniendo en cuenta la Eq. 6 y la Eq. 3, la potencia emitida por un determinado objeto de emisividad (ε_o) y captada por la cámara será (Eq. 7):

$$W_{CR_o} = \varepsilon_o H W_{CN_o} \quad \text{Eq. 7}$$

Mientras que la potencia proveniente de objetos del entorno de emisividad y reflejada por el propio objeto será (Eq. 8):

$$W_{CR_R} = (1 - \varepsilon_o) H W_{CN_R} \quad \text{Eq. 8}$$

La potencia de la radiación total que llega a cada pixel de la cámara termográfica (W_p) vendrá determinada por la suma de la potencia emitida por el objeto (W_o) más la potencia reflejada por el objeto (W_R) (cabe mencionar que la atmósfera también emite radiación y absorbe parte de la misma, en cuyo caso sus efectos deberán de ser corregidos); es decir, por los parámetros de emisividad (ε) y temperatura (T) propios del objeto (que son indicados con el subíndice O), y por los referentes a la radiación reflejada por los objetos del entorno (indicados con el subíndice R) (Eq. 9). C es un coeficiente que indica la proporción de las pérdidas ópticas provocadas durante el proceso de captación, que son consideradas igual para todos los píxeles [7]. La relación H (Eq. 6) también se considera igual para todos los píxeles.

$$W_p = CH(W_o + W_R) = CH(\varepsilon_o \sigma T_o^4 + (1 - \varepsilon_o) \varepsilon_R \sigma T_R^4) \quad \text{Eq. 9}$$

Despejando en Eq. 9, obtendremos la temperatura de cada pixel del objeto (T_o) (Eq. 10):

$$T_o = \sqrt[4]{\frac{W_p}{CH} - (1 - \varepsilon_o) \varepsilon_R T_R^4} \quad \text{Eq. 10}$$

Para cada pixel se almacena un valor de T_o y la matriz constituida a partir de todos los píxeles del sensor (M) se almacena en la cámara dando lugar a la imagen térmica (Eq. 11).

$$\begin{aligned} \frac{W_{CN_{\lambda_1 T \rightarrow \lambda_2 T}}}{W_{CN}} &= \frac{W_{CN_{0 \rightarrow \lambda_2 T}}}{W_{CN}} - \frac{W_{CN_{0 \rightarrow \lambda_1 T}}}{W_{CN}} = \frac{\int_0^{\lambda_2 T} \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 (e^{hc/\lambda kT} - 1)} d\lambda T}{\sigma T^4} - \frac{\int_0^{\lambda_1 T} \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 (e^{hc/\lambda kT} - 1)} d\lambda T}{\sigma T^4} \\ &= \int_0^{\lambda_2 T} \frac{2\pi hc^2}{\sigma (\lambda T)^5 (e^{hc/\lambda kT} - 1)} d\lambda T - \int_0^{\lambda_1 T} \frac{2\pi hc^2}{\sigma (\lambda T)^5 (e^{hc/\lambda kT} - 1)} d\lambda T \end{aligned} \quad \text{Eq. 6.}$$

$$[M_{m \times n}] = \begin{bmatrix} T_{o00} & \cdots & T_{o0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ T_{om0} & \cdots & T_{omn} \end{bmatrix} \quad \text{Eq. 11}$$

2.3. ENFOQUES PARA EL PROCESAMIENTO DE DATOS TÉRMICOS

Obtenida una única matriz (M) de m filas y n columnas ($m \times n$ píxeles) se pueden obtener multitud de parámetros a través del procesamiento de datos contenidos en ella, por ejemplo, a través de la variación de temperatura entre cada uno de los elementos de la matriz se puede examinar el contraste térmico de determinadas zonas (Fig. 1), la frecuencia de repetición de temperaturas concretas o franjas térmicas (histograma térmico) o las distribuciones térmicas a través de zonas de interés (segmentos o superficies).

