



Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid



www.fenercom.com



Madrid Ahorra con Energía



La Suma de Todos



CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y HACIENDA

Comunidad de Madrid

www.madrid.org

GUÍA DE LA TERMOGRAFÍA INFRARROJA. Aplicaciones en ahorro y eficiencia energética

Guía de la termografía infrarroja

Aplicaciones en ahorro y eficiencia energética



MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO



Medida de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética para España (2004/2012) puesta en marcha por la Comunidad de Madrid, el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio y el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).



Guía de la termografía infrarroja

Aplicaciones en ahorro y eficiencia energética

Madrid, 2011



Fundación de la Energía de
la Comunidad de Madrid



www.fenercom.com



La Suma de Todos



CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y HACIENDA

Comunidad de Madrid

www.madrid.org

Esta Guía se puede descargar en formato pdf desde la sección de publicaciones de las páginas web:

www.madrid.org

(Consejería de Economía y Hacienda, organización Dirección General de Industria, Energía y Minas)

www.fenercom.com

Si desea recibir ejemplares de esta publicación en formato papel puede contactar con:

Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid

dgtecnico@madrid.org

Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid

fundacion@fenercom.com

Esta guía ha sido redactada, a petición de la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, por **Sergio Melgosa Revillas**, Director Gerente de **eBuilding** en colaboración con **Infrared Training Center**, con algunos conceptos, ideas e imágenes de **FLIR/ITC**.

La Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, respetuosa con la libertad intelectual de sus colaboradores, reproduce los originales que se le entregan, pero no se identifica necesariamente con las ideas y opiniones que en ellos se exponen y, por tanto, no asume responsabilidad alguna de la información contenida en esta publicación.

La Comunidad de Madrid y la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, no se hacen responsables de las opiniones, imágenes, textos y trabajos de los autores de esta guía.

Depósito Legal: M. 36.312-2011

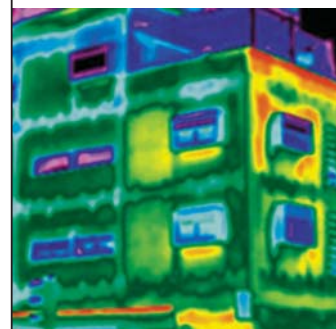
Impresión Gráfica: Gráficas Arias Montano, S. A.

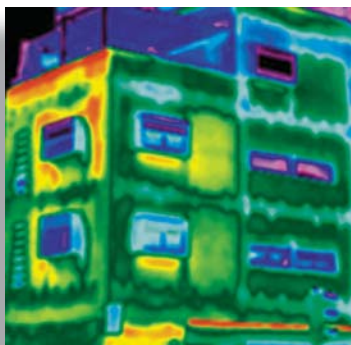
28935 MÓSTOLES (Madrid)

Índice

PRESENTACIÓN	7
1. INTRODUCCIÓN	9
2. UN POCO DE HISTORIA	11
3. APROXIMACIÓN A LA TERMOGRAFÍA INFRARROJA	17
4. LA CÁMARA TERMOGRÁFICA	27
5. ASPECTOS SOBRE EL CALOR Y LA TEMPERATURA	43
5.1. Transmisión de calor. Métodos	46
5.2. Condiciones estacionarias y transitorias	46
5.3. Conducción	47
5.4. Convección	52
5.5. Radiación	55
6. INTERCAMBIO DE ENERGÍA POR RADIACIÓN	57
7. CONCLUSIONES A PARTIR DE LA IMAGEN TÉRMICA	63
8. EVALUACIÓN DE LA IMAGEN TÉRMICA	71
9. CÓMO MEDIR LA TEMPERATURA CON LA CÁMARA TERMOGRÁFICA	87
10. UN MUNDO DE APLICACIONES	99
11. CASOS PRÁCTICOS	107
11.1. Introducción y test de imágenes infrarrojas para el lector.	109
11.2. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja en la rehabilitación energética de una comunidad de vecinos tipo bloque.	115
11.3. Aplicación termográfica en el comportamiento térmico de viviendas de Navaleno (Soria).	125

Índice

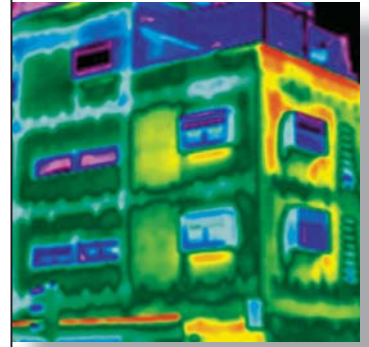




Guía de termografía infrarroja

11.4.	Aplicación de la termografía infrarroja en instalaciones fotovoltaicas.	133
11.5.	Aplicación de termografía infrarroja en la auditoría energética de un edificio terciario. Detección de puntos críticos.	141
11.6.	Ejemplo de rehabilitación energética en el Barrio de La Luz (Avilés).	151
11.7.	Identificación de problemas de humedad por medio de termografía infrarroja.	165
11.8.	Termografía e infiltrimetría, dos técnicas complementarias para analizar el comportamiento térmico de los edificios.	171
12.	GLOSARIO DE TÉRMINOS	181
13.	BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA	185
14.	LINKS DE INTERÉS	187

P RESENTACIÓN



La termografía infrarroja es una tecnología existente desde hace décadas pero que necesita un impulso, ya que su nivel de implantación es aún muy bajo pese a que se podría aplicar en infinidad de campos.

En el caso de la Eficiencia Energética, la termografía infrarroja es una herramienta de diagnóstico fundamental. Su empleo en auditorías energéticas de edificios, instalaciones, etc., es cada vez más frecuente. Permite al técnico detectar y evaluar las pérdidas de energía con gran facilidad y le sirve de soporte para redactar los informes y transmitir al propietario, de una forma muy visual, la situación. Así, ambos podrán decidir qué mejoras acometer.

Para el manejo de las cámaras infrarrojas e interpretación de las imágenes se necesita una formación adecuada. Sólo con las imágenes no es suficiente para diagnosticar, sino que el trabajo en campo, la visualización directa de la zona, instalación,... es fundamental, ya que la imagen tan solo aporta una pequeña parte de la información.

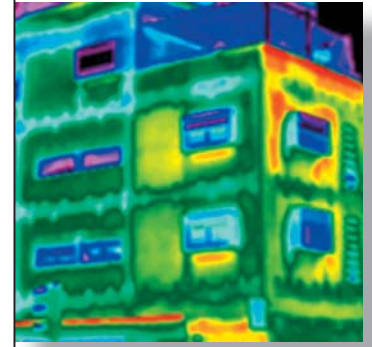
Por este motivo, la Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid y la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid dirigen esta guía tanto al público profesional como al ciudadano, con el objetivo de explicar cómo es el manejo y calibrado de una cámara infrarroja, qué son y cómo se interpretan las imágenes infrarrojas, y cómo se pueden aplicar en la mejora de la Eficiencia Energética.

D. Carlos López Jimeno

Director General de Industria, Energía y Minas
Consejería de Economía y Hacienda
Comunidad de Madrid

1

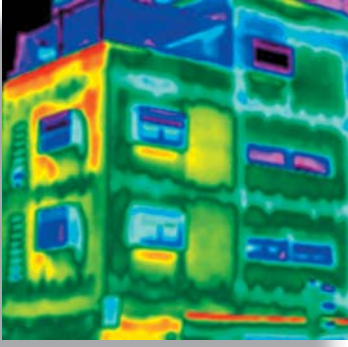
INTRODUCCIÓN



Esta guía sobre termografía pretende introducir a los usuarios o futuros usuarios de cámaras termográficas en su manejo y en la interpretación de las imágenes obtenidas a partir de ellas.

Se ha tratado de seguir un hilo conductor en cuanto a los temas, que facilite la comprensión de los principales conceptos de termografía, el manejo de la cámara, la interpretación de las imágenes obtenidas, los errores que se pueden cometer y cómo evitarlos y así, llegar a convertirse en buenos profesionales de la termografía infrarroja. En definitiva, se ha intentado que el usuario de estos equipos tenga un manual de referencia en el que formarse desde el inicio o ampliar los conocimientos que ya tiene. No obstante no se pretende sustituir con esto a la formación reglada y certificada que existe en este campo, más bien al contrario, esta guía pretende despertar en el lector la curiosidad y conocimientos mínimos que le llevarán a querer ampliarlos en un curso presencial y con un certificado reconocido que le permita desarrollar su profesión con seguridad.

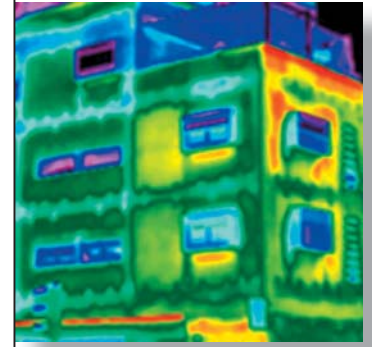
El termógrafo experto, seguramente encuentre muchas cosas a mejorar, pero, no obstante, se espera que en general guste y sobre todo sea útil. Hay mucho que hacer en el campo de la termografía y esta guía tan solo es algo de lo que no se disponía de manera gratuita, al alcance de todos. En internet existe mucha documentación (generalmente editada por los fabricantes de las cámaras), se tratan temas, casos prácticos, pero no hay un manual independiente que parta de los conceptos fundamentales y avance hasta hacer del lector un termógrafo competente. Este es el objetivo de la guía.



Guía de termografía infrarroja

Esta guía contiene procedimientos de trabajo habituales de la profesión de termógrafo y por tanto deberán ser desarrollados por profesionales cualificados en la materia. Recomendamos aun así leer las recomendaciones de los fabricantes de los equipos o sistemas con los que el termógrafo va a trabajar y seguir las instrucciones de las personas encargadas de su manejo, autoridades y reglamentaciones vigentes en materia de seguridad.

La información que contiene esta guía no cualifica al lector para realizar trabajos de inspección termográfica específicos.



2 UN POCO DE HISTORIA

Antes del año 1800, ni siquiera se sospechaba la existencia de la región infrarroja del espectro electromagnético. La importancia original del espectro infrarrojo (al que suele hacerse referencia simplemente como «los infrarrojos») como forma de radiación calorífica es probablemente menos obvia hoy en día que en la época de su descubrimiento por parte de Herschel, en 1800.

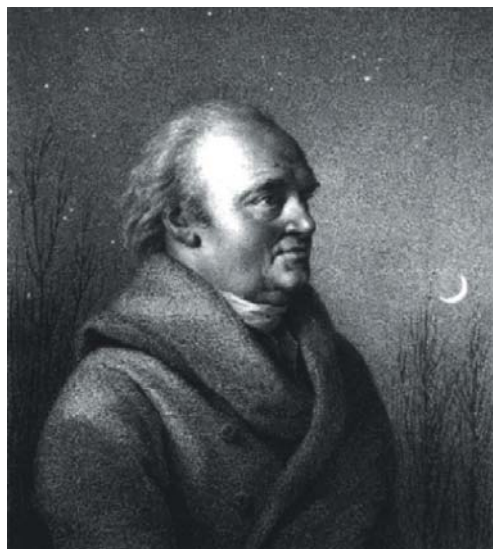
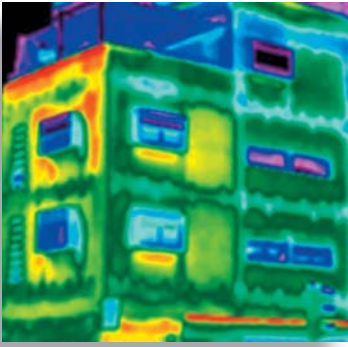


Figura 1. Sir William Herschel (1738–1822).

El descubrimiento fue accidental y se produjo durante la investigación de un nuevo material óptico. Sir William Herschel, astrónomo real del rey Jorge III de Inglaterra y ya famoso anteriormente por haber descubierto el planeta Urano, estaba investigando con el fin de encontrar un material para filtros ópticos que lograra reducir el brillo de la imagen del sol en los telescopios al realizar observaciones solares. Al probar diferentes muestras de cristales de colores que proporcionaban similares reducciones del brillo, le llamó la atención descubrir que algunas de las muestras dejaban pasar muy poco calor solar, mientras



Guía de termografía infrarroja

que otras dejaban pasar tanto calor que podrían producir daños oculares tras unos pocos segundos de observación.

Inmediatamente, Herschel se dio cuenta de la necesidad de realizar un experimento sistemático, con el fin de descubrir un material que proporcionase la reducción deseada del brillo y al mismo tiempo la máxima reducción posible del calor. Empezó el experimento repitiendo el de prismas de Newton, pero buscando el efecto calorífico en lugar de la distribución visual de la intensidad en el espectro. Al principio oscureció el bulbo de un termómetro de mercurio con tinta y, utilizándolo como detector de radiación, procedió a probar el efecto calorífico de los diferentes colores del espectro que se formaban encima de una mesa haciendo pasar la luz del sol a través de un prisma de cristal. Otros termómetros, colocados fuera del alcance de los rayos del sol, servían como control.

A medida que el termómetro oscurecido se movía lentamente por los colores del espectro, las lecturas de las temperaturas mostraban un incremento fijo desde el extremo violeta hasta el rojo. Esto no era especialmente sorprendente, ya que el investigador italiano Landriani había observado exactamente el mismo efecto en un experimento similar realizado en 1777. No obstante, fue Herschel el primero en darse cuenta de que debía haber un punto en el que el efecto calorífico llegase al máximo y que las medidas confinadas a la parte visible del espectro no mostraban este punto.



Figura 2. Marsilio Landriani (1746–1815).

Al mover el termómetro en la región oscura, más allá del extremo rojo del espectro, Herschel confirmó que el calor seguía aumentando. El punto máximo, cuando lo encontró, estaba mucho más allá del extremo rojo, dentro de la región que hoy conocemos como «longitudes de onda infrarrojas».

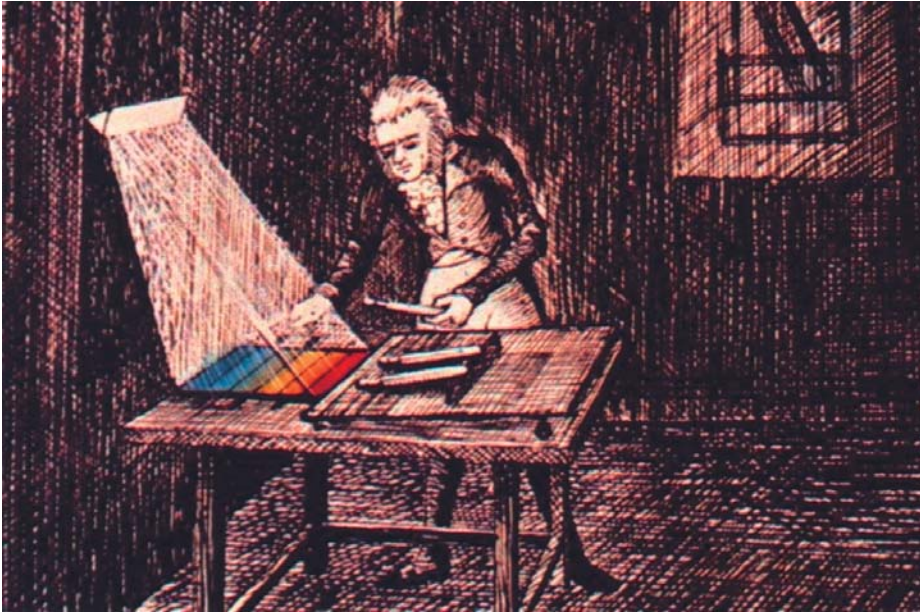
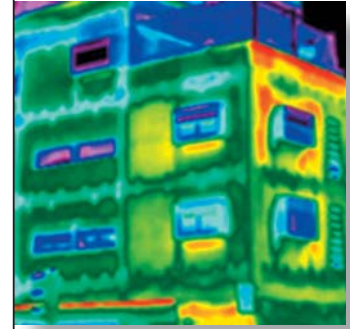
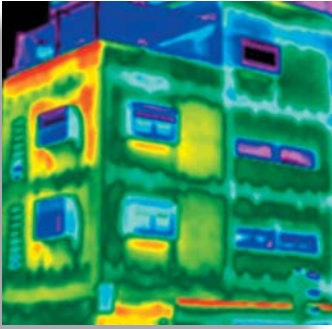


Figura 3. Experimento con termómetros y los colores del espectro.

Cuando Herschel reveló su descubrimiento, denominó a esta nueva región del espectro electromagnético «espectro termométrico». A veces hizo referencia a la propia radiación como «calor oscuro» o simplemente «los rayos invisibles». Irónicamente y contradiciendo la opinión popular, no fue Herschel el que acuñó el término «infrarrojo». Esta palabra sólo empezó a utilizarse en documentos impresos unos 75 años después, y su creador aún permanece en el anonimato.

El que Herschel utilizara cristal en los prismas de su experimento original provocó cierta controversia inicial con algunos de sus contemporáneos acerca de la existencia real de las longitudes de onda infrarrojas. Diferentes investigadores, intentando confirmar la validez de su trabajo, utilizaron diferentes tipos de cristal de forma indiscriminada, obteniendo diferentes transparencias en los infrarrojos. En sus experimentos posteriores, Herschel observó la transparencia limitada del cristal a la radiación térmica recién descubierta, y llegó a la conclusión de que las lentes utilizadas para los



Guía de termografía infrarroja

infrarrojos debían ser forzosamente elementos reflectantes (espejos curvos y lisos). Afortunadamente, en 1830 se descubrió que esto no era cierto, cuando el investigador italiano Melloni realizó su gran descubrimiento: la sal de roca (NaCl), que estaba disponible en cristales naturales lo suficientemente grandes para hacer lentes y prismas, es considerablemente transparente a los infrarrojos. La consecuencia fue que la sal de roca se convirtió en el principal material óptico para los infrarrojos, y continuó siéndolo durante los 100 años siguientes, hasta que se dominó el arte de la creación de cristal sintético en los años 30.



Figura 4. Macedonio Melloni (1798–1854).

Los termómetros fueron los únicos medidores de radiación hasta 1829, año en el que Nobili inventó el termopar. (El termómetro de Herschel podía medir solamente hasta $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y los modelos posteriores podían hacerlo hasta $0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$). Posteriormente se produjo un gran descubrimiento: Melloni conectó varios termopares en serie para crear la primera termopila. El nuevo dispositivo era al menos 40 veces más sensible a la radiación calorífica que el mejor termómetro del momento. Era capaz de detectar el calor de una persona a una distancia de 3 metros.

La captura de la primera «imagen de calor» se hizo posible en 1840, como resultado del trabajo de Sir John Herschel, hijo del descubridor de los infrarrojos y famoso astrónomo por méritos propios. Basándose

Un poco de historia

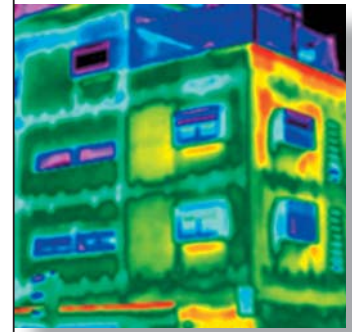
en la diferente evaporación de una fina capa de aceite al exponerla a un patrón de calor enfocado hacia ella, la imagen térmica podía verse gracias a la luz reflejada en los lugares en los que los efectos de interferencia de la capa de aceite hacían que la imagen fuese visible para el ojo humano. Sir John también consiguió obtener un registro primitivo de la imagen térmica en papel y lo llamó «termografía».

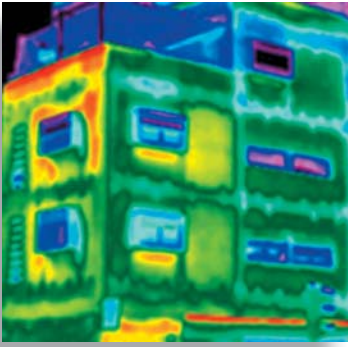
Las mejoras en la sensibilidad de los detectores de infrarrojos fueron sucediéndose lentamente. Otro descubrimiento de gran importancia, realizado por Langley en 1880, fue la invención del bolómetro. Éste consistía en una delgada tira de platino oscurecido conectada a uno de los brazos de un puente de Wheatstone sobre la que se enfocaba la radiación infrarroja y a la que respondía un galvanómetro sensible. En teoría, este instrumento era capaz de detectar el calor de una vaca a una distancia de 400 metros.



Figura 5. Samuel P. Langley (1834–1906).

Un científico inglés, Sir James Dewar, fue el primero en utilizar gases líquidos como agentes enfriadores (por ejemplo, nitrógeno líquido con una temperatura de $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$) en investigaciones a bajas temperaturas. En 1892 inventó un revolucionario contenedor aislante de vacío que permitía almacenar gases en estado líquido durante varios días. Los «termos» normales de hoy en día, que suelen utilizarse para conservar bebidas frías o calientes, están basados en su descubrimiento.