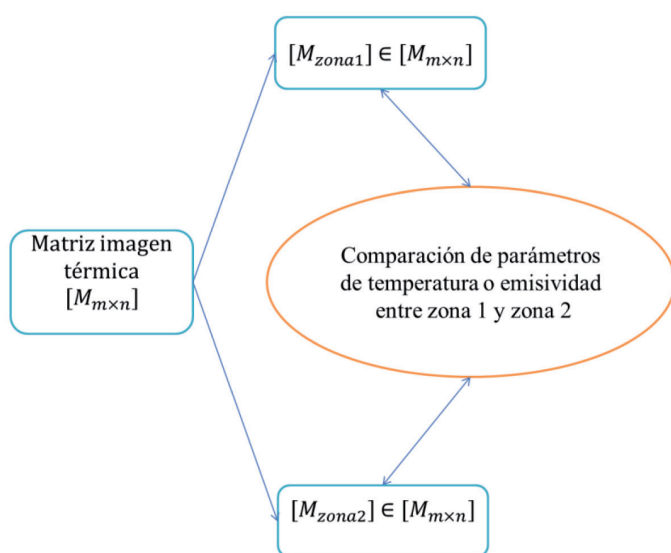


Fig. 1: Esquema del tratamiento de datos por comparaciones zonales de temperaturas

Con una sola matriz es posible establecer ajustes estadísticos que relacionen la temperatura y el espacio si el objetivo que se pretende alcanzar así lo requiere, e incluso se puede escalar una imagen mediante técnicas fotogramétricas con el fin de relacionar las dimensiones reales del objeto analizado con el tamaño del pixel, con ello se contaría, además de con la temperatura con información de carácter métrico. Sin embargo, para algunos usos, la mayor potencialidad de la técnica no estriba en el análisis de una única matriz, ni de los parámetros que de ellas se pudieran extraer con un procesado posterior, sino en la obtención de multitud de matrices (una para cada instante de tiempo, Eq. 12) durante la monitorización del proceso; en este caso entraría el tiempo como nuevo parámetro pues tendríamos una matriz para cada unidad de tiempo.

Para cada pixel (elemento p_{ij} perteneciente a la matriz $M_{m \times n}$) se podrá extraer una secuencia discreta de temperaturas para cada instante de tiempo (Eq. 13) que permita ajustar los

datos para calcular una función experimental y continua de calentamiento y/o enfriamiento para ese punto $p_{ij}(t)$ [8] y, de esta manera, se podrá generalizar la función de cada pixel en una matriz de funciones $P_{m \times n}(t)$ (Eq. 14).

$$p_{ij}[t] = \{p_{0ij}, p_{1ij}, p_{2ij}, \dots, p_{fij}\} \text{ para cada } \{t_0, t_1, t_2, \dots, t_f\} \quad \text{Eq. 13}$$

$$[P_{m \times n}(t)] = \begin{bmatrix} p_{00}(t) & \cdots & p_{0n}(t) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{m0}(t) & \cdots & p_{mn}(t) \end{bmatrix} \quad \text{Eq. 14}$$

De esta manera se podrá calcular la función de enfriamiento-calentamiento (Eq. 15) $q_{ij}(t)$ para cualquier punto perteneciente a la matriz $M_{m \times n}$.

$$q_{ij}(t) = \frac{\partial p_{ij}(t)}{\partial t} \quad \text{Eq. 15}$$

Pudiéndose generalizar en una nueva matriz de funciones, $Q_{m \times n}(t)$ (Eq. 16) que contenga para cada punto su función de enfriamiento-calentamiento.

$$[Q_{m \times n}(t)] = \begin{bmatrix} q_{00}(t) & \cdots & q_{0n}(t) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{m0}(t) & \cdots & q_{mn}(t) \end{bmatrix} \quad \text{Eq. 16}$$

De este modo, las posibilidades para el tratamiento y el procesamiento de los datos ya no solo abarcan distribuciones térmicas en el espacio sino que es posible trabajar también con tendencias temporales de calentamiento y enfriamiento en cada pixel $Q_{ij}(t)$ a fin de analizar el comportamiento del material cuando es sometido a una excitación energética concreta mediante la utilización de fuentes de excitación externas.

3. TÉCNICAS DE ANÁLISIS CON CÁMARA TERMOGRÁFICA

La técnica termográfica se puede clasificar atendiendo a dos criterios: el tipo de información a obtener y el método de utilización de la técnica (Fig. 2).

La clasificación más importante es la que hace referencia al tipo de información que se pretende extraer de la aplicación de la técnica. Debido a ello se plantean dos formas de trabajo: termografía cuantitativa y termografía cualitativa.

La termografía cuantitativa se utiliza para estudiar fenómenos o anomalías mediante el análisis de las temperaturas absolutas de cada punto de la imagen. El objetivo del análisis con esta forma de trabajo es obtener de manera precisa la temperatura de cada pixel dentro del campo visual que abarque la lente (Eq. 10) conociendo la emisividad a priori. Su aplicación es muy diversa y, en la mayoría de los casos, se suele utilizar esta forma de trabajo para tomar medidas de parámetros de carácter térmico como pueden ser la velocidad de enfriamiento (Eq. 16) y la difusividad térmica [9]. Los datos presentados en forma matricial facilitan la aplicación posterior de algoritmos de procesado.

$$M_{m \times n}[t] = \{M_{0m \times n}, M_{1m \times n}, M_{2m \times n}, \dots, M_{fm \times n}\} \text{ para cada } \{t_0, t_1, t_2, \dots, t_f\} \quad \text{Eq. 12}$$

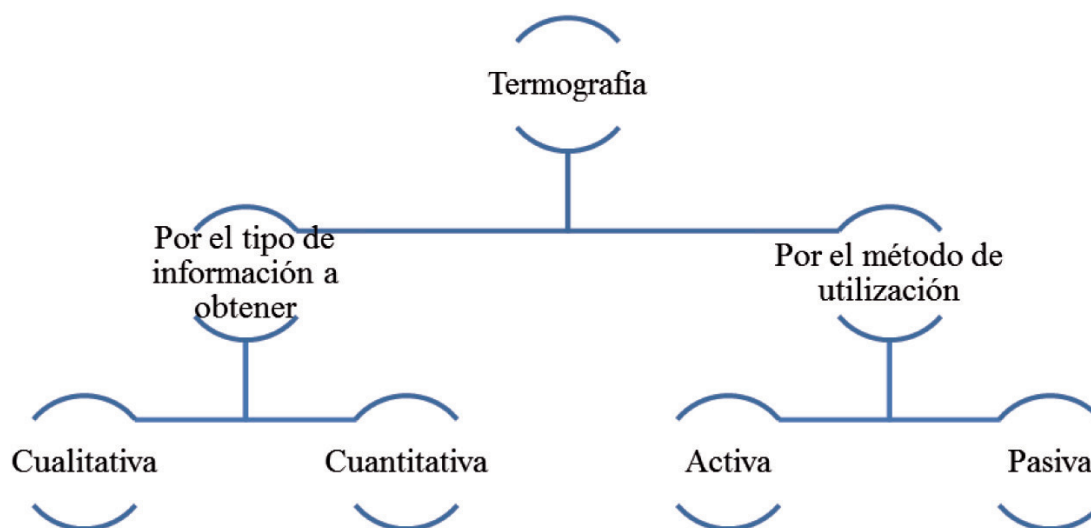


Fig. 2: Clasificación de las formas de trabajo con termografía

La termografía cualitativa tiene como objetivo analizar el campo térmico de la imagen para la detección de posibles anomalías o para la determinación de la posición de algún objeto. Solo se estudian temperaturas aparentes (la calculada a partir del total de la radiación que incide sobre el sensor, la cual, al no haber sido corregida, no se corresponde con los valores exactos de temperatura de cada punto) y se puede utilizar como única forma de trabajo al basarse en comparativas entre diferentes puntos y/o zonas de la imagen. Ejemplo de su aplicación es la ya muy extendida práctica de usar la cámara termográfica para la identificación de puentes térmicos en envolventes de edificación [10-11] o, también, para la detección de fallos en tuberías [12]. Al basarse en el estudio de las imágenes, es posible la automatización de los procesos de detección [13-14].

En la Fig. 3 se puede observar la aplicación de la termografía cualitativa para la detección de corrosión en tuberías. La detección se hace posible por la diferencia de emisividad térmica entre la zona corroída y la zona sin patología (Eq. 3).