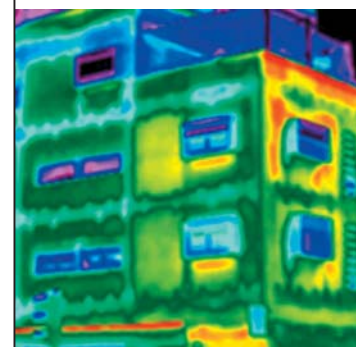


Guía de termografía infrarroja

Entre los años 1900 y 1920, los inventores del mundo «descubrieron» los infrarrojos. Se crearon muchas patentes de dispositivos para detectar personas, artillería, aviones, barcos e incluso icebergs. Los primeros sistemas que funcionaban en el sentido moderno comenzaron a desarrollarse durante la guerra de 1914 a 1918, cuando ambos bandos tenían programas de investigación dedicados a las aplicaciones militares de los infrarrojos. Estos programas incluían sistemas experimentales para la detección de intrusiones del enemigo, sensores de temperatura remotos, comunicaciones seguras y «torpedos aéreos» guiados. Un sistema de búsqueda por infrarrojos probado durante esta época fue capaz de detectar un avión aproximándose a una distancia de 1,5 km y una persona a una distancia de más de 300 metros.

Los sistemas más sensibles hasta la fecha estaban basados en variaciones sobre la idea del bolómetro, pero el período de entreguerras fue testigo del desarrollo de dos nuevos detectores de infrarrojos revolucionarios: el convertor de imágenes y el detector de fotones. Al principio, el convertor de imágenes fue el que más atención recibió por parte de los militares, ya que por vez primera en la historia permitía a un observador ver en la oscuridad literalmente. Sin embargo, la sensibilidad del convertor de imágenes estaba limitada a las longitudes de onda infrarrojas más cercanas y los objetivos militares más interesantes, por ejemplo los soldados enemigos, tenían que ser iluminados por haces infrarrojos de búsqueda. Dado que esto implicaba el riesgo de delatar la posición del observador a un observador enemigo con un equipo similar, es comprensible que el interés militar en el convertor de imágenes fuera reduciéndose progresivamente.

Las desventajas tácticas para los militares de los llamados sistemas térmicos de imagen «activos» proporcionaron un cierto impulso después de la guerra de 1939 a 1945 a programas de investigación militar secretos y más ambiciosos, que tenían el objetivo de desarrollar sistemas «pasivos» (sin haz de búsqueda) tomando como base el extremadamente sensible detector de fotones. Durante este período, las normativas sobre los secretos militares evitaban por completo que se revelase el estado de la tecnología de imágenes infrarrojas. Este secretismo sólo empezó a desaparecer a mediados de los 50, y desde ese momento la ciencia y la industria civil empezaron a tener a su disposición dispositivos de imágenes térmicas adecuados para sus necesidades.



3 APROXIMACIÓN A LA TERMOGRAFÍA INFRARROJA

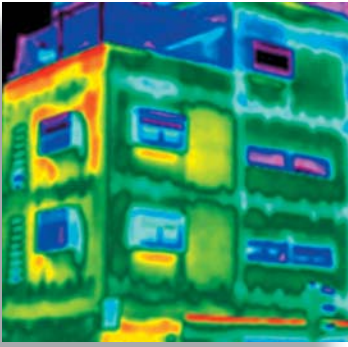
Desde siempre el ser humano ha tratado de medir las variables que, de una manera u otra, influían en su entorno, de entre todas, quizás el tiempo y la temperatura son las dos variables que con diferencia más se miden. Hoy en día todo el mundo puede llevar un reloj en la muñeca con el que medir el tiempo, y es raro que en casa no tengan un termómetro para medir la temperatura. Incluso el propio cuerpo humano lleva su termómetro, en forma de terminaciones nerviosas capaces de detectar el infrarrojo por toda la piel, y en más de una ocasión ha evaluado, con dolor, la temperatura de una superficie caliente.

Más raro es que en el día a día se tengan que medir otras variables también comunes como son la velocidad, el peso, etcétera, y otras como la intensidad de corriente, reservadas a profesionales.

Centrándose en la que interesa para esta guía, la temperatura, ¿por qué es tan importante esta variable? Sin ir más lejos, una simple variación en la temperatura corporal hace enfermar, si se eleva dos grados la temperatura corporal, probablemente se tenga que guardar reposo y estar bajo alguna medicación. En el tema que nos ocupa también es así de crucial y dependiendo de la aplicación, la materia o el objeto, unas décimas o unos grados pueden ser el origen de una avería o problema o no tener ninguna importancia. La diferencia entre fijar el termostato de casa de 22 °C a 20 °C en invierno, puede suponer un notable ahorro de calefacción, aunque también pueda crear cierto disconfort en la vivienda.

En definitiva, la temperatura es una variable fundamental, controlarla y conocerla dará infinitas ventajas.

Entonces, ¿por qué aprender la técnica de la termografía va a resultar tan útil? Por varios motivos, como:



Guía de termografía infrarroja

1. Es una medida **actual**, en tiempo real, es decir, se puede medir mientras se visualiza el objeto en la pantalla de la cámara. Si el objeto cambia, la cámara muestra el cambio inmediatamente, sin inercias ni actualizaciones.
2. **No es invasiva**, es decir, se mide sin contacto directo. Así, nos mantiene alejados del peligro, algo muy importante a la hora de realizar inspecciones termográficas para el mantenimiento eléctrico. Además, al no ser invasiva, no se afecta al cuerpo que se quiere medir. El termógrafo tan solo observa la radiación saliente del objeto mientras éste está en marcha.
3. Es **bidimensional**, es decir, se puede medir la temperatura en dos o más puntos de un mismo objeto en el mismo instante. Ya se sabe que una imagen dice más que mil palabras y, se van a componer imágenes de temperatura.
4. Es **multidisciplinar**, las imágenes no solo hablan de temperatura, hablan de patrones térmicos, comportamientos, anomalías, etc.

Estas características diferenciadoras hacen que la termografía haya extendido su campo de aplicación a áreas tan distintas como la medicina y la veterinaria, la electricidad, la edificación, los procesos industriales, los sistemas de seguridad y antiintrusión, la navegación o la automoción y un largo etcétera.

Sin embargo, será difícil que el termógrafo (la persona que trabaja con esta técnica) sepa de tan distintos campos y áreas de conocimiento. Saber cómo se toman las imágenes no llevará muy lejos si de esa imagen térmica no se es capaz de comprender las consecuencias de lo que se ve en la cámara. La cámara proporcionará el 10% de la información, el resto corresponde a la persona que interpreta la imagen.

Además, habrá ocasiones en las que el termógrafo es una mera herramienta que simplemente facilita la imagen térmica a partir de la cuál un profesional tomará decisiones.

En esta guía hay multitud de imágenes térmicas que el lector poco a poco irá descubriendo e interpretando. Para los que aún no hayan visto una imagen infrarroja, en la Fig. 1 se presenta un ejemplo que se tratará de interpretar a continuación.

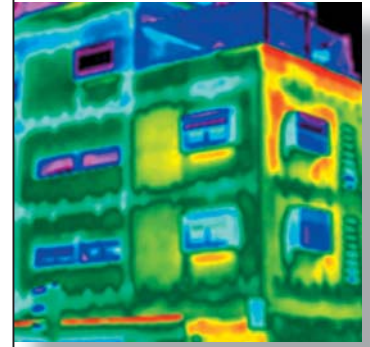
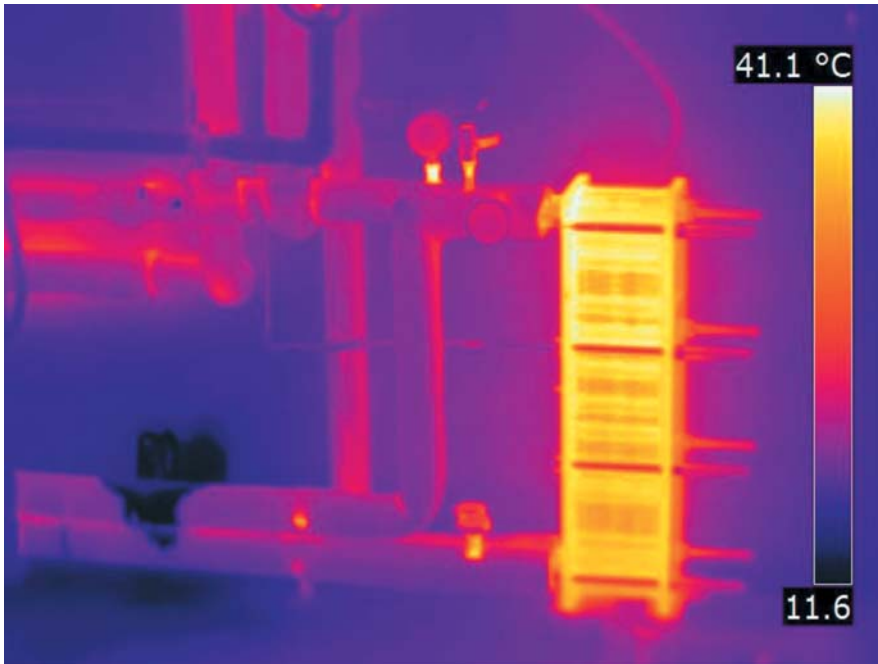
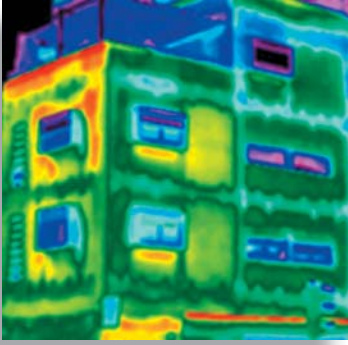


Figura 1. Imagen infrarroja de un intercambiador de placas. Fuente: eBuilding.

Después de un breve repaso visual por la imagen de la Fig. 1, parece que se puede decir lo siguiente:

- Se trata de un intercambiador de placas de una instalación que está en marcha o lo ha estado hasta hace poco, ya que se ve en el campo (más adelante se definirá este primer concepto) que las temperaturas de la imagen van desde los 41,1 °C (zona amarilla) hasta los 11,6 °C (zona azul oscura).
- Se encuentran a priori fallos en el aislamiento de las tuberías, parece que se ha hecho bien este trabajo. Aunque sí se puede plantear aislar el intercambiador de placas, se ve que emite bastante calor.
- Se ve una mancha oscura en la parte inferior, es agua que proviene posiblemente de una pequeña fuga que habrá que reparar. En la tubería superior hay otra, pero no parece que sea el origen de la posible fuga, parece más bien que rebote ahí desde más arriba.

La imagen real no daría esta información, se tendrían que ver los termómetros montados a la entrada y salida del intercambiador para tener una idea de la temperatura de trabajo, pero... cuántas veces se



Guía de termografía infrarroja

hans encontrado los termómetros estropeados o que miden mal. No se sabría nada de la posible fuga en la instalación o no se vería tan claramente y no se tendría una sensación tan clara de estar derrochando energía a través del intercambiador.

Además, la imagen visual se tendrá siempre, no así la infrarroja.

QUÉ ES O QUÉ SE ENTIENDE POR TERMOGRAFÍA

Termografía Infrarroja, etimológicamente significa «escritura con calor de lo que está por debajo del rojo». La imagen generada por la cámara se denomina termograma o imagen térmica o imagen radiométrica.

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 termográficas podremos convertir la energía radiada en información sobre temperatura.

Con esta definición, enseguida nos preguntamos cuál es la información térmica de un objeto y de qué dispositivos estamos hablando.

Pues bien, todos los objetos tienen una información térmica, imperceptible a simple vista pero que se pone de manifiesto mediante esos dispositivos, las cámaras termográficas.

Una *cámara termográfica* es el dispositivo que va a detectar el patrón térmico del cuerpo al que se apunta, en el espectro de la longitud de onda infrarroja y sin entrar en contacto con ese cuerpo.

Una *imagen radiométrica* es una imagen térmica que contiene cálculos de las medidas de temperatura en todos los puntos de la imagen.

La información térmica corresponde a un patrón, un estado puntual en cuanto a su temperatura. Se dice que es puntual ya que no se considera el objeto como algo aislado, más bien al contrario, estará bajo unas condiciones cambiantes, rodeado de otros objetos que le influyan, unas actuaciones, etc.

Existen en el mercado numerosos fabricantes de estos equipos, con múltiples características y gran variedad de precios. Vienen comer-

Aproximación a la termografía infrarroja

cializándose desde los años setenta, aunque existen desde mucho antes pero usados en aplicaciones militares. Desde hace tiempo, su evolución ha sido muy notable y año a año salen al mercado nuevas cámaras con nuevas herramientas y aplicaciones sorprendentes, y la tendencia seguirá siendo esa, la evolución y mejora continua.

Al final del libro, se facilita un listado de algunos fabricantes. Si se va a comprar una cámara, en esta guía encontrará algunos consejos que se deben tener en cuenta antes de realizar la inversión.

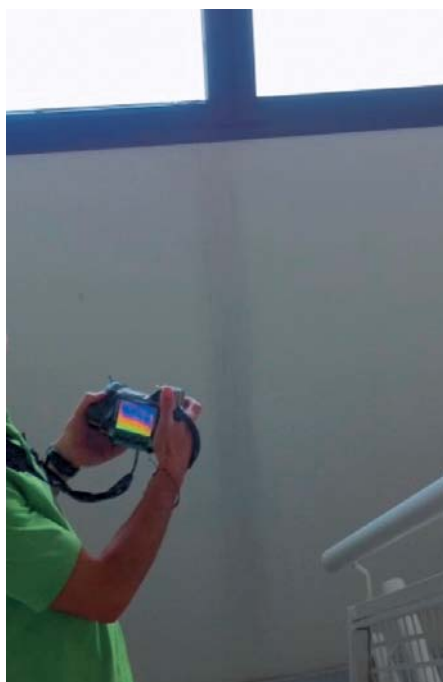
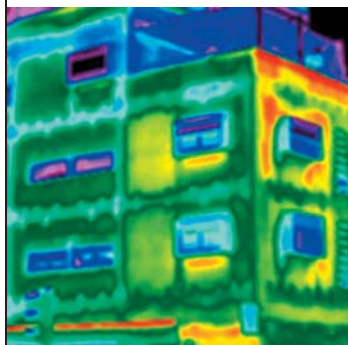
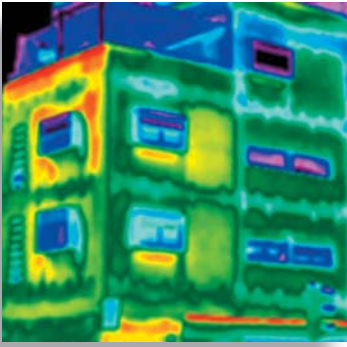


Figura 2. Inspección termográfica de problemas de humedades en los cerramientos de un edificio y certificado emitido por un centro de formación reconocido. Fuente: eBuilding.

EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Tras esta pequeña introducción, se hace necesario hablar del espectro electromagnético, al que no se está habituado a pesar de estar bajo su influencia constantemente, sí a la longitud de onda visible, aunque de tan común que es ni nos planteamos lo que conlleva.

El espectro electromagnético es el rango de todos los tipos de radiación electromagnética clasificados por longitud de onda.



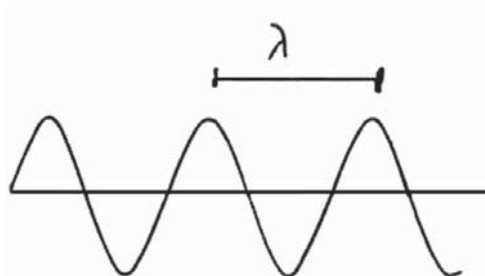
Guía de termografía infrarroja

Y ¿qué es una onda?

Una onda es la propagación de una perturbación que transfiere energía progresivamente de un punto a otro a través de un medio y que puede tener la forma de deformación elástica, una variación de presión, intensidad magnética o eléctrica o de temperatura.

Los elementos que describen toda onda son:

- Cresta:** La cresta es el punto más alto de dicha amplitud o punto máximo de saturación de la onda.
- Período:** El periodo es el tiempo que tarda la onda en ir de un punto de máxima amplitud al siguiente.
- Amplitud:** La amplitud es la distancia vertical entre una cresta y el punto medio de la onda. Nótese que pueden existir ondas cuya amplitud sea variable, es decir, crezca o decrezca con el paso del tiempo.
- Frecuencia:** Número de veces que es repetida dicha vibración. En otras palabras, es una simple repetición de valores por un período determinado.
- Valle:** Es el punto más bajo de una onda.
- Longitud de onda:** Distancia que hay entre dos crestas consecutivas de dicho tamaño.



$$1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m} = 1 / 1.000 \text{ mm}$$
$$1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m} = 1 / 10.000.000 \text{ m}$$

Las ondas se distribuyen, en función de su energía a lo largo del espectro electromagnético. Este se extiende desde la radiación de menor longitud de onda, como los rayos gamma y los rayos X, pasando por la luz ultravioleta, la luz visible y los rayos infrarrojos, hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda, como son las ondas de radio.

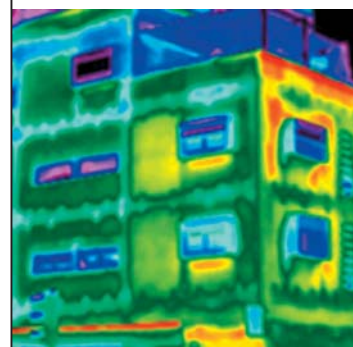
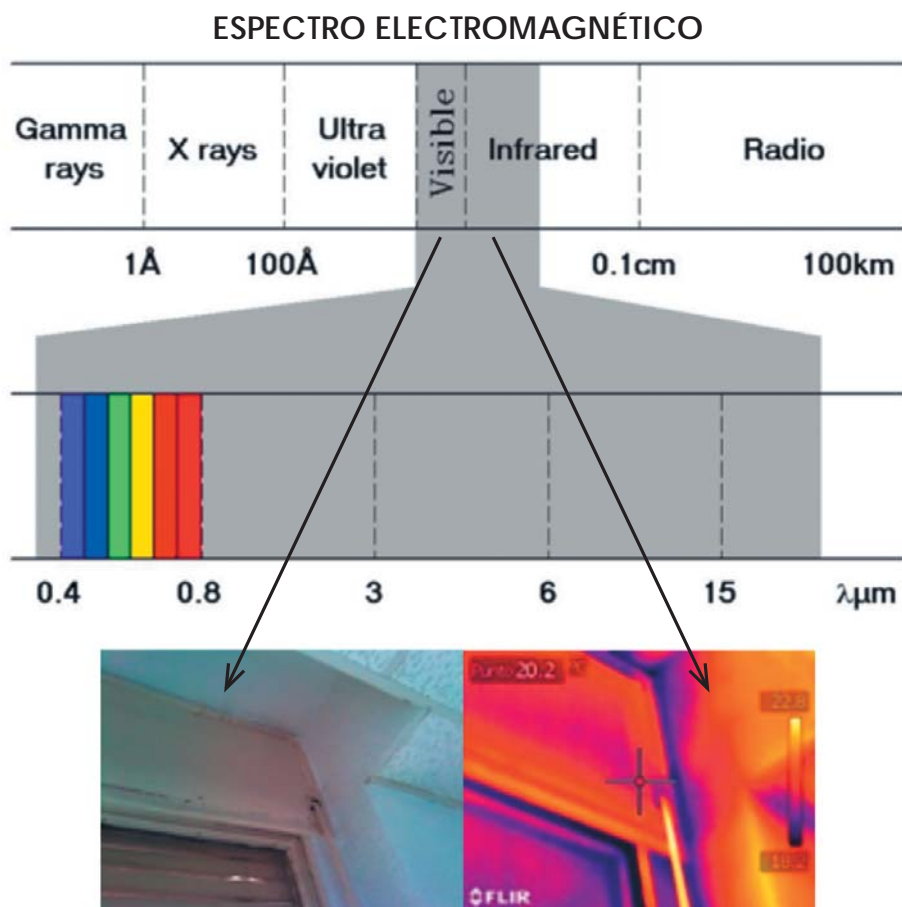
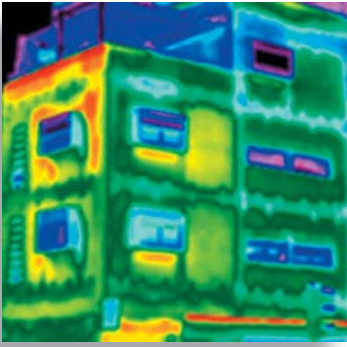


Figura 3. Espectro electromagnético.

Sin entrar en cada una de ellas, algunas nos son familiares y otras no tanto. La luz visible, muy similar a la infrarroja, se compone de una mezcla de longitudes de onda, cuando vemos algo azul es porque ese cuerpo tiene la propiedad de reflejar más la parte azul del espectro. Así, a través de nuestros ojos, percibimos los colores correspondientes a un rango de longitudes de onda muy estrecho, entre $0,4 \mu\text{m}$ a $0,7 \mu\text{m}$. O los Rayos X nos los encontramos cuando vamos al médico a que nos realicen una radiografía (tienen muchas otras aplicaciones).

Hemos de decir que las longitudes de onda no tienen los límites tan marcados como los que se representan en la imagen. Sin embargo, sí tienen límites y fronteras muy marcadas en la práctica. En el espectro de la Fig. 3 se muestran dos imágenes, una de luz visible y otra de infrarroja, que no tienen nada que ver la una con la otra.

En la Fig. 4 se ve ya el espectro en toda su amplitud.



Guía de termografía infrarroja

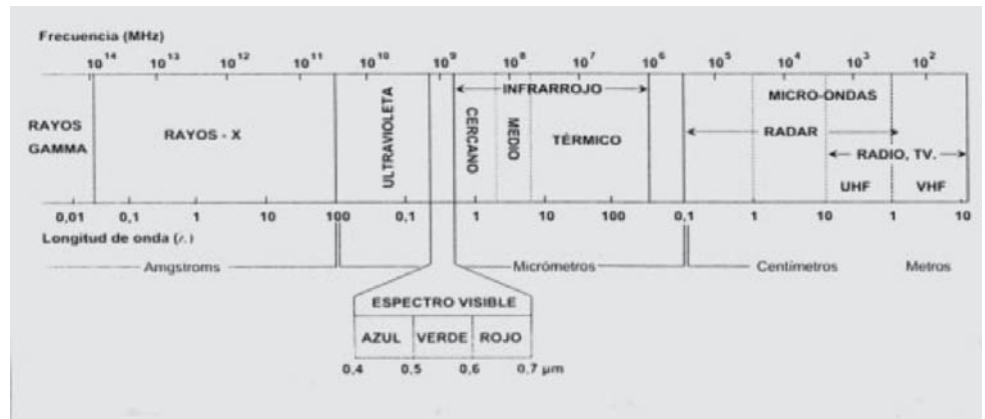


Figura 4. Espectro en toda su amplitud.

En este espectro, existe una banda cuya radiación tiene la capacidad de transmitir calor por emisión o absorción. Como se ha dicho antes, sus límites no están marcados exactamente, pero se sabe que la radiación térmica va desde el ultravioleta al infrarrojo, pasando por el visible, donde tiene la intensidad más elevada. El calor no es exclusivo del infrarrojo, no lo olvidemos.

La radiación térmica es la transmisión de calor mediante ondas electromagnéticas.

La gráfica de la Fig. 5 muestra la transmisión en la atmósfera (en porcentaje) y cómo distintos elementos atmosféricos pueden afectar a esta transmisión.

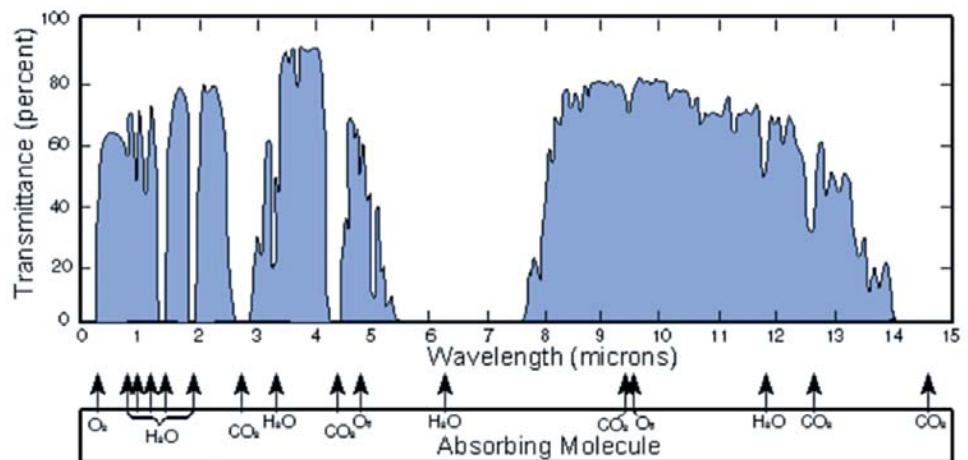
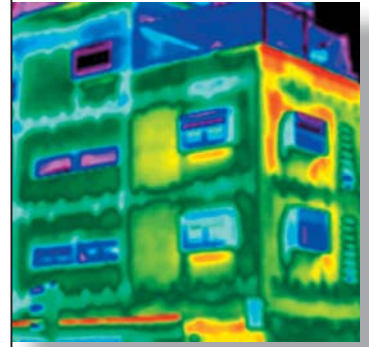


Figura 5. Transmisión de la radiación en la atmósfera terrestre (en porcentaje) y cómo distintos elementos atmosféricos pueden afectar a esta transmisión. Fuente: FLIR Systems.



En la gráfica de la Fig. 6, se ve la energía emitida por un objeto a diferentes temperaturas. Se ve que a mayor temperatura, mayor es el pico de energía. La longitud de onda a la que ocurre el pico de energía se vuelve progresivamente más corto a medida que se incrementa la temperatura. A bajas temperaturas, el pico de energía se produce en longitud de onda larga.

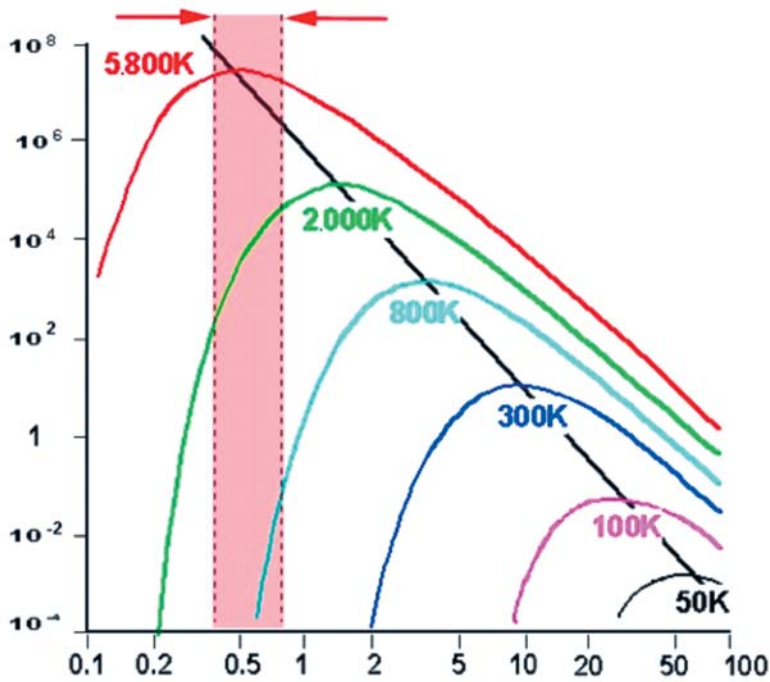
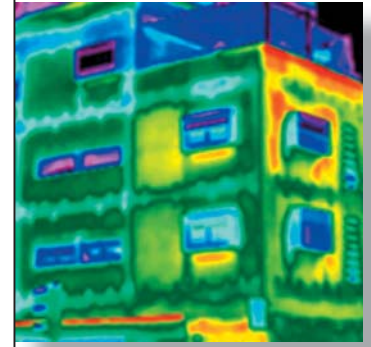


Figura 6. Energía emitida por un objeto a diferentes temperaturas.

Es necesario dar esta información, aunque sea muy resumida. Pronto estas gráficas mostradas en este capítulo le serán muy familiares.



4 LA CÁMARA TERMOGRÁFICA

Como con cualquier otro equipo, para manejar una cámara termográfica es necesaria cierta habilidad y práctica, podríamos decir que diaria. Ocurre con frecuencia que con muchos de los equipos y sistemas con los que se trabaja en el día a día, existen menús, botones y utilidades que no se manejan habitualmente y se trabaja con lo mismo casi de manera automática.

Con la cámara de infrarrojos puede pasar lo mismo, nos habituamos a usarla de una determinada manera y de ahí no nos movemos, echando a perder numerosas aplicaciones y no sacando el máximo partido a un equipo que ha costado una buena suma de dinero y tiempo dedicado a formarnos. Existen cámaras más o menos complejas y costosas, pero todas tienen el mismo principio.

Es importante tener cierta paciencia y dedicarle tiempo a familiarizarse con el equipo y aprender todo acerca de él. Los distintos fabricantes emplean distintos botones, menús y submenús, pero hay elementos comunes que sí son necesarios conocer.

¿CÓMO FUNCIONA LA CÁMARA?

Básicamente, la óptica de la cámara hace converger sobre su detector la radiación infrarroja que emite el objeto bajo estudio, obtiene una respuesta (cambio de tensión o resistencia eléctrica) que será leída por los elementos electrónicos (la placa electrónica) de la cámara. Esa señal electrónica es convertida en una imagen electrónica en la pantalla, donde los distintos tonos de color se corresponden con distintas señales de radiación infrarroja procedentes del objeto de estudio.

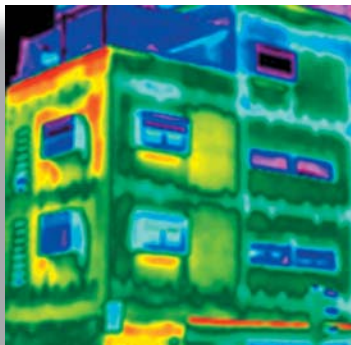
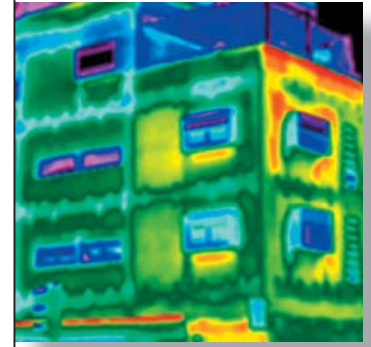


Figura 1. Funcionamiento de una cámara infrarroja. Fuente: FLIR Systems.

Si se está pensando en adquirir una cámara infrarroja, se deben saber antes algunas cosas que se resumen a continuación:

12 COSAS QUE SE DEBERÍAN SABER ANTES DE COMPRAR UNA CÁMARA TERMOGRÁFICA

1. Que ofrezca resultados precisos y exactos, además de reproducibles.
2. Con detector de alta resolución (intercambiable por otros) y calidad de imagen.
3. Que uno mismo pueda reemplazar la batería gastada por una nueva.
4. Que entregue imágenes en formato estándar JPEG radiométrico.
5. Ergonómica para un uso prolongado o frecuente.
6. Que incorpore una cámara visual con un iluminador de objetivo integrado.
7. Con puntero láser integrado.
8. Con servicio de actualización de software.
9. Con adecuada capacidad de fusión de imágenes.
10. Con un amplio rango de temperaturas.



- 11. Que pueda ser actualizada.
- 12. Que sea de un fabricante con servicio post-venta, soporte técnico y formación certificada.

Sobre cada punto podríamos extendernos un poco más, pero no es el objeto de esta guía, si bien, debe quedar claro que la compra del equipo es uno de los pasos más importantes que debe de dar el futuro termógrafo. Se debe tratar de no excederse en adquirir una cámara con tantas prestaciones que nunca se vayan a utilizar o aprovechar, ni que se quede corto con una cámara que no cumpla posteriormente las expectativas.

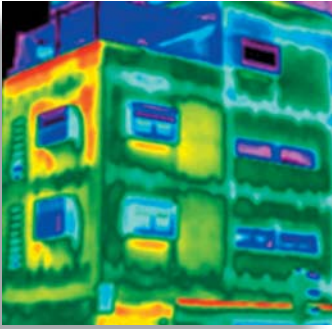
Con frecuencia, acuden al centro de formación futuros termógrafos que, tras el primer día de clase, se dan cuenta de que la cámara que tienen no es la adecuada para el trabajo que van a desempeñar.



Figura 2. Cámara de alta definición, ergonómica y con múltiples prestaciones. Fuente: FLIR Systems.

CALIBRAR UNA CÁMARA TERMOGRÁFICA

Cuando se adquiere una cámara termográfica, ésta se entrega perfectamente calibrada y preparada para la inspección. De no ser así, se deberá devolver al fabricante para su reparación, siempre en garantía.



Guía de termografía infrarroja

Se debe exigir el **Certificado de Calibración** de la cámara, con su modelo de cámara, número de serie y fecha de calibración. Es recomendable escanearlo o tenerlo bien guardado y localizable pues es habitual que para algunas inspecciones el cliente lo exija.

Es recomendable calibrar la cámara una vez al año si su uso es muy habitual. Este proceso se realiza en laboratorios acreditados, en condiciones controladas de temperatura y humedad y con lo que se llaman, simuladores de cuerpo negro.

Cada cámara tiene en su electrónica una curva en la que se relaciona la radiación recibida con una temperatura dada. Si esta curva se desajusta, es necesario reparar el equipo.

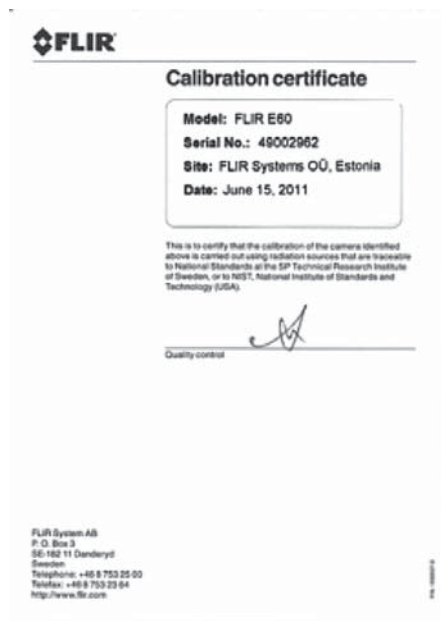
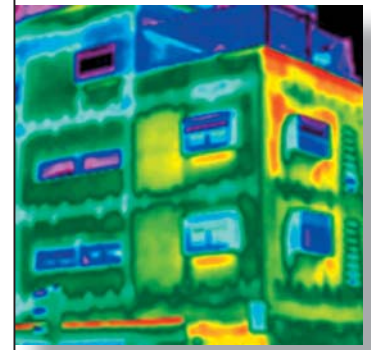


Figura 3. Ejemplo de certificado de calibración. Fuente: FLIR Systems.

SOFTWARE DE TRATAMIENTO DE IMÁGENES TÉRMICAS

El termógrafo no se encuentra solo, con sus conocimientos y su cámara térmica. Generalmente al adquirir la cámara térmica, el fabricante proporcionará un software de tipo básico. Este software en muchos casos será suficiente para trabajar con las imágenes térmicas y descubrir más información de la que se pensaba que tenía la termografía cuando se toma en el lugar de la inspección. Además permitirá poder



enfatar y subrayar el problema para que el cliente tome más conciencia de él, por ejemplo.

Además del software que viene con la cámara, muchos fabricantes desarrollan otros más complejos y con mayores y más potentes herramientas de diagnóstico para el termógrafo y no es raro que con el tiempo, el usuario de la cámara adquiera otro que le permita hacer trabajos cada vez más complejos.

Todos permitirán generar un informe tipo, con los datos de la imagen, el logo de la empresa, etc. Pero también se puede optar por simplemente copiar la imagen (una vez exprimida la información al máximo), pegarla en el informe tipo y escribir las conclusiones que se consideren oportunas.

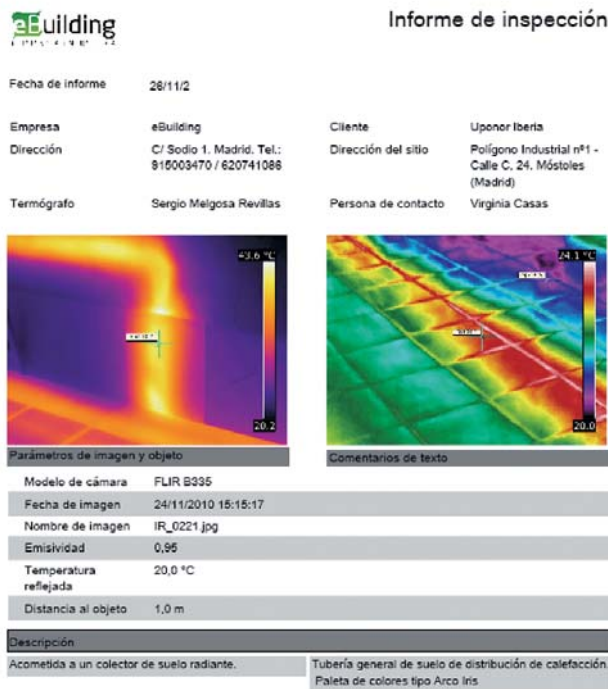


Figura 4. Ejemplo de informe realizado con un programa. Fuente eBuilding.

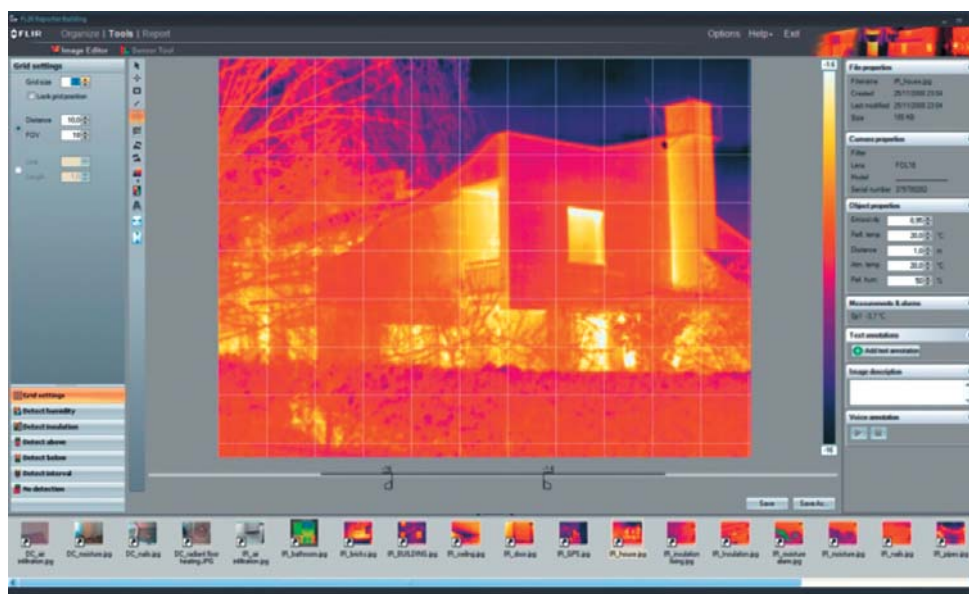
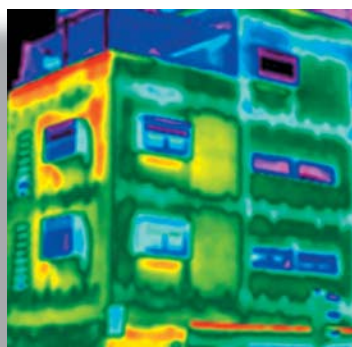


Figura 5. Ejemplo de software específico para edificación. Fuente: FLIR Systems y eBuilding.

ALGUNAS DEFINICIONES SOBRE LAS HERRAMIENTAS DE LA CÁMARA. RANGO DE TEMPERATURA, NIVEL Y CAMPO

La cámara nada más encenderla ofrece ya datos relacionados con la imagen que muestra, por tanto conviene definir algunos conceptos iniciales.

El rango, el primer ajuste, fijará las temperaturas máxima y mínima a partir de las cuales se puede medir con la cámara.

¿Por qué hay diferentes rangos de temperatura? Bien, se trata de evitar que la cámara reciba más radiación de la necesaria (y que no aporta información) evitando así que el detector de la cámara se sature. Si el objeto de estudio está a una temperatura por encima del rango elegido, la imagen saturada no servirá de nada. Hoy en día el rango se controla en las funciones del menú de la cámara y no todas las cámaras tienen varios rangos, más bien al contrario.

La importancia del rango radica en que no se podrá variar una vez tomada la imagen térmica, de manera que si se selecciona un rango

La cámara termográfica

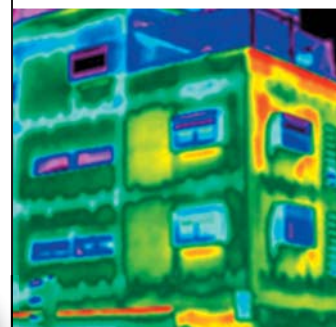
bajo, por ejemplo en edificación se suele usar de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$, entonces el objeto de medida debe tener una temperatura comprendida en ese intervalo, si no se quemaría la imagen y se perdería.

El campo será el intervalo de temperaturas que se ven durante la inspección. También se denomina contraste térmico y la cámara lo ajusta automáticamente.

Se puede hacer el campo más ancho o más estrecho, tanto en la cámara, *in situ*, como en el trabajo de oficina. Si se fija el campo entre $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ y se observa una fachada desde la calle, a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ de temperatura ambiente, no se distinguirá nada ya que la cámara mostrará colores negros, los de debajo del campo fijado.

Si no se fija el campo, la cámara automáticamente lo fijará entre la temperatura más alta y más baja que se está viendo. Esto que a priori parece una ventaja, en determinadas aplicaciones puede camuflar lo que se está buscando.