Otra clasificación posible pone el foco en la existencia o no de un mecanismo externo y artificial de excitación térmica del material. Si la inspección termográfica se realiza sin utilizar ningún medio de excitación externo (estudiando su propio patrón de emisión infrarroja en estado normal), se estará ante una forma de trabajo denominada termografía pasiva (cabe destacar que en algunos casos sí existe una fuente

de excitación natural: el sol, pero su capacidad de excitación térmica salvo situaciones muy concretas no se puede considerar controlada pues varía en función de la franja horaria, de la zona e, incluso, dentro de una misma zona en función del ambiente urbano o rural [15]. Un ejemplo de ello es el aprovechamiento del calentamiento solar para la evaluación de grietas en calzadas utilizando una aplicación hibridada de sensores termográficos y radar de penetración terrestre (GPR) [16]. Ejemplos de usos de la técnica de termografía pasiva hay bastantes, desde los ya indicados para el análisis de la envolvente térmica del edificio [14], hasta los utilizados para diagnóstico de patologías en instalaciones eléctricas [17]. La termografía es activa cuando se aplica una excitación térmica al material de manera artificial con el objetivo de inducir una excitación de los electrones de los átomos del material y el consecuente incremento de la emisión en forma de radiación infrarroja. La clasificación, desarrollo y aplicaciones de la técnica de la termografía activa [18] serán expuestos y analizados en una próxima publicación.

4. CONCLUSIONES

El fenómeno de la transmisión infrarroja hace posible la captación de radiación emitida y reflejada por los diferentes cuerpos. Sin embargo, son numerosos los factores que inter-

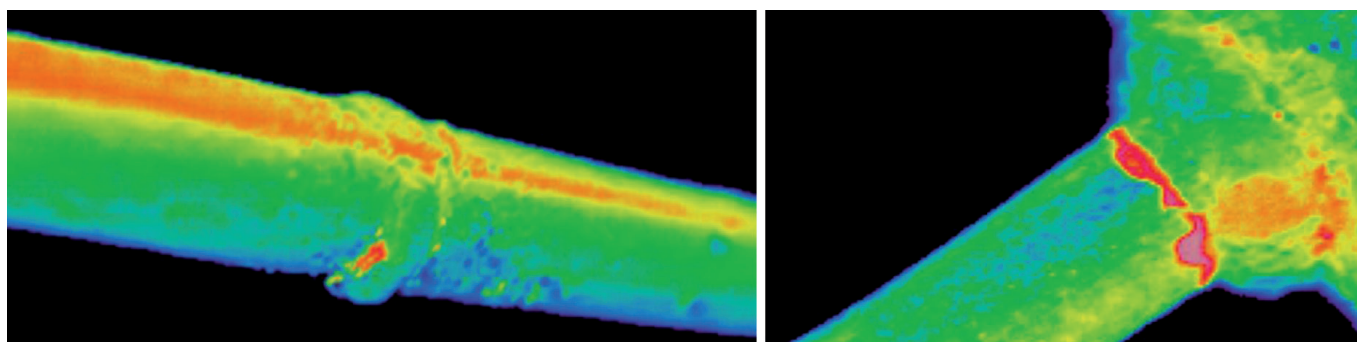


Fig. 3: Picaduras por corrosión en las soldaduras de tubería de agua caliente

vienen en el proceso de captación. Su control se torna como imprescindible para el ingeniero que quiere disponer de la técnica con las debidas garantías.

La técnica termográfica posibilita el volcado de los datos discretos en forma matricial y la consideración del tiempo como dimensión (haciendo posible la obtención de valores discretos de enfriamiento-calentamiento), lo que hace posible la posterior aplicación de numerosos algoritmos de procesado en los que entra en juego la temperatura, el tiempo e incluso el tamaño del objeto en función del tamaño del pixel si se implementan técnicas fotogramétricas de procesamiento de imagen. Ello hace de la termografía una técnica de ensayo ideal para numerosos usos en industria e ingeniería. La transversalidad de la técnica y las diferentes modalidades de trabajo permiten una expansión horizontal de la termografía hacia numerosos campos y aplicaciones en el ámbito de la ingeniería pero también fuera de él, como es el caso de la extensión de la técnica a usos de seguridad y defensa o a su aplicación para el análisis, valoración y documentación del patrimonio histórico artístico.