El nivel es el punto medio del campo y si éste varía, también lo hace el nivel.



La Fig. 6 muestra estos aspectos en detalle.

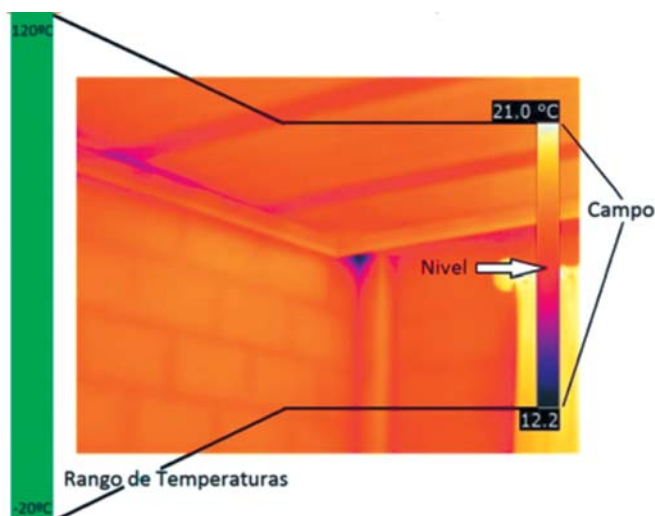
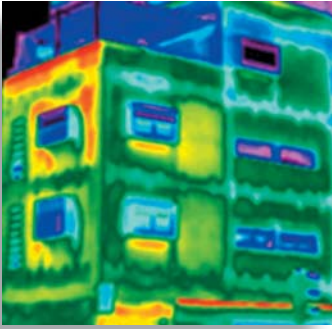


Figura 6. Rango, campo y nivel.



Guía de termografía infrarroja

Además de estos parámetros, las cámaras térmicas suelen tener otras funciones útiles para el termógrafo, estas son:

- El puntero de medida: marca una zona concreta de la imagen. En función de la cámara, éste podrá ser fijo o móvil e incluso se podrán colocar varios puntos de medida.
- El punto frío y punto caliente: mostrará en la imagen, en tiempo real, el punto más frío y el punto más caliente que se está viendo.
- El área de medida: se podrá trazar un área en la imagen y ver el punto más frío y más caliente de esa área y la temperatura media.
- La isoterma: de gran utilidad para resaltar partes de la imagen con la misma temperatura, asignándoles un mismo color.
- Distintas alarmas que se pueden crear y definir para que avise de una ausencia de aislamiento o detecte humedades.
- La fusión térmica y función de imagen en imagen: con estas herramientas se pueden fusionar las imágenes digital y térmica en una o localizar las áreas de interés.
- El video: útil para evaluar en continuo un objeto.

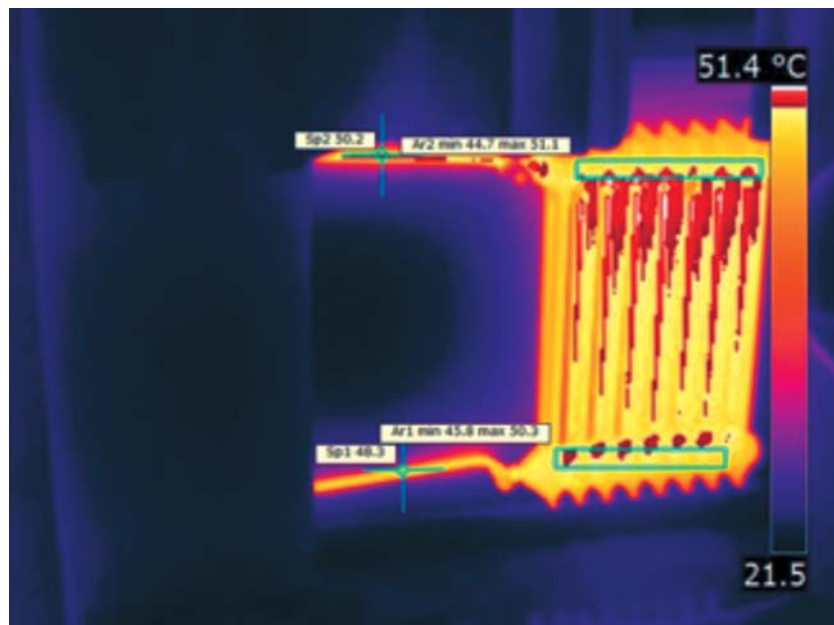


Figura 7. Imagen infrarroja con puntos fijos, áreas y una isoterma.

En la imagen de la Fig. 7, se han marcado unos puntos fijos, áreas y una isoterma (se ve en la escala de temperatura).

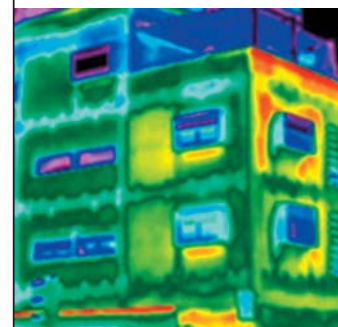
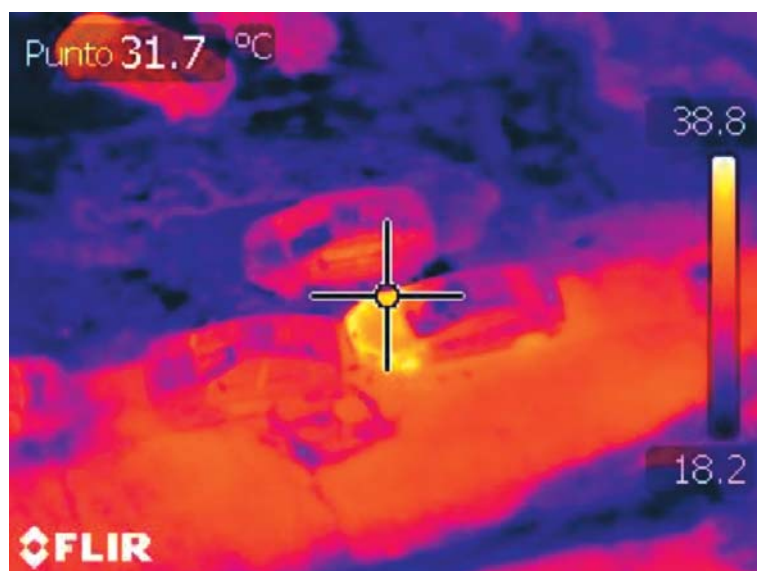


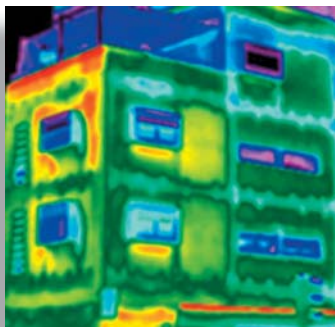
Figura 8. Imagen infrarroja del motor de un coche. Fuente: FLIR FLIR Systems.

En la imagen de la Fig. 8, se ve la temperatura del motor de un coche, a 31,7 °C. Sin embargo la escala de temperaturas dice que la zona más caliente está a 38,8 °C y por el color se ve que se encuentra también en el motor. ¿Qué ocurre? Pues que el puntero no está centrado en el motor y ha cogido parte de la carretera y como hace una media con las temperaturas, la ha bajado. Se debe tener cuidado con esto.

IMPORTANCIA DE LA SENSIBILIDAD (RESOLUCIÓN)

La resolución visual afecta a la claridad con que se pueden ver los componentes o equipos bajo estudio. En ocasiones, cuando se diagnostica un problema, se debe distinguir la fuente real del problema, entre dos o más posibles fuentes, localizadas una cerca de la otra. Cuanto más claro se pueda ver cada componente individual, más claramente se podrá distinguir la fuente del problema.

Esto en termografía dependerá de varios factores, del diseño del detector, del número de píxeles que es capaz de generar la imagen y de la calidad de la óptica utilizada.



Guía de termografía infrarroja

Veamos un ejemplo:

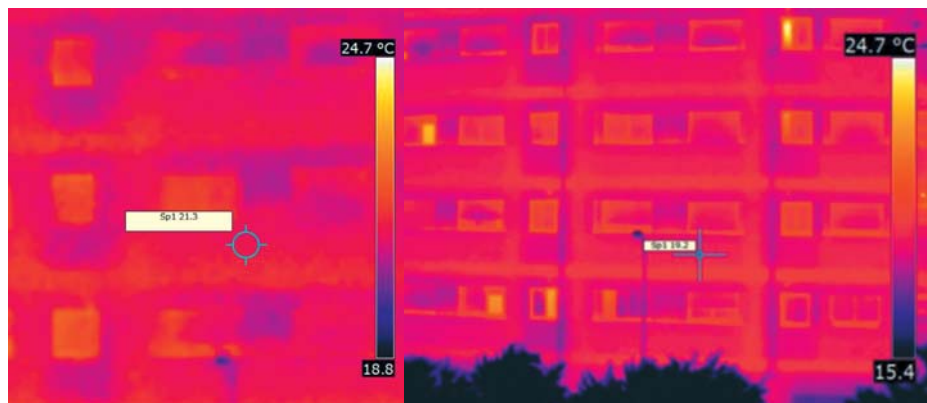


Figura 9. Imágenes infrarrojas de una fachada.

La imagen de la Fig. 9 se ha tomado con dos cámaras del mismo fabricante, corresponden a la misma fachada y se han tomado una después de la otra desde el mismo punto.

La primera tiene una resolución de 60x60 (3.600 píxeles) y la segunda de 360x240 (86.400 píxeles). Existen también en el mercado cámaras de 640x480, es decir, 307.200 píxeles, lejos aún de las cámaras modernas digitales de luz visible que sobrepasan ya los 5 Megapíxeles. Además, al observar el medidor puntual, en la primera marca 21,3 °C en la fachada, la segunda 19,2 °C, una diferencia de 2,1 °C no es despreciable en edificación.

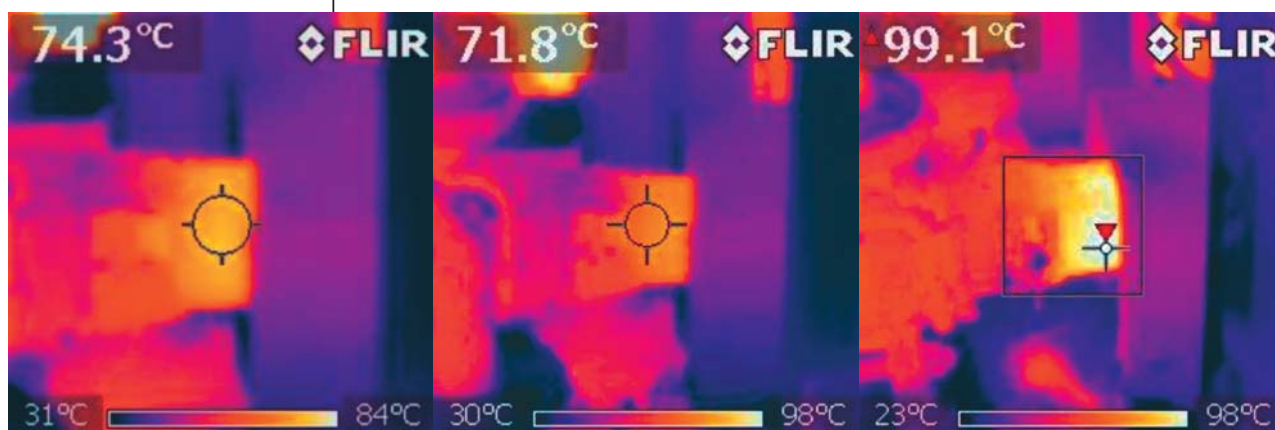
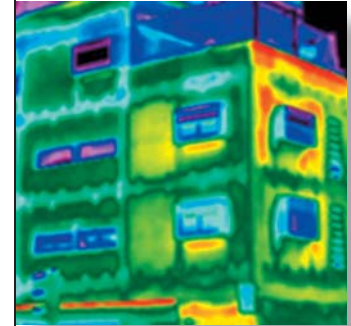


Figura 10. Imágenes infrarrojas de un mismo momento y posición pero tomadas con tres cámaras diferentes. Fuente: FLIR Systems.

La cámara termográfica

Las tres imágenes de la Fig. 10 han sido también tomadas en el mismo momento y desde la misma posición, pero con tres cámaras diferentes, con las resoluciones y características siguientes:

Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
60x60 pixels (3.600 píxeles)	80x80 píxeles (x 1,77 píxeles más)	120x120 píxeles (x 4 píxeles más)
HFOV x VFOV: 12,5° x 12,5°	HFOV x VFOV: 17° x 17°	HFOV x VFOV: 25° x 25°
IFOV: 3,7 mrad	IFOV: 3,7 mrad	IFOV: 3,7 mrad
NETD: < 0,15 °C	NETD: 0,10 °C	NETD: 0,10 °C

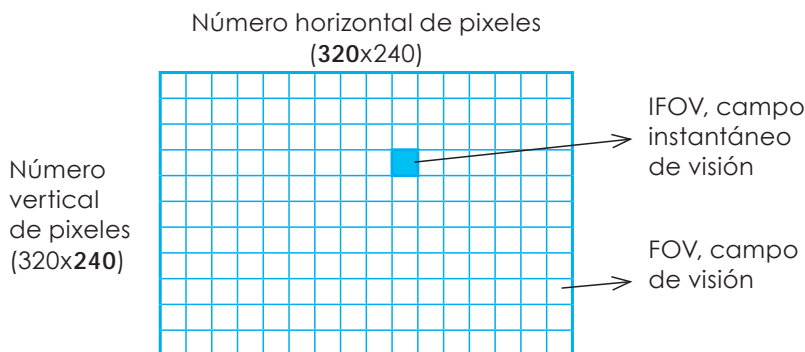


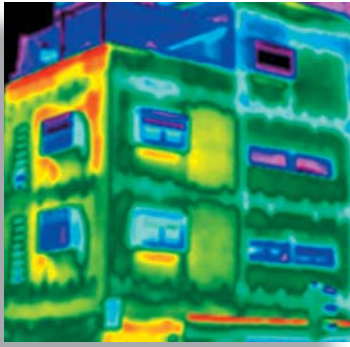
En el mercado existe una amplia gama de resoluciones, cumpliéndose siempre o casi siempre que, a mayor resolución, mayor coste de la cámara. Es importante saber seleccionar bien esta característica para no hacer un gasto inútil, bien por exceso o por defecto.

A continuación se va a ver cómo afecta esto a la imagen térmica y se van a definir algunos conceptos que se han oído últimamente mucho, los píxeles, el FOV y el IFOV:

- Pixel: del inglés, *picture element*, es la menor unidad homogénea en color que forma parte de una imagen digital, ya sea esta una fotografía, un fotograma de vídeo o un gráfico. En termografía, será la menor unidad que pueda detectar energía infrarroja.
- FOV: del inglés, *Field Of View* (campo de visión). Ángulo horizontal visible a través de una lente de infrarrojos.
- IFOV: del inglés, *Instantaneous Field Of View* (campo de visión instantáneo). Medida de la resolución geométrica de una cámara de infrarrojos.

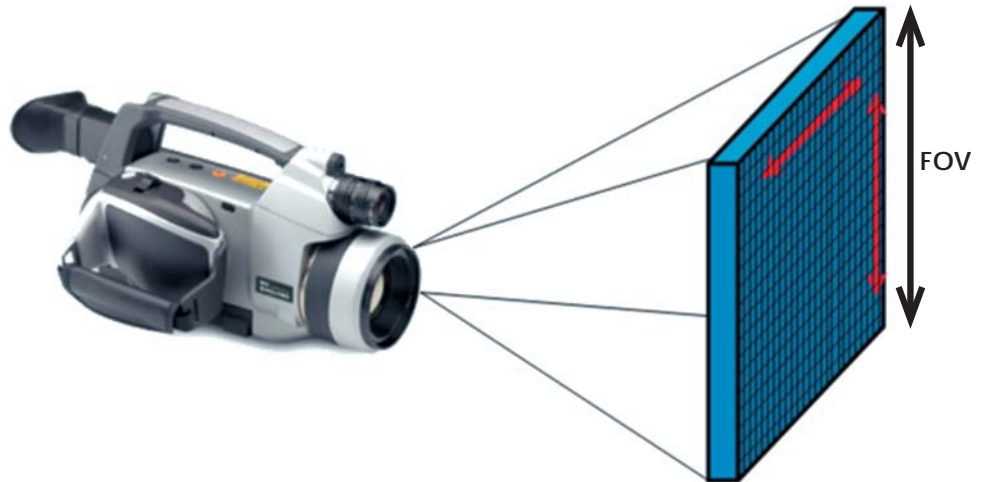
De un modo gráfico sería lo siguiente:





Guía de termografía infrarroja

El FOV, expresado de otra forma sería así (Fuente: Flir Systems):



El IFOV 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, el «pitch».

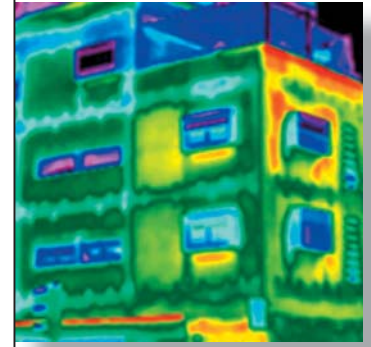
Así, si el IFOV es grande, pero el cuerpo que se mide es muy pequeño, puede que no se genere una señal lo suficientemente fuerte al incidir la radiación sobre el detector y no se vea el cuerpo. Esto también dependerá de la temperatura del cuerpo, si su temperatura es muy elevada, puede que sí genere esa señal.

Tras desarrollar bastante este capítulo y saber bastante sobre la cámara y sus capacidades, ¿se sabe cómo tomar una imagen? No se sabe aún, pues aunque se sabe tomar fotos con cámaras fotográficas o incluso con los teléfonos, esto no tiene nada que ver, esto es una profesión y se debe olvidar lo que se sepa sobre fotografía en el visual y aprender a tomar imágenes en el infrarrojo.

CÓMO TOMAR UNA IMAGEN TÉRMICA

Capturar la imagen, guardarla en la tarjeta de memoria de la cámara y posteriormente usarla para trabajar en el informe termográfico es el proceso habitual de trabajo del termógrafo.

Lógicamente sin capturar la imagen no hay nada que hacer. Se podrá ver el problema, solucionarlo o no, avisar, pero no habrá constancia de ello. Si se toma la imagen pero no se guarda o no se en-



cuentra la carpeta donde está, se tiene el mismo problema. Y por último, si no nos paramos a pensar, delante del ordenador y con el software de análisis de las imágenes térmicas, es probable que se pase por alto algún detalle que pueda ser de vital importancia para el informe.

Existen **CUATRO grandes reglas** para capturar una imagen, no se deben olvidar pues nunca se podrá modificar una imagen si se ha cometido un error en alguno de estos tres puntos:

- **Encuadre** de la imagen: en el fondo se es casi fotógrafo, pero no creativo, es decir, si se quiere medir un objeto, lo presentaremos bien visible y en la posición que dé más información. ¡Acercándose todo lo que se pueda!, manteniendo una distancia segura.
- **Enfoque**: una imagen desenfocada dará medias erróneas y además, hablará muy mal del termógrafo. Por supuesto se debe tratar de mantener la pantalla en todo momento limpia.
- **Ajuste del rango** de temperatura: se debe fijar el rango de medida que incluya lo que se pretende medir. Si se fija un rango muy ancho, se tendrá menos precisión en la medida. Es como si se quieren medir milivoltios fijando el rango en kilovoltios.
- Cuidado con las **condiciones** meteorológicas: la temperatura exterior, cambiante, y la hora a la que se realiza la inspección termográfica pueden hacer que ésta y sus resultados varíen de un día a otro, por lo que elegir el momento adecuado para hacer el trabajo es un factor a tener en cuenta. Obviamente esto no tiene sentido si la inspección es interior y el ambiente no afecta.

Si se olvida alguno de estos puntos, tocará volver al lugar de la inspección a realizar de nuevo el trabajo, con todo lo que ello conlleva de sobrecosto para el informe.

Veamos el siguiente ejemplo:

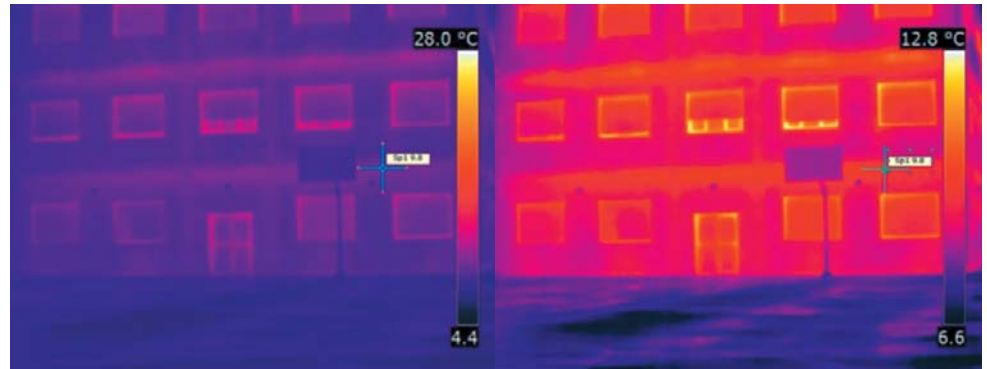
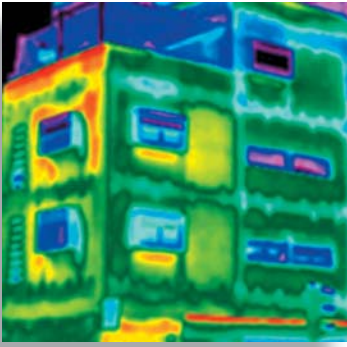


Figura 11. Una misma imagen infrarroja, con el mismo rango pero con distinto campo.

Las imágenes de la Fig. 11 son la misma imagen, con el mismo rango pero distinto campo. ¿Qué imagen se presentaría en un informe? En la segunda se ha reducido el campo y se aprecian con más claridad la estructura de los forjados. También se ven las pequeñas balsas de agua que se forman en el suelo como consecuencia de un mal montaje, siendo imperceptibles en la otra.

Otro aspecto importante tiene que ver con la ergonomía. Hay que tener en cuenta que se puede estar tomando imágenes termográficas durante horas, o viendo un proceso de trabajo o fabricación, etc. Saber coger la cámara es importante, elegir una cámara que sea cómoda para la aplicación que se tenga será importante, incluso se llegará a usar un trípode para determinadas prácticas.

Por último, si se está trabajando con la cámara frente al objetivo, será útil mantener la pantalla despejada de menús. El termógrafo poco experimentado suele llenar la pantalla de información poco útil para la inspección, mostrando datos de emisividad, con el punto frío y punto caliente activos (lo cual va variando a medida que se mueve la cámara), etc. Interesa ver el objeto en infrarrojos, nada más, la capacidad de interpretación de lo que se ve es la herramienta más útil que se posee.

La ergonomía en el manejo de la cámara es un aspecto a tener en cuenta (Fig. 12).

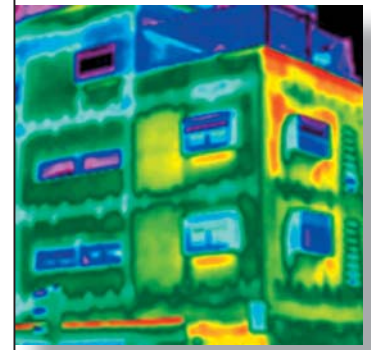
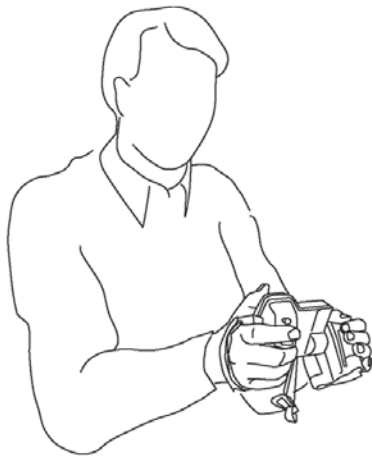


Figura 12. Ergonomía. Fuente: Flir Systems.

La accesibilidad de los distintos botones es también un aspecto importante para poder trabajar de manera cómoda y rápida. A veces se tendrá la otra mano ocupada (Fig. 13).



Figura 13. Accesibilidad. Fuente: Flir Systems.

En muchos modelos se pueden hacer anotaciones sobre la imagen con un puntero (Fig. 14), por ejemplo de información sobre la imagen tomada y que será de utilidad a la hora de hacer el informe. Si se inspeccionan objetos iguales (ventanas) se han de diferenciar antes de ir a la mesa de trabajo.

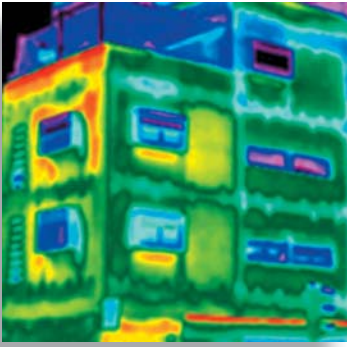


Figura 14. Anotaciones con puntero. Fuente: Flir Systems.

Incluso hay cámaras que permiten enviar las imágenes al iPhone o tableta, trabajar como si se estuviera en el ordenador de la oficina y generar informes de manera inmediata o tomar decisiones importantes en el momento (Fig. 15).

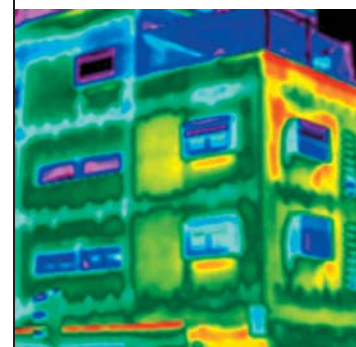


Figura 15. Envío de datos a otros dispositivos. Fuente: Flir Systems.

Por bluetooth se pueden obtener los datos de la temperatura exterior y la humedad relativa en la cámara, completando así la información sobre el objeto que se inspecciona (Fig. 16).



Figura 16. Datos de temperatura y humedad relativa. Fuente: Flir Systems.



5 ASPECTOS SOBRE EL CALOR Y LA TEMPERATURA

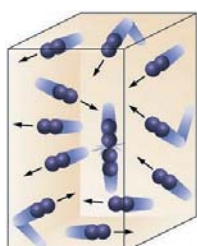
El calor y la temperatura son conceptos que conviene tener claros, a pesar de que se ha oído hablar de ellos desde que se tiene uso de razón. Es evidente que existe una clara relación entre ellos pero son conceptos diferentes.

No se hablará de **Termodinámica** (ciencia que estudia cómo la energía térmica, el calor, se mueve, se transforma y afecta a la materia), pero se recomienda profundizar en este tema.

Calor: es la transferencia de energía entre diferentes cuerpos o diferentes zonas de un mismo cuerpo que se encuentran a distintas temperaturas. Este flujo siempre ocurre desde el cuerpo de mayor temperatura hacia el cuerpo de menor temperatura, ocurriendo la transferencia de calor hasta que ambos cuerpos se encuentren en equilibrio térmico.

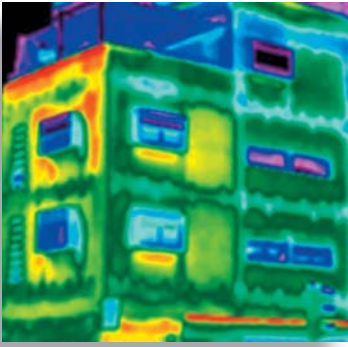
Así, la cantidad de energía calorífica de un objeto se relaciona con la energía cinética total de las moléculas que componen ese objeto, esto es el movimiento de las moléculas del objeto.

La energía es la capacidad de realizar un trabajo y se puede manifestar de varias formas.



Las moléculas de un determinado objeto están siempre en movimiento, en mayor o menor medida, las más calientes se moverán más rápidamente, chocando unas con otras, mientras que las más frías lo harán más despacio.

Una temperatura dada corresponde a un determinado nivel de movimiento de sus moléculas, pero siempre para un mismo objeto



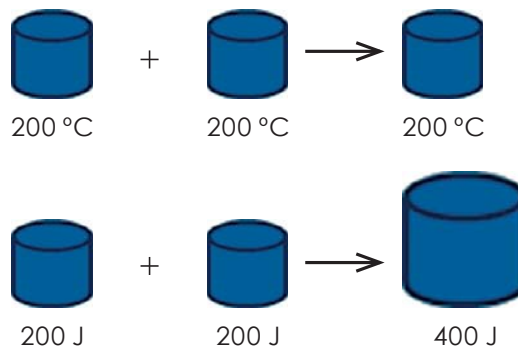
Guía de termografía infrarroja

ya que los cuerpos se comportan de manera particular frente al calor.

El calor se genera por transformación de la energía, bien de un proceso de combustión, por movimiento, rozamiento, etc. Ese calor se mide en Julios (J), al igual que la energía y el trabajo.

Veamos la relación de calor y temperatura mediante un sencillo ejemplo:

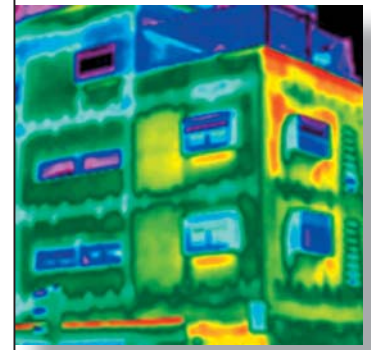
Si se cogen dos objetos, cada uno a una temperatura de $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ y con 200 J de energía, y se ponen en contacto, ¿qué temperatura tendrá el conjunto?, ¿cuál será la variación? Se verá que la temperatura NO será dos veces mayor, es decir, $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, pero sí su energía, tendrán el doble después de juntarse, es decir, 400 J (Fuente: ITC).



Así, de la temperatura se puede decir que es una medida relativa que permite comparar unos cuerpos con otros, sin embargo el calor es una magnitud cuantificable y medible.

A su vez, los cuerpos tendrán una **capacidad térmica** determinada, es decir, una capacidad para absorber o almacenar calor. Esta propiedad es muy útil, pues el termógrafo puede localizar el nivel de un líquido contenido en un tanque opaco gracias a la distinta capacidad térmica del agua y del aire.

Temperatura: es una magnitud a un sistema termodinámico y referida a la energía interna asociada a las partículas del sistema y su movimiento. Se mide en Kelvin (K) o en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$).



Este parámetro ayuda a definir el estado en que se encuentra un objeto. La energía es una medida absoluta, la temperatura es relativa, dice cómo se encuentra un objeto en relación a otro y es la consecuencia de la energía que posee el objeto. Además dirá la facilidad que tendrá el objeto para ceder ese calor a otros objetos.

Existen varias escalas de temperatura, divididas en dos grupos, las absolutas (Kelvin) y las relativas (Celsius, Fahrenheit). Pasar de una a otra es sencillo (Fig. 1).

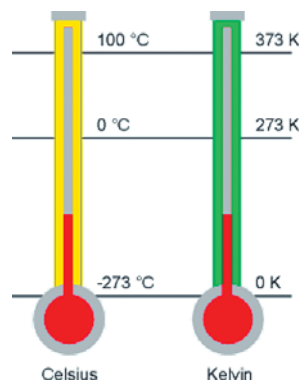
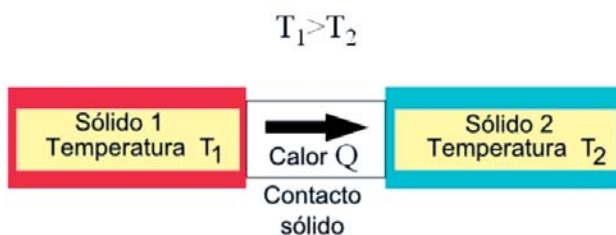


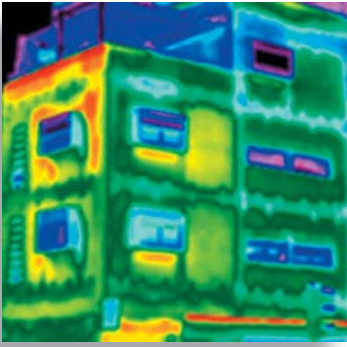
Figura 1. Escalas de temperatura.

Conviene recordar en esta guía, aunque sea de manera genérica, dos importantes **Leyes de la Termodinámica** relacionadas con el comportamiento del calor.

- **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.

La diferencia de calor es lo que produce el flujo de calor.





5.1. TRANSMISIÓN DE CALOR. MÉTODOS

Ya sabemos que el calor se transfiere entre los objetos con distinta temperatura, pero... ¿cómo se transfiere dicho calor? Hay tres maneras, que se pueden ver en la Fig. 2:

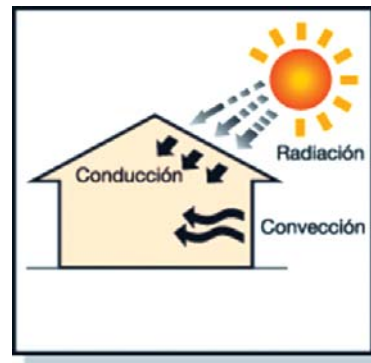


Figura 2. Transmisión de calor.

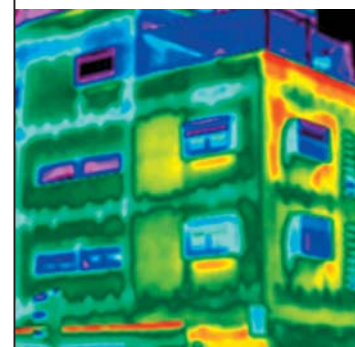
A continuación se definen y se explican una a una:

- **Conducción** de calor: 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.
- **Convección** de calor: se produce por medio de un fluido (aire, agua) que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas.
- **Radiación** de calor: es la transmisión de calor por emisión y absorción de radiación térmica.

Cada uno de estos tres métodos puede describirse como estable o inestable. Durante una transferencia en estado estable, será constante la velocidad de la transferencia de calor y no cambiará de sentido, ya podéis imaginar que no existe tal flujo de calor estable ideal, en la práctica los flujos son inestables y presentan ciertas fluctuaciones.

5.2. CONDICIONES ESTACIONARIAS Y TRANSITORIAS

La transmisión de calor siempre va a depender de estas dos situaciones típicas y en la fórmula 1 se ve que realmente sólo vale para condiciones estacionarias, que son poco frecuentes, aunque siempre se



pueden suponer condiciones estacionarias para un instante concreto de nuestro estudio. Las condiciones estacionarias se dan cuando hay condiciones estables, sin cambio de temperatura y con un flujo de calor constante, es decir, las potencias de calor y enfriamiento son iguales (lo que entra es igual a lo que sale).

Por el contrario, un proceso transitorio es aquel en el que existen cambios de temperatura y de flujo de calor, lo que se asemeja mucho más a nuestro trabajo diario y nuestros objetos de estudio, los edificios.

5.3. CONDUCCIÓN

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 transmitirá parte de esa energía a las moléculas que se mueven más despacio por choques entre ellas.

La conducción tiene lugar en sólidos y los fluidos (líquidos y gaseosos), aunque es muy característico de los sólidos.

Para **determinar el calor transmitido por conducción**, se necesita conocer qué factores intervienen y cómo afectan, es decir:

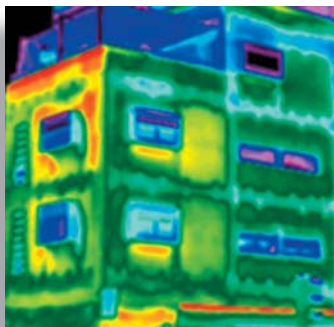
$$P \text{ (W)} = \frac{k \cdot A (T1 - T2)}{L}$$

O lo que es lo mismo, el valor del flujo de calor (en condiciones estacionarias) es directamente proporcional a la conductividad térmica del objeto, a la sección transversal a través de la que fluye el calor, y a la diferencia de temperatura entre los puntos del cuerpo bajo estudio.

Es también inversamente proporcional a la longitud, o distancia entre ambos puntos.

La transmisión de calor por conducción se ve afectada por 4 factores:

- **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.



Guía de termografía infrarroja

Para obtener la energía (trabajo) basta con multiplicar por el factor tiempo.

¿Qué es la **conductividad térmica k**? 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. Las unidades de conductividad térmica en el Sistema Internacional son $W/(m \cdot K)$, aunque también se expresa como $kcal/(h \cdot m \cdot ^\circ C)$, siendo la equivalencia: $1 W/(m \cdot K) = 0,86 kcal/(h \cdot m \cdot ^\circ C)$.

A mayor conductividad, mayor facilidad para conducir el calor. Así, se puede hablar de materiales conductores (metales por ejemplo) y de materiales aislantes (espumas por ejemplo).

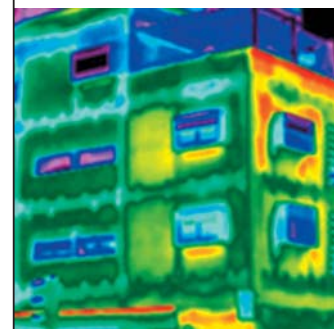
La **resistencia térmica** será la inversa a la conductividad ($1/k$). Un buen material aislante tendrá una baja conductividad térmica y por tanto, una elevada resistencia térmica.

La tabla 1 muestra algunos valores de k para diferentes materiales.

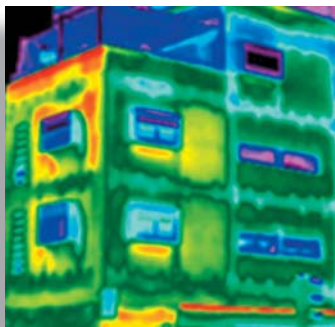
Tabla 1. Propiedades térmicas de materiales de construcción y aislantes.

MATERIAL	DENSIDAD (kg/m^3)	CALOR ESPECÍFICO ($J/(kg \cdot K)$)	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA ($W/(m \cdot K)$)	DIFUSIVIDAD TÉRMICA (m^2/s) ($\times 10^{-6}$)
Acero	7.850	460	47-58	13,01-16,06
Agua	1.000	4.186	0,58	0,139
Aire	1,2	1.000	0,026	21,67
Aluminio	2.700	909	209-232	85,16-94,53
Amianto	383-400	816	0,078-0,113	0,250-0,346
Arcilla refractaria	2.000	879	0,46	0,261
Arena húmeda	1.640	—	1,13	—
Arena seca	1.400	795	0,33-0,58	0,296-0,521
Asfalto	2.120	1.700	0,74-0,76	0,205-0,211
Baldosas cerámicas	1.750	—	0,81	—
Bloques cerámicos	730	—	0,37	—
Bronce	8.000	360	116-186	40,28-64,58

Aspectos sobre el calor y la temperatura



MATERIAL	DENSIDAD (kg/m ³)	CALOR ESPECÍFICO (J/(kg·K))	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (W/(m·K))	DIFUSIVIDAD TÉRMICA (m ² /s) (x10 ⁻⁶)
Carbón (antracita)	1.370	1.260	0,238	0,139
Cartón	—	—	0,14-0,35	—
Cemento (duro)	—	—	1,047	—
Cinc	7.140	389	106-140	38,16-50,41
Cobre	8.900	389	372-385	107,45-111,20
Corcho (expandido)	120	—	0,036	—
Corcho (tableros)	120	1.880	0,042	0,186
Espuma poliuretano	40	1.674	0,029	0,433
Espuma de vidrio	100	—	0,047	—
Estaño	7.400	251	64	34,46
Fibra de vidrio	220	795	0,035	0,200
Goma dura	1.150	2.009	0,163	0,070
Goma esponjosa	224	—	0,055	—
Granito	2.750	837	3	1,303
Hierro	7.870	473	72	19,34
Hormigón	2.200	837	1,4	0,761
Ladrillo común	1.800	840	0,8	0,529
Ladrillo mampostería	1.700	837	0,658	0,462
Lana de vidrio	100-200	670	0,036-0,040	0,537-0,299
Latón	8.550	394	81-116	24,04-34,43
Madera	840	1.381	0,13	0,112
Madera de arce	750	1.591	0,349	0,292
Madera de chopo	650	1.340	0,152	0,175
Madera de pino	650	1.298	0,163	0,193
Madera de roble	850	2.386	0,209	0,103
Mármol	2.400	879	2,09	0,991
Mortero cal / cemento	1.900	—	0,7	—



Guía de termografía infrarroja

MATERIAL	DENSIDAD (kg/m ³)	CALOR ESPECÍFICO (J/(kg·K))	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (W/(m·K))	DIFUSIVIDAD TÉRMICA (m ² /s) (x10 ⁻⁶)
Mortero de cemento	2.100	—	1,4	—
Mortero de yeso	1.000	—	0,76	—
Níquel	8.800	460	52,3	12,92
Oro	19.330	130	308,2	122,65
Pizarra	2.650	758	0,42	0,209
Placas de yeso	600-1200	—	0,29-0,58	—
Plata	10.500	234	418	170,13
Plomo	11.340	130	35	23,74
Poliestireno	1.050	1.200	0,157	0,125
Porcelana	2.350	921	0,81	0,374
Tejas cerámicas	1.650	—	0,76	—
Vidrio	2.700	833	0,81	0,360
Yeso	1.800	837	0,81	0,538

Donde:

- **Densidad (ρ):** masa de material por unidad de volumen: $\rho = m / V$ (kg/m³).
- **Calor específico (C):** cantidad de energía necesaria para aumentar en 1 °C la temperatura de 1 kg de material. Indica la mayor o menor dificultad que presenta una sustancia para experimentar cambios de temperatura bajo el suministro de calor. Los materiales que presenten un elevado calor específico serán buenos aislantes. Sus unidades del Sistema Internacional son J/(kg·K), aunque también se suele presentar como kcal/(kg·°C); siendo 1 cal = 4,184 J. Por otra parte, el producto de la densidad de un material por su calor específico ($\rho \cdot C$) caracteriza la inercia térmica de esa sustancia, siendo esta la capacidad de almacenamiento de energía.
- **Conductividad térmica (k):** capacidad de un material para transferir calor. 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. Las unidades de conductividad térmica en el Sistema Internacional son W/(m·K), aunque

también se expresa como kcal/(h·m·°C), siendo la equivalencia: 1 W/(m·K) = 0,86 kcal/(h·m·°C).