PARA SABER MÁS

- [1] Oswald-Tranta B, Maier A, Schledjewski R. "Defect depth determination in a CFRP structure using TSR technique". *The 12 International Conference on Quantitative Infrared thermography*. (Burdeos, 7-11 de Julio de 2014)
- [2] Ishchuk N, Karpov G, Fesenko A. "The detection of hidden subsurface objects in the infrared wavelength band by identifying their thermal properties". *Measurement Techniques*. 2009. Vol. 52-4 p. 388-393. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11018-009-9282-7>
- [3] William H. *Heat Transmision*. New York: McGraw-Hill. 1954. p. 57-133
- [4] Vollmer M, Mollmann KP. *Infrared thermal imaging*. Weinheim: Wiley-VCH 2010. p.1-71. ISBN: 978-3-527-40717-0
- [5] Dunke R. "Thermal radiation: tables and applications" *Trans ASME* 1954 Vol. 76 p.549-560.
- [6] Sargent SL. "A compact table of blackbody radiation functions". *Bull. Am. Meteorol.* Abril 1972. 53,360.
- [7] Krenzinger A, Vera LH. "Software de Pos-Procesamiento de Imágenes Termográficas". *Proceedings of the 11th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering* (Brasil, 5-8 de Diciembre de 2006)
- [8] Rodríguez-Martín M, Lagüela S, Gonzalez-Aguilera D et al. "Cooling analysis of welded materials for crack detection using infrared thermography". *Infrared Physics and Technology*. 2014. 67 p.547-554 doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.infrared.2014.09.025>
- [9] Davis SE, Wright NT. "Optimal positioning of temperature measurements to estimate thermal diffusivity". *International Journal of Thermophysics*. 2013 Vol. 34-6 p.1021-1038 DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10765-013-1458-3>
- [10] González-Aguilera D, Lagüela S, Rodríguez-González P, et al. "Image-based thermographic modeling for assessing energy efficiency of buildings facades". *Energy and Buildings*. 2013. Vol. 65. p. 29-36. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.05.040>
- [11] Roca D, Lagüela S, Díaz-Vilariño L, et al. "Low-cost aerial unit for outdoor inspection of building façades". *Automation in Construction*. 2013 Vol. 36. p. 128-135. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2013.08.020>
- [12] Dudic S, Ignjatovic I, Šešlić D, et al. "Leakage quantification of compressed air using ultrasound and infrared thermography". *Measurement*. 2012 Vol. 45. p. 1689-1694 DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2012.04.019>
- [13] Zheng L, Genest M, Kryszewski D. "Processing thermography images for pitting corrosion quantification on small diameter ductile iron pipe". *NDT&E International*. 2012 Vol.47 p. 105-115 DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ndteint.2012.01.003>
- [14] Cereijo J, Lagüela S, Roca D, Martínez J. Lorenzo H, Automatic detection of thermal bridges in thermographic building inspections, 40th IAHS World Congress on Housing, December 2014, Funchal - Portugal
- [15] Tumini I, Higeras E. "Alcance y limitaciones de las herramientas de simulación para el estudio del microclima urbano". *DYNA Energía y Sostenibilidad*. 2013, Vol.2(1). <http://dx.doi.org/10.6036/ES6921>
- [16] Solla M, Lagüela S, González-Jorge H, et al. "Approach to identify crackin g in asphalt pavement using GPR and infrared thermographic methods: Preliminary findings". *NDT&E International*. 2014 Vol. 62 p.55-65
- [17] Jadin MS, Taib S. "Recent progress in diagnosing the reliability of electrical equipment by using infrared thermography". *Infrared Physics & Technology* 2012. Vol. 55. p. 236-245 doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.infrared.2012.03.002>
- [18] Vavilov, V. Thermal NDT: historical milestones, state-of-the-art and trends. *Quantitative Infrared Thermography*. 2014 Vol. 11 p.66-83. <http://dx.doi.org/10.1080/17686733.2014.897016>