- **Difusividad térmica (α):** caracteriza la rapidez con la que varía la temperatura del material ante una solicitud térmica, por ejemplo, ante una variación brusca de temperatura en la superficie. Se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$\alpha = k / (\rho \cdot C), \text{ (m}^2\text{/s)}$$

Se puede ver que existen grandes diferencias entre unos materiales y otros, siendo algunos hasta 70.000 veces mejores conductores que otros. Esto provocará grandes contrastes en las termografías, por fortuna. Veamos algunos ejemplos:

- Conductividad de dos materiales:



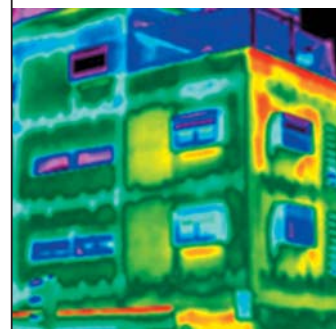
$$P \text{ (W)} = \frac{k \cdot A (T_1 - T_2)}{L}$$

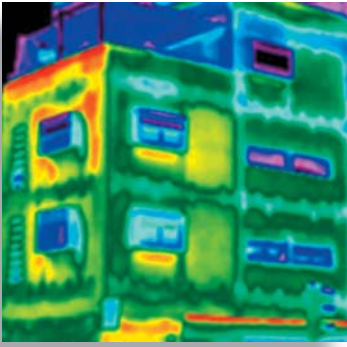
Figura 3. Imagen infrarroja del interior de un local de cemento y ladrillos calefactado a 21 °C.

El termograma de la Fig. 3 está tomado desde el interior de un local calefactado a 21 °C. Se pueden apreciar los ladrillos ($k = 0,8 \text{ W/mK}$) y el cemento ($k = 1.047 \text{ W/mK}$) que los une. La temperatura exterior es de unos 6 °C.

L y A son constantes, ya que el espesor de la pared es o debería ser constante, y el área que se mida también. Así, el único factor que modifica el calor transmitido va a ser la propia conductividad de los materiales, mayor para el cemento, de ahí que aparezca con los colores de la escala azules, más fríos. El ladrillo, tanto por el material como por sus huecos de aire, aísla más el local.

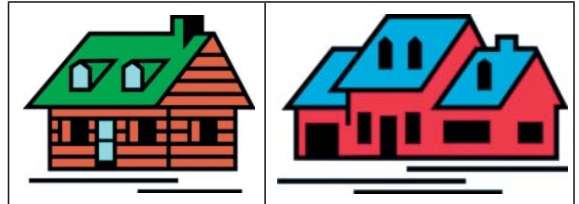
En igualdad de condiciones, ¿qué casa tendrá más fugas de calor, una más grande o una más pequeña? (ver tabla 2).





Guía de termografía infrarroja

Tabla 2. Cálculo de las pérdidas de calor de una casa grande y otra pequeña.



Diferencia de Temperatura, $T_1 - T_2$ (K)	293 K - 263 K = 30 K	
Espesor de pared: longitud de trayectoria de conducción, L (m)	0,2 m	0,2 m
Conductividad, k (W/mK)	0,05 W/mK	0,05 W/mK
Superficie de paredes, A (m ²)	120 m ²	480 m ²
Cálculo: $P = k \cdot A (T_1 - T_2) / L$	$0,05 \cdot 120 \cdot 30 / 0,2$	$0,05 \cdot 480 \cdot 30 / 0,2$
Fugas de calor, P (W)	900 W	3.600 W

La casa más grande, como era de esperar, tiene 4 veces más pérdidas de calor que la pequeña.

5.4. CONVECCIÓN

Se trata de un modo de transmisión de calor basado en el transporte mediante corrientes de masa circulantes dentro de un fluido (líquido o gas). La convección tiene lugar dentro del fluido, ya que la transmisión de calor que tiene lugar entre el fluido y la superficie que lo contiene, o en la superficie de fluidos que no se mezclan, corresponde a la conducción (o también puede deberse a radiación). En la zona cercana al sólido existe una fina capa de fluido estacionario (capa límite) donde la transmisión de calor dentro del fluido tiene lugar exclusivamente por conducción.

A pesar de que el termógrafo casi siempre estudie sólidos, éstos se ven muy afectados por la convección.

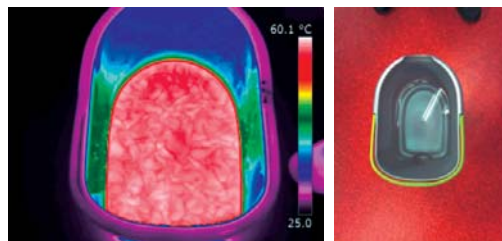


Figura 4. Imágenes de un cubo de agua.

En el ejemplo de la Fig. 4 se pueden apreciar las corrientes de convección del agua caliente mezclada con la fría. En las zonas donde el fluido está más caliente, las moléculas están más alejadas entre sí debido al mayor movimiento molecular. Al estar más alejadas entre sí, el volumen del líquido más caliente tiene menor densidad. En las zonas donde el fluido está más frío, la densidad es mayor. Así, estas diferencias de densidad provocan diferencias en la magnitud de la fuerza de la gravedad y las partes más frías se ven más afectadas por la fuerza de la gravedad, al contrario de las calientes, por tanto las zonas más frías tenderán a hundirse y las más calientes a elevarse.

Esto da lugar a una circulación del fluido, transfiriendo calor de un sitio a otro. La expresión de «el calor sube» vemos que es errónea, los fluidos calientes se elevan, pero el calor va de la zona más caliente a la zona más fría. Esto se llama convección natural, ya que es la fuerza de la gravedad la que provoca el movimiento en el fluido. La convección forzada es la provocada por ejemplo por la actuación de un ventilador o una bomba.

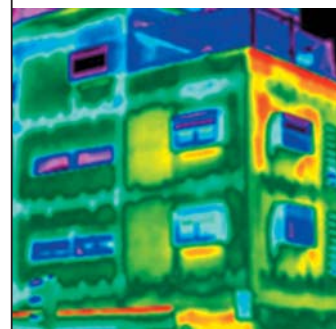
Si se fuerza la convección mediante el uso de un ventilador o una bomba, se están variando las condiciones naturales del proceso. Por ejemplo, si se está en una habitación con aire a 22 °C y se enchufa un ventilador, se sentirá el aire fresco debido al aumento de velocidad de este. Esto indica que si se hacen inspecciones termográficas en exteriores, bajo condiciones de viento fuerte, se tendrá bastante más dificultad para realizar el trabajo que si no hubiera viento (recuérdese la cuarta gran regla, las condiciones meteorológicas).

El viento puede modificar considerablemente la distribución de temperaturas y se debe evitar realizar inspecciones con fuerte viento, se pueden malinterpretar las imágenes y realizar un informe erróneo.

Un concepto equivocado es que en los días de viento se pueden obviar sus efectos utilizando el método de la diferencia de temperatura. Esto es erróneo ya que el viento enfría más las zonas más calientes, variando así la diferencia de temperaturas.

Ejemplo de flujo de calor de convección invisible

La imagen de la Fig. 5 muestra un local calefactado con infiltraciones de aire frío del exterior. Se puede visualizar en la cámara gracias al



Guía de termografía infrarroja

efecto de enfriamiento que produce en la superficie del suelo. El aire entra debido a las diferencias de presión entre el exterior y el interior del edificio.

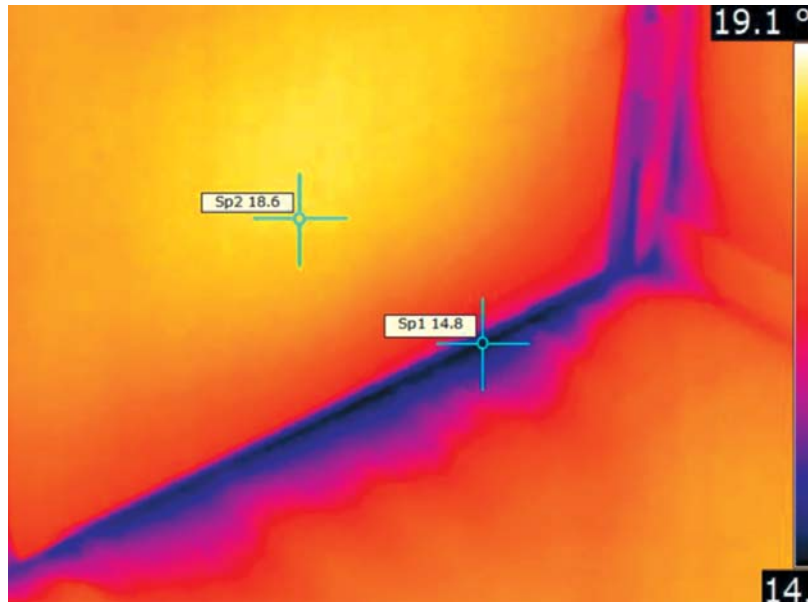
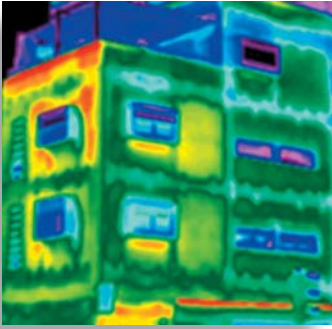


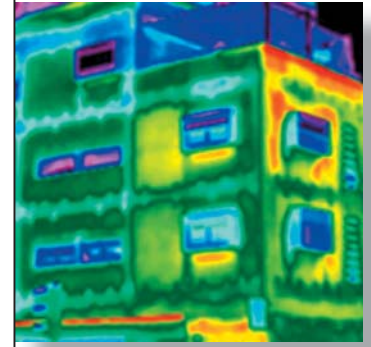
Figura 5. Imagen de un local calefactado con infiltraciones de aire frío.

Un termógrafo debe de reconocer este **típico patrón**, de entrada de aire, y diferenciarlo del patrón típico de humedad, del que veremos ejemplos más adelante.

La evaporación y la condensación. Consecuencias

Se sabe que existe un intercambio de energía asociada a la evaporación y la condensación. Cuando sobre una superficie se da la evaporación, ésta se enfría, el agua «roba» calor de la superficie y ésta consecuentemente se enfría. A la inversa, si el vapor de agua se condensa en agua líquida, el agua cede calor al ambiente o al recipiente que lo contiene.

Esto tiene consecuencias para el termógrafo, que debe distinguir estos procesos de los objetos o superficies que inspecciona ya que según el proceso que se esté llevando a cabo, la imagen cambiará completamente.



5.5. RADIACIÓN

Entramos en una forma de transmisión de calor diferente de las dos anteriores. En esta, las moléculas ni chocan unas con otras ni se mueven libremente en función de la fuerza de la gravedad o externas. En la radiación no es necesario ningún medio material, es más, como mejor se transfiere este calor es en ausencia total de moléculas, en el vacío.

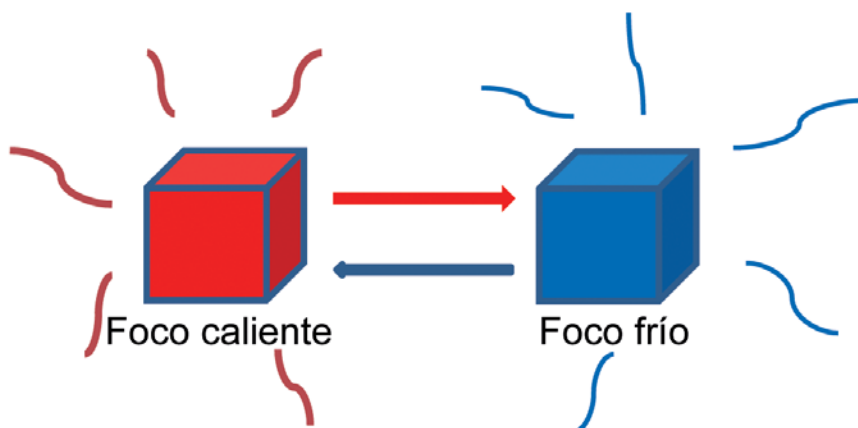
La radiación térmica es una forma de radiación electromagnética. Todos los cuerpos emiten este tipo de radiación como consecuencia de su temperatura y, a mayor temperatura, mayor emisión de radiación térmica.

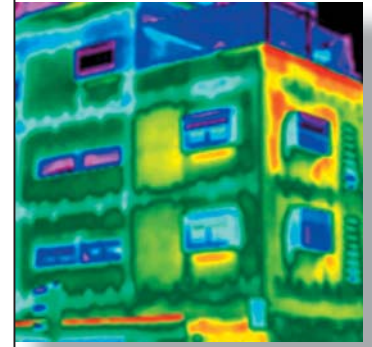
El tipo de material que posee el cuerpo le hará emitir mayor o menor radiación térmica. Así, se verá que algunos materiales son mejores emisores de radiación térmica que otros.

Además se verá que la radiación térmica se propaga fácilmente a través de los gases, pero más difícilmente o incluso bloqueada, a través de los líquidos y sólidos.

La transmisión de calor por radiación se lleva a cabo por emisión y absorción de radiación térmica. Esta energía se transfiere a la velocidad de la luz, de ahí que la termografía sea tan útil detectando la radiación en continuo. Todos los cuerpos emiten y absorben radiación térmica al mismo tiempo. El calor neto transmitido será la diferencia entre lo que se ha absorbido y lo que se ha emitido.

Esto difiere enormemente de los dos anteriores procesos en los que había un flujo de calor unidireccional.





6

INTERCAMBIO DE ENERGÍA POR RADIACIÓN

Para el termógrafo será fundamental conocer los procesos de intercambio de energía de radiación que se dan en el cuerpo analizado. Por ejemplo una fachada de un edificio que se va a rehabilitar, recibirá una radiación concreta, absorberá parte de esa radiación (la fachada se calienta), reflejará otra parte y el resto la transmitirá al interior del edificio.

En cualquier caso, como se ha visto al principio de la guía, toda la energía que entra será toda la que sale.

RADIACIÓN INCIDENTE

Veamos el siguiente diagrama para comprender de qué se está hablando.

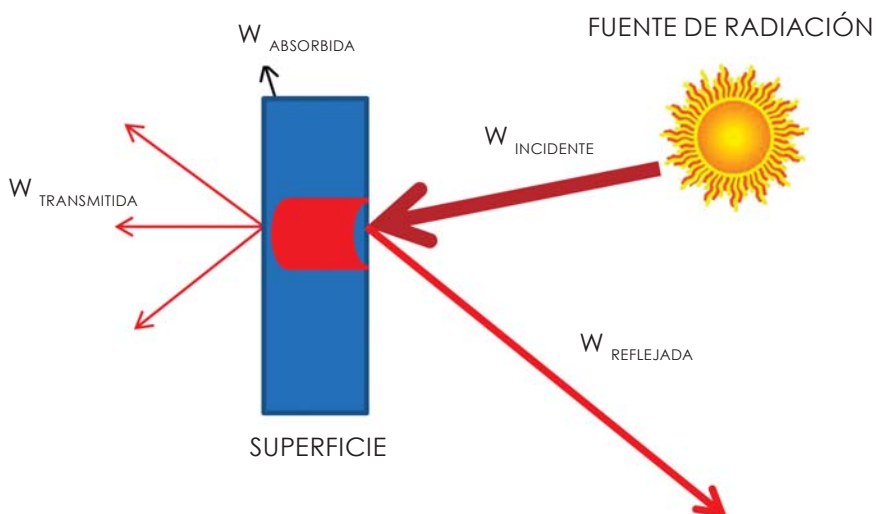
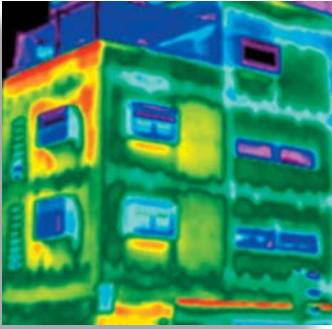


Figura 1. Radiación incidente.



Guía de termografía infrarroja

De la Fig. 1 se desprenden varias definiciones que se plasman en la tabla 1:

Tabla 1. Tipos de radiación.

TIPO DE RADIACIÓN	EFEECTO	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

La radiación incidente es toda la radiación que llega a un objeto desde cualquier fuente de su entorno.

Se puede ver cómo de una (en este caso) o varias fuentes (el día a día de un termógrafo), sale una determinada radiación, ésta llega a la superficie de un objeto y, una parte de esa energía la absorbe el cuerpo ($W\alpha$), otra parte es reflejada ($W\rho$) por el objeto y por tanto no le afecta y la última parte de la energía la transmite ($W\tau$) y tampoco afecta al objeto. Es decir:

$$W\alpha + W\rho + W\tau = W \text{ incidente}$$

La proporción en que la radiación incidente se reparta entre estas variables dependerá de las propiedades del cuerpo, definidas en la tabla anterior. Es decir:

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

RADIACIÓN SALIENTE

Veamos de nuevo un diagrama para comprenderlo mejor.

Intercambio de energía por radiación

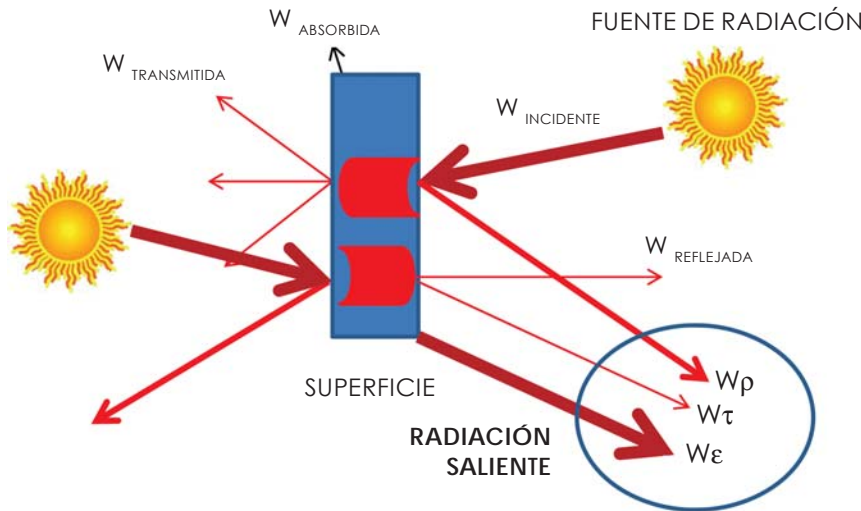


Figura 2. Radiación incidente y saliente.

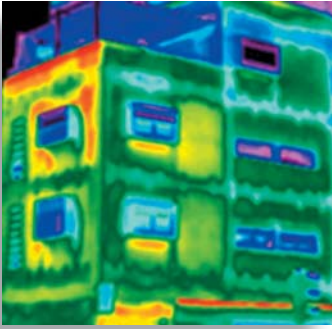
La radiación saliente es aquella que abandona la superficie de un objeto, al margen de cuál es su fuente original.

Esta radiación será la que el termógrafo determine con su cámara. Como se ha visto, está formada por tres tipos diferentes de radiación.

La más importante para el termógrafo es la emisividad (ϵ), la capacidad que tiene un determinado cuerpo para emitir su propia energía en forma de radiación. Aunque en el esquema se ha pintado una única flecha, el cuerpo emite radiación (W_{ϵ}) en todas direcciones.

También hemos de decir que 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. Aunque la temperatura de dos cuerpos distintos sea la misma, el que tenga más emisividad irradiará más que el que tenga menos y, por tanto, lo se verá de manera diferente en la cámara.

Se puede hacer una sencilla prueba. Se llenas una taza de agua hirviendo, se coloca un trozo de cinta aislante en la taza y se mira con la cámara. Se verá seguramente con más temperatura la parte cubierta con la cinta, pero ¿realmente tiene distinta temperatura? No, solo irra-



Guía de termografía infrarroja

dia más gracias a la alta emisividad de la cinta aislante en comparación con la de la taza.

Estos dos factores, temperatura y emisividad, determinan la **potencia de radiación** de un cuerpo.

Las otras dos fuentes de radiación saliente son la radiación reflejada, de otras fuentes, y la transmitida a través del objeto y que proviene también de otras fuentes. Estas otras dos variables no dependen de la temperatura del cuerpo (objeto sobre el que medimos), sino de las emisividades de las otras fuentes de transmisión y reflexión. También dependerán de la reflectividad y transmisividad del cuerpo.

Así, parte de la radiación saliente de un cuerpo vendrá de la radiación emitida por el propio cuerpo, de la reflejada de fuentes cercanas al cuerpo y de la transmitida de fuentes que están detrás del cuerpo. Es decir:

$$W_{\epsilon} + W_{\rho} + W_{\tau} = W_{\text{saliente}}$$

Un cuerpo concreto, tendrá la propiedad de emitir radiación, reflejarla o transmitirla, es decir:

$$\epsilon + \rho + \tau = 1$$

De las fórmulas que se han recuadrado se puede concluir que en un cuerpo dado, la emisividad es igual a la absorptividad, $\epsilon = \alpha$, es decir, que un cuerpo va a emitir toda la radiación que absorba. Esto es una propiedad de cada cuerpo.

En cuanto a los cuerpos, hemos de distinguir entre dos tipos de cuerpos con propiedades diferentes, los cuerpos negros y los cuerpos reales.

CUERPO NEGRO

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. Recuérdese, si $\epsilon = \alpha$ y $\epsilon = 100\%$, entonces $\alpha = 0\%$.

Debido a estas características, estos cuerpos se fabrican y utilizan para la calibración de las cámaras termográficas. Estos son los simuladores de cuerpos negros, como el que se muestra en la Fig. 3.

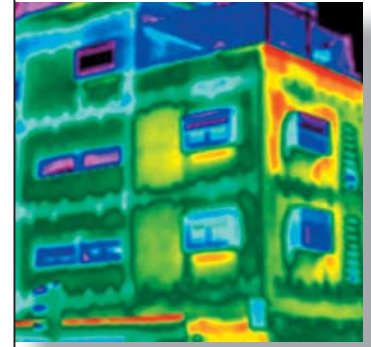
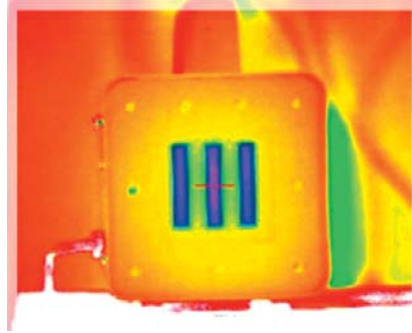


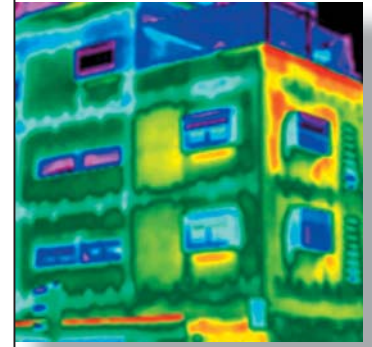
Figura 3. Simulador de cuerpos negros.

CUERPO REAL

Estos son los cuerpos que se encuentran en el día a día de trabajo, con una gran diferencia, que la mayoría de ellos son opacos al infrarrojo, es decir, $\tau = 0$, de manera que:

$$\epsilon + \rho = 1$$

Esto simplifica mucho la tarea del termógrafo.



7

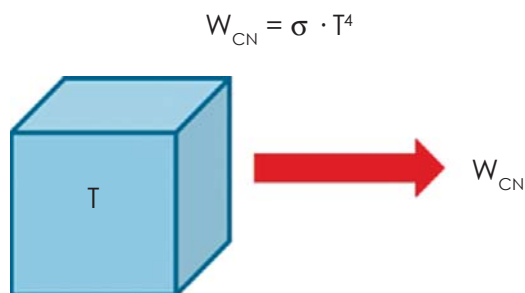
CONCLUSIONES A PARTIR DE LA IMAGEN TÉRMICA

Como termógrafo, se dispone de una sola herramienta de trabajo, la cámara, y con las imágenes obtenidas se realizarán los informes y se sacarán las conclusiones. Pero esto no es apuntar y disparar, no se trabaja en el visual sino en el infrarrojo, y esto tiene grandes diferencias que llevan a tener que entrenar al cerebro a interpretar las imágenes térmicas.

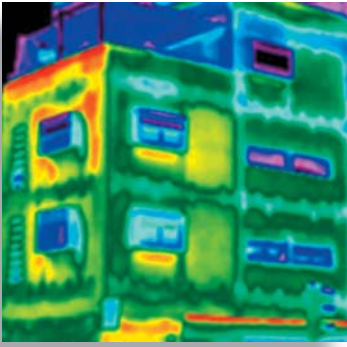
Existen dos métodos de análisis de las imágenes térmicas, los **análisis cualitativos** y los **cuantitativos**.

Antes de abordarlos, conviene explicar cómo, a partir de la imagen que capta el detector (la intensidad de radiación electromagnética convertida en imagen, cualitativa), se va a proporcionar un dato completamente distinto, la temperatura, a partir de la cual se podrá realizar un trabajo cuantitativo.

Esto es posible por la relación existente entre la potencia de radiación infrarroja de un objeto y la temperatura, o más concretamente por la **Ley de Stefan-Boltzmann**, que define esta relación para un cuerpo negro.



Suponiendo que el cubo sea un cuerpo negro ideal, a una temperatura absoluta, T (en grados Kelvin), mediante la ley de Stefan-Boltzmann



Guía de termografía infrarroja

se puede calcular su potencia de radiación, W_{CN} (W/m^2), multiplicando esta temperatura a la cuarta potencia por la constante de Stefan-Boltzmann, σ (sigma), y que tiene un valor de $5,67 \cdot 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$ (5, 6, 7 y 8, fácil de recordar).

Veamos un sencillo ejemplo.

En la imagen de la Fig. 1 de la acometida a un colector de suelo radiante, se puede ver la tubería empotrada a una temperatura sobre el paramento de unos $40^\circ C$, esto es una temperatura absoluta de 313 K.

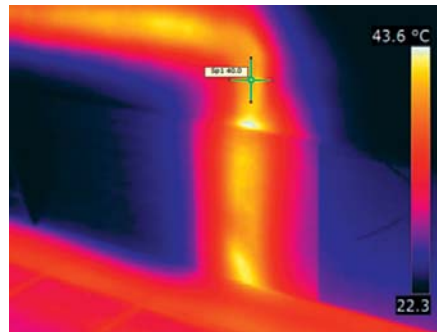


Figura 1. Imagen infrarroja de la acometida a un colector de suelo radiante.

Pasando por alto que no se trata de un cuerpo negro perfecto, aplicando la fórmula, nos da una potencia irradiada de:

$$W_{CN} = \sigma \cdot T^4; W_{CN} = 5,67 \cdot 10^{-8} \times 313^4 = 544,20 W/m^2$$

Si aumentara en $10^\circ C$ la temperatura del fluido que discurre por la tubería, ¿qué obtendremos?

$$W_{CN} = \sigma \cdot T^4; W_{CN} = 5,67 \cdot 10^{-8} \times 323^4 = 617,15 W/m^2$$

Se ve claramente que un ligero incremento de temperatura conlleva un fuerte incremento de potencia irradiada. Esto es debido lógicamente a que la temperatura absoluta está elevada a la cuarta potencia, lo que hace disparar el valor de W_{CN} .

Si llevamos esto a una gráfica, sería así (Fig. 2):

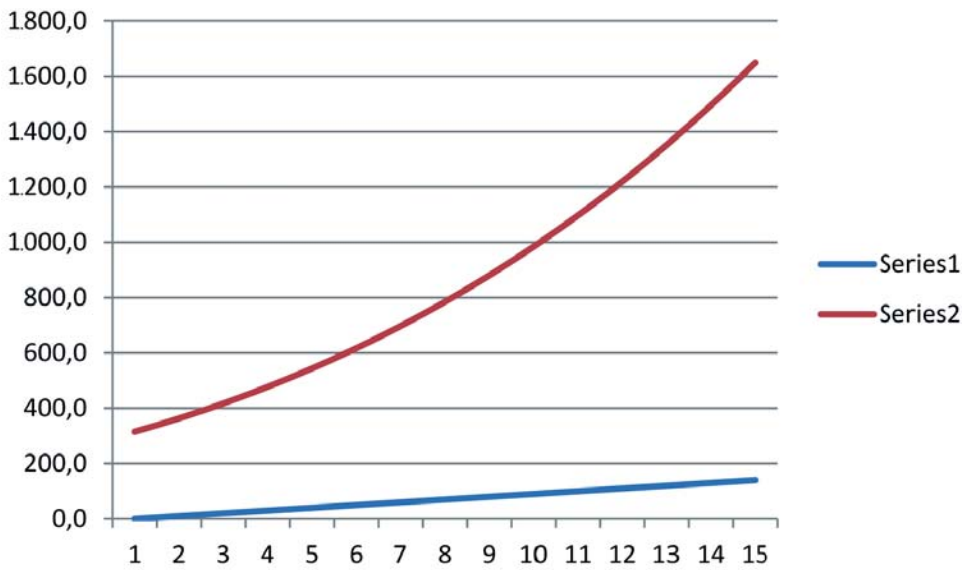
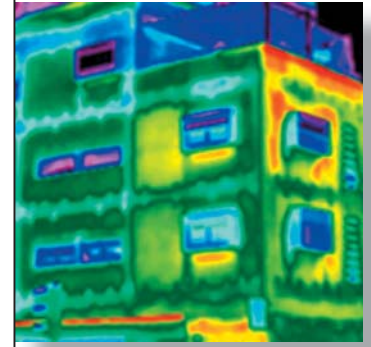


Figura 2. Gráfica representación de la Ley de Stefan-Boltzmann, Temperatura – Potencia irradiada.

Donde,

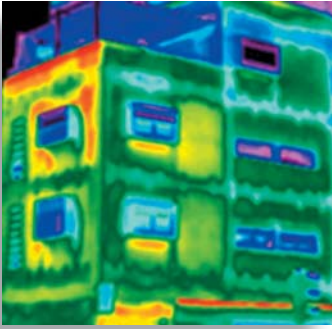
- La serie 1 corresponde a datos de temperatura, en el eje de las X, desde los 0 °C (posición 1) hasta los 140 °C (posición 15).
- La serie 2 corresponde a datos de potencia irradiada (W/m^2), en el eje de las Y.

Esto lleva a varias conclusiones, como que una pequeña variación en la radiación recibida del objeto modificará bastante el dato de temperatura. También se puede decir que si la cámara no está bien calibrada, poco fiable será el trabajo.

LA IMAGEN TÉRMICA

La imagen térmica es lo que se va a analizar, sobre lo que se trabajará y sobre lo que se emitirá un posible diagnóstico. Por tanto, y como se ha dicho en capítulos anteriores, antes de tomarla y guardarla, hay que asegurarse de que estará correctamente tomada, hablamos del ajuste del campo, el enfoque, el encuadre y las condiciones. Las 4 grandes reglas que se deben recordar siempre.

Se ha de tener claro que la imagen térmica, a diferencia de la imagen real, es una imagen de intensidad de radiación térmica, no de la distribución de temperaturas captadas por nuestro equipo.



Guía de termografía infrarroja

Diferencias en intensidades de radiación no se traducen en diferencias de temperatura.

Esto quiere decir, que un mismo objeto sobre el que se está trabajando, puede estar a la misma temperatura, pero con distintas emisividades. Por tanto, la imagen térmica aparecerá con un contraste reflejado en la paleta de colores que puede hacer pensar que tiene diferentes temperaturas.

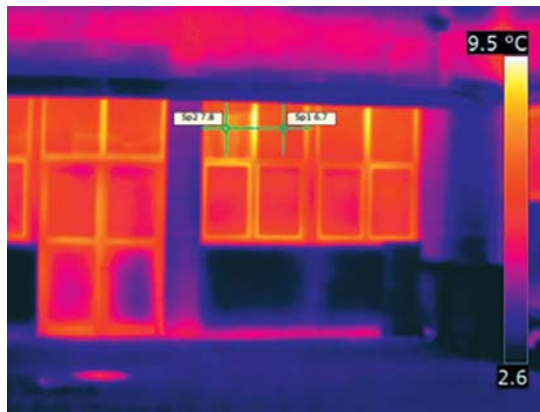


Figura 3. Imagen infrarroja de las ventanas de una fachada.

La imagen de la Fig. 3 muestra las ventanas de un mismo recinto. Se puede apreciar como hay más de un grado de diferencia en dos de las ventanas. Lo más probable es que nuestro propio reflejo de lugar a una radiación reflejada más elevada a pesar de que la ventana se encuentre a la misma temperatura.

La radiación saliente en la zona reflejada es mayor, tiene más intensidad, pero no más temperatura.

Por tanto, si la imagen térmica no muestra datos reales de temperatura, ¿qué muestra entonces? Muestra siempre temperatura aparente, un concepto que hay que definir y no confundir con la temperatura real.

La Temperatura aparente es la temperatura leída, no compensada o corregida en la cámara termográfica. Nos mostrará toda la radiación incidente en nuestra cámara, independientemente de la fuente de la que procede la radiación infrarroja.

DOS TIPOS DE ANÁLISIS A PARTIR DE UNA MISMA IMAGEN TÉRMICA

El termógrafo puede realizar por tanto dos tipos básicos de análisis de la misma imagen infrarroja, en función de sus intereses, el grado de exactitud que necesite o de las necesidades del cliente para el que trabaja.

Se puede hacer un análisis cualitativo de la imagen obtenida, o cuantitativo. Veamos en qué consiste cada uno.

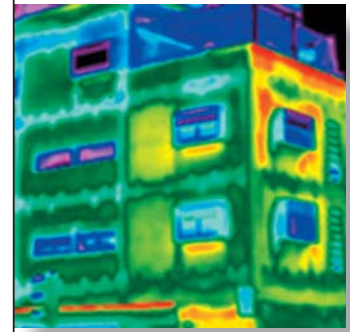
Análisis cualitativo: la imagen térmica es analizada para poner de manifiesto anomalías de distinta magnitud, localizarlas y evaluar el nivel de gravedad. Es el primer análisis que hace el termógrafo, aunque se quiera hacer otro tipo de análisis, cuantitativo, inevitablemente al comienzo se tratará de rápidamente buscar aquello que en nuestra cabeza no encaja o se ve que se aleja de lo normal para el objeto bajo estudio.

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

Es habitual que las empresas que realizan inspecciones termográficas tengan definidos unos niveles de gravedad, por ejemplo:

- Grado 1: reparación urgente.
- Grado 2: programar reparación.
- Grado 3: revisar en la siguiente inspección.

Esto no es más que un ejemplo, los niveles o grados pueden ser muchos más o incluso acompañarse de colores que recuerden esa gravedad (rojo podría ser muy grave, amarillos podría ser un nivel intermedio y verde el último).



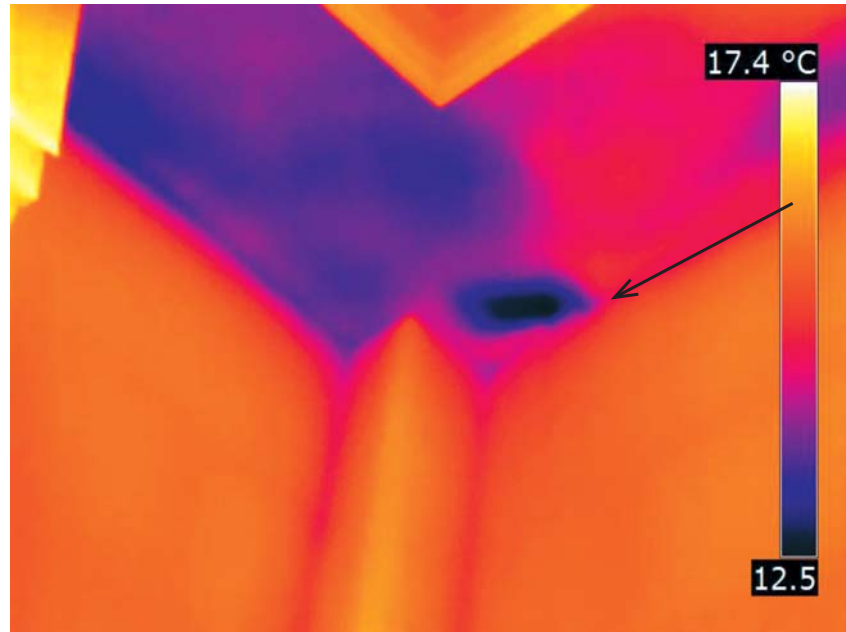
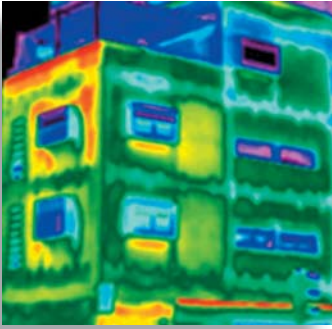


Figura 4. Imagen infrarroja de la esquina con humedades de una habitación.

La mancha azul oscura de la esquina de la habitación de la Fig. 4 revela la presencia de humedad. ¿Es necesario cuantificar cuánto agua entra? Más bien interesará saber por dónde entra y cómo evitar que entre.

Este análisis se basa en la temperatura aparente, sin compensación.

Análisis cuantitativo: determina la temperatura o temperaturas de las partes de la imagen térmica que interesan para, a partir de éstas, extraer las conclusiones sobre las anomalías detectadas y las soluciones a adoptar.

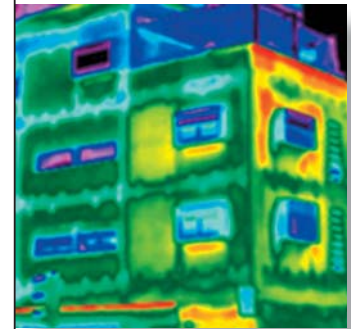
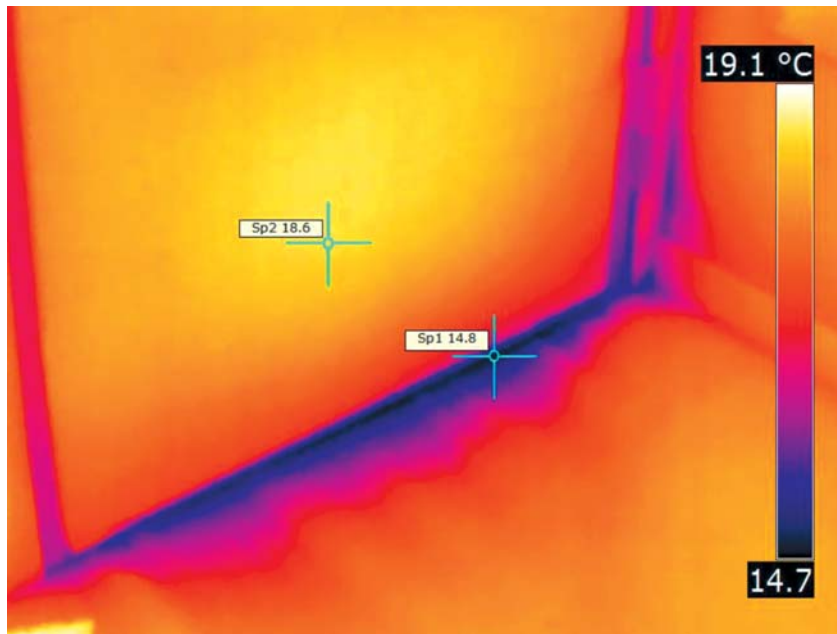


Figura 5. Imagen infrarroja de filtraciones de aire.

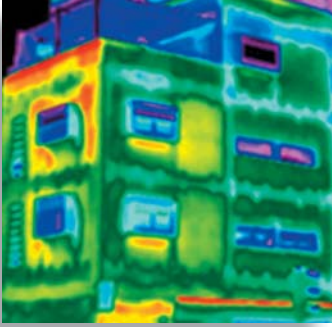
En la Fig. 5 se podría hacer un análisis simplemente cualitativo, poniendo de manifiesto que existen infiltraciones de aire. Sin embargo, el cliente ha pedido que se cuantifiquen esas pérdidas, para lo se necesitan conocer algunos datos como la temperatura exterior e interior y la superficie por donde entra aire.

Este análisis se realiza con temperaturas reales, con compensación de los parámetros de objeto de emisividad y temperatura aparente reflejada.

De los resultados obtenidos se podrán sacar distintas conclusiones y saber si es relevante o no, si hay que actuar o no, en función de los criterios de clasificación de fallos antes mencionados, propios o publicados por algún organismo o asociación relevante.

También hay que tener y usar datos de referencia, es decir, 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, como se ha dicho antes, no es más complejo ni más sencillo. Podemos equivocarnos en las conclusiones, a pesar de haberse realizado bien la compensación y haber obtenido datos reales



Guía de termografía infrarroja

de temperaturas, o por el contrario, sin compensar, se le puede decir al cliente que tiene un problema donde no lo tiene.

COMPENSACIÓN DE LA IMAGEN TÉRMICA

La compensación de la imagen se puede hacer, bien durante la inspección (in situ, sobre la cámara) o con los software de tratamiento de imágenes en la oficina.

Todas las cámaras infrarrojas van a permitir modificar los “parámetros de objeto”, temperatura aparente reflejada, emisividad, distancia, temperatura exterior y humedad relativa. Esto permite pasar de temperatura aparente a temperatura real.

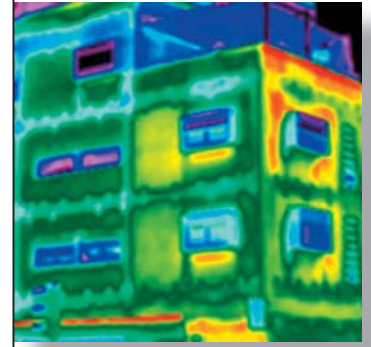
Conviene en este punto, explicar los efectos que tiene la emisividad sobre la imagen térmica:

- Si se mide un cuerpo de alta emisividad, la temperatura aparente del cuerpo es cercana a su temperatura real. Se ve la realidad.
- Si se mide un cuerpo de baja emisividad, la temperatura aparente del cuerpo es cercana a las temperaturas aparentes de los cuerpos cercanos. Se ve la realidad y seguramente no se pueda medir o será francamente difícil.

Además de poder modificar en los parámetros de objeto la emisividad, se puede usar un truco para medir sin compensar, se puede pintar o cubrir la superficie que se quiere medir con algo de emisividad conocida, alta y constante. Por ejemplo, se puede colocar un trozo de cinta aislante (emisividad de 0,95) sobre la superficie de una tubería de cobre, la cinta se calentará a la temperatura del cobre y del líquido que circula por él, entonces se podrán hacer mediciones de temperatura sobre esta cinta.

8

EVALUACIÓN DE LA IMAGEN TÉRMICA



Hemos aprendido a interpretar la imagen térmica pero no se debe olvidar que lo que se tiene es una imagen radiométrica y que se puede actuar en ella de diferentes maneras para tratar de extraer las conclusiones más acertadas posibles.

Recordemos que no se pueden modificar el enfoque, el encuadre ni el campo, pero sí hay otras herramientas que permiten modificar la imagen y hacerla más clara de cara a la interpretación.

Definamos algunas utilidades que tienen tanto la cámara infrarroja como el software para analizar las imágenes.

EL GRADIENTE TÉRMICO

Todo gradiente conlleva una variación a lo largo del tiempo o la distancia. En nuestro caso se observará una variación gradual de temperatura del cuerpo con la distancia o la superficie en la que se podrá ver el sentido del flujo de calor mediante el cambio de los colores que aparecen en la escala, si es que aún se ha de recurrir a ella, lo que puede pasar si aún no se está muy habituado a trabajar con imágenes térmicas.

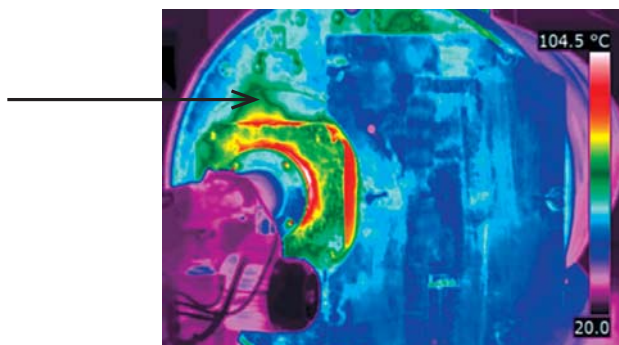
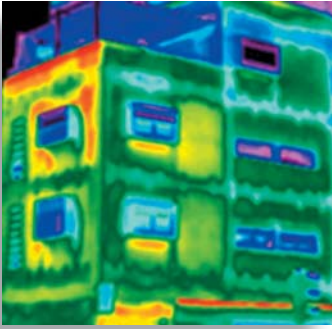


Figura 1. Imagen infrarroja de fugas de calor por una junta deteriorada de la caldera de la Fig. 2.



Guía de termografía infrarroja

En la imagen de la Fig. 1, las fugas de calor a través de la junta deteriorada del quemador con el cuerpo de la caldera muestran un gradiente de calor desde la junta hacia el exterior de la caldera. Se puede verificar esta información en la escala de la derecha, donde parece que va desde el rojo (justo al borde de la junta), pasando por el amarillo y llegando al verde, ya en el cuerpo de la caldera.



Figura 2. Caldera con junta deteriorada.

La imagen real de la caldera (Fig. 2) también revela la existencia de una fuga. Se ve la mancha de los productos de la combustión sobre el cuerpo de la caldera. Pero no da tanta información como la termografía.

Los gradientes de temperatura casi siempre revelan deficiencias importantes y es *el más típico* de los patrones que se encontrarán, bien sea en la localización de humedades, problemas eléctricos, puentes térmicos, etc.

Aprender a analizarlos e interpretarlos es fundamental para la inspección termográfica.

DATOS DE TEMPERATURA (PUNTERO Y ÁREA)

Mediante estas herramientas se obtendrán ya los primeros datos numéricos del análisis. Se pueden situar en la imagen cuantos **puntos de medida** se quieran, con la precaución de no saturar la imagen de información, sobre todo si se está realizando la inspec-

ción. La pantalla de la cámara es pequeña, con lo que un punto o dos serán más que suficientes para obtener toda la información necesaria del problema. En la oficina con el software, se podrán poner los que se quieran de una manera más rápida que en la cámara.

El **área** ayuda a cuantificar rápidamente la temperatura máxima, mínima y la media del área seleccionada. A la hora de seleccionar un área, es importante hacerlo con exactitud y no coger en el área zonas de medida que no interesen, pues desvirtuarán enormemente los datos de la medida que se quiere obtener.

Esta herramienta es muy útil en edificación, donde se puede seleccionar por ejemplo una superficie grande de una fachada y ver la diferencia de temperaturas máxima y mínima y tratar de analizar el porqué de esa diferencia. Falta de aislamiento, rozas o grietas por donde se escapa el calor, humedades ocultas, etc.

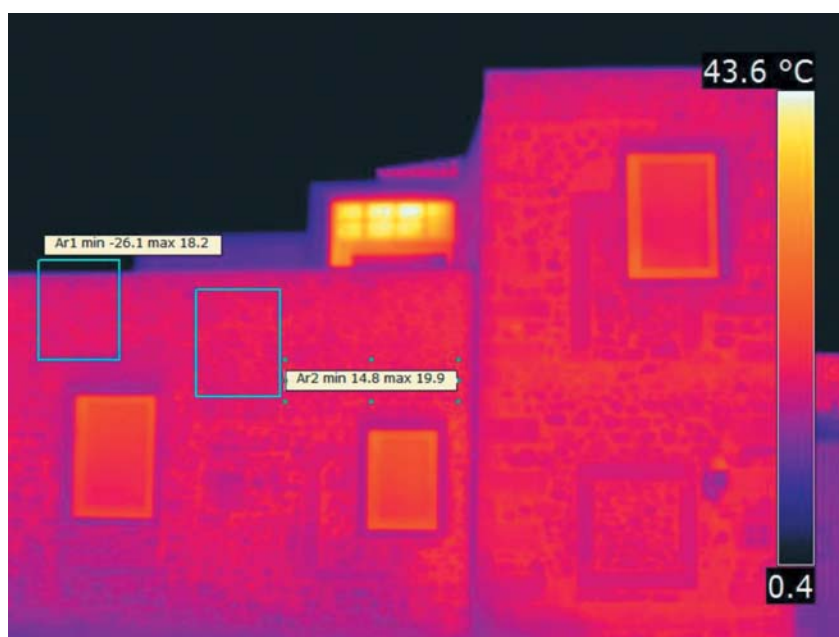
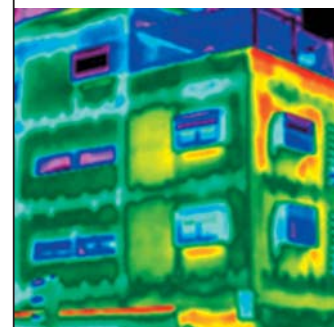
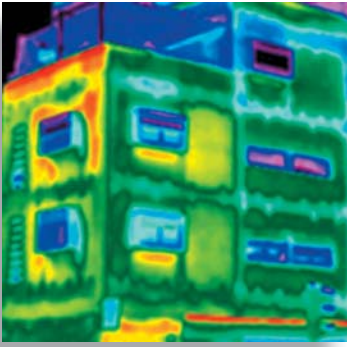


Figura 3. Imagen infrarroja de una fachada.

Estas dos áreas seleccionadas en la Fig. 3 tienen la misma superficie pero temperaturas totalmente distintas, sobre todo en la mínima y en la media. Esto es debido a que en la de la izquierda se ha cogido sin querer algo del cielo (zona oscura y a temperaturas cercanas al 0 o



Guía de termografía infrarroja

muchas veces incluso negativas) y se han disparado los valores de temperatura mínima y por tanto la media.

Un puntero también es el habitual termómetro laser que muchos tienen como herramienta de trabajo. Sí, proporciona la información de un solo punto siempre que se esté lo suficientemente cerca de lo que se quiere medir. Las cámaras termográficas de resolución más baja tienen ya 3.600 puntos de medida y proporcionarán una imagen. La diferencia es notable y la diferencia de precios no tanto.



Figura 4. Puntero. Fuente: FLIR Systems.

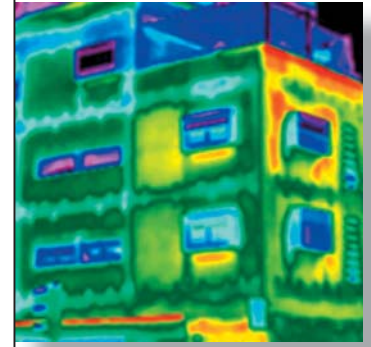
Avanzar en cuanto a tecnología es siempre una buena inversión.

LAS PALETAS DE COLORES

La paleta de colores es una herramienta útil que, en función de la que se seleccione, asignará distintos colores a una misma temperatura aparente. Así se conseguirán diferentes efectos y contrastes y se acentuará más un posible fallo con un color que con otro, haciendo que el cliente vea o entienda mejor lo que se trata de explicarle.

No existe un criterio fijo para esto, no se trata de que en electricidad se use la paleta roja, en industria la paleta arcoíris, etc. Es el propio termógrafo el que decide qué paleta usar para su análisis. Lógicamente, si tenemos un objeto de medida con poco contraste térmico, trataremos de dárselo con una paleta de alto contraste de colores.

Un error muy común es que una vez que se tiene el informe, con las imágenes, conclusiones, etc., se imprime en blanco y negro y todo queda con el mismo contraste. Hay que aprovechar la fuerza que tienen las imágenes que se aportan en los análisis. Ya se sabe el dicho,



«una imagen vale más que mil palabras» y también más que mil números y cálculos complejos.

Además de la roja y arco iris, está la paleta blanco y negro y otras más que cada cámara lleva incorporadas, algunas con nombres en inglés. Se recomienda ir probándolas delante de un objeto y tratar de ver cual da más información.

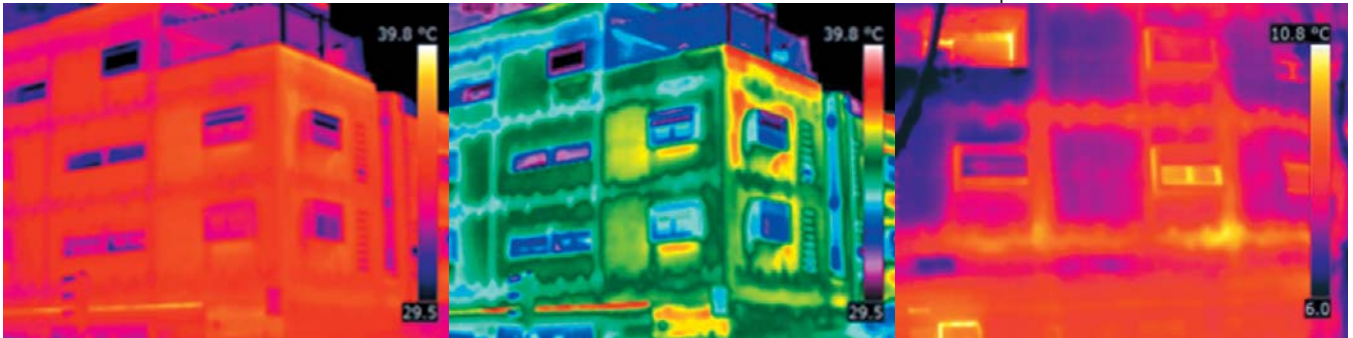


Figura 5. Imagen infrarroja de un edificio hecho con bloques de hormigón.

Estas tres imágenes (Fig. 5) corresponden al mismo edificio de viviendas construido con bloques de hormigón.

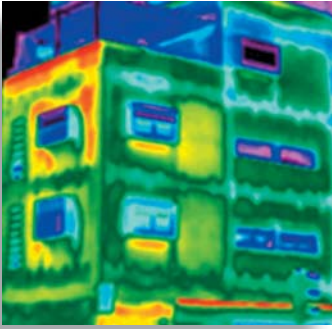
Varias preguntas que se pueden hacer:

¿Por qué en la primera imagen, el puente térmico de los forjados aparece en la parte baja de la escala de temperaturas (color oscuro) y en la tercera imagen en la parte alta de la escala (color amarillo)? Fijándose un poco en la escala, se puede intuir que la primera es de verano y la tercera de invierno, apreciándose en la última las fugas de calor de la calefacción. No es que se haya cambiado ninguna paleta de colores. Una misma imagen cambiará los colores dependiendo de las condiciones exteriores o de si es tomada desde dentro o desde fuera.

La segunda imagen sí es la misma que la primera, pero con otra paleta de colores, la arcoíris. Quizás tanto color puede confundir al cliente y no ser adecuada para este caso concreto.

LA ISOTERMA

Una de las herramientas más importantes y que mejor se deben manejar. La isoterma cambiará algunos colores de la escala de la



Guía de termografía infrarroja

imagen, por otro, fijo, de elevado contraste (a veces el gris, a veces el verde), para así marcar un intervalo de igual temperatura aparente.

La isoterma se podrá ampliar o reducir de arriba abajo, ensanchar o estrechar, siempre dentro de un intervalo.

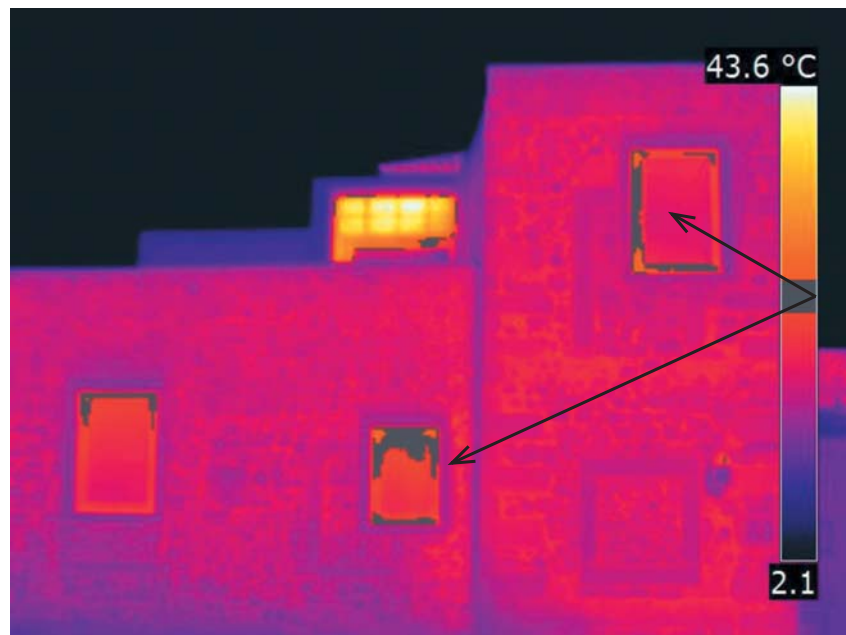


Figura 6. Imagen infrarroja de la fachada de un hotel.

En la imagen de la Fig. 6, se ha marcado un intervalo entre los 24 °C y los 27 °C, de manera que se han conseguido identificar más claramente los puentes térmicos de los marcos de madera de las ventanas de un hotel. Los marcos tienen un color gris que claramente contrasta con el rojo del resto del edificio.

AJUSTE TÉRMICO

También es una de las herramientas más importantes. Permite ajustar la escala de colores al objeto sobre el que se está midiendo, esto aumenta el contraste del objeto, eliminando zonas que no interesan.

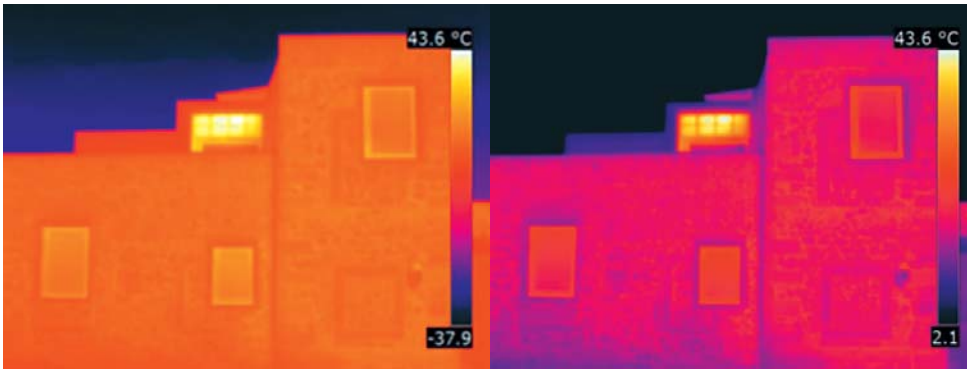
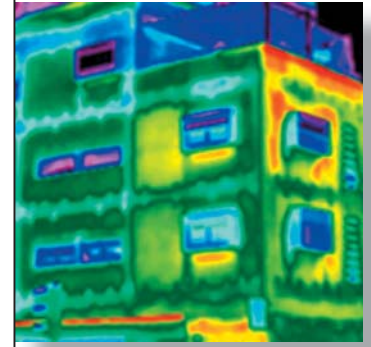


Figura 7. Imagen infrarroja de fachada de un hotel sin y con contraste térmico.

En la Fig. 7 se ve la primera imagen, sin ajuste térmico, en la que apenas se distinguen las ventanas ocultas tapadas o reformadas durante la rehabilitación del edificio o no se puede apreciar si el edificio es de piedra o de ladrillos. En la segunda imagen, una vez ajustada, reduciendo el campo, sí se aprecian estos y otros detalles constructivos.

Esto es así porque en la primera imagen, los colores se distribuyen desde los $-37,9$ °C hasta los $43,6$ °C y lógicamente el contraste baja. La segunda imagen tiene un campo más reducido y por tanto más contraste.

PERFIL DE TEMPERATURA

Esta herramienta da la evolución de la temperatura a lo largo de una línea recta trazada sobre la imagen.

El resultado es una gráfica, con la temperatura en uno de los ejes, el de la X, y la distancia en el eje horizontal, las Y.

Esta herramienta es muy útil para numerosas aplicaciones, por ejemplo también se puede emplear para ver la temperatura de las fases de un contactor eléctrico (Fig. 8) y evaluar así un posible sobrecalentamiento, terminales mal apretados, etc.

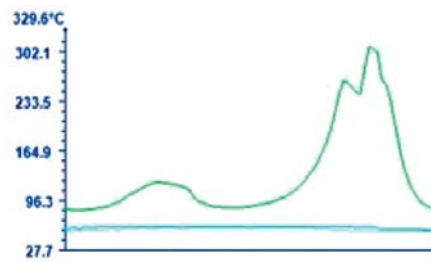
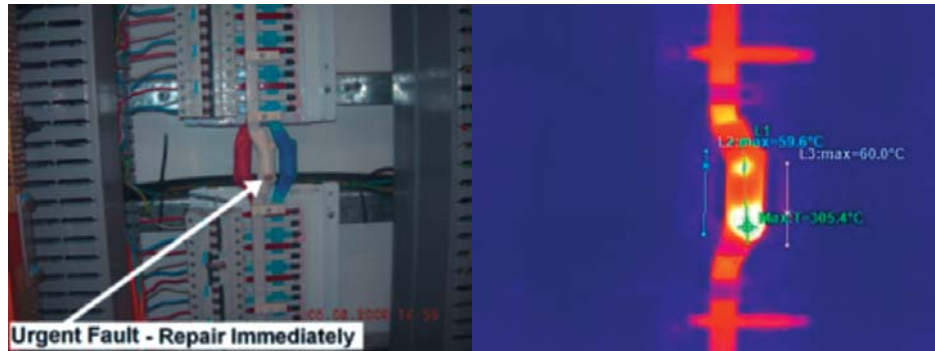
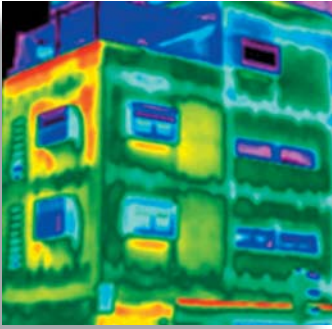


Figura 8. Temperatura de las fases de un contactor eléctrico.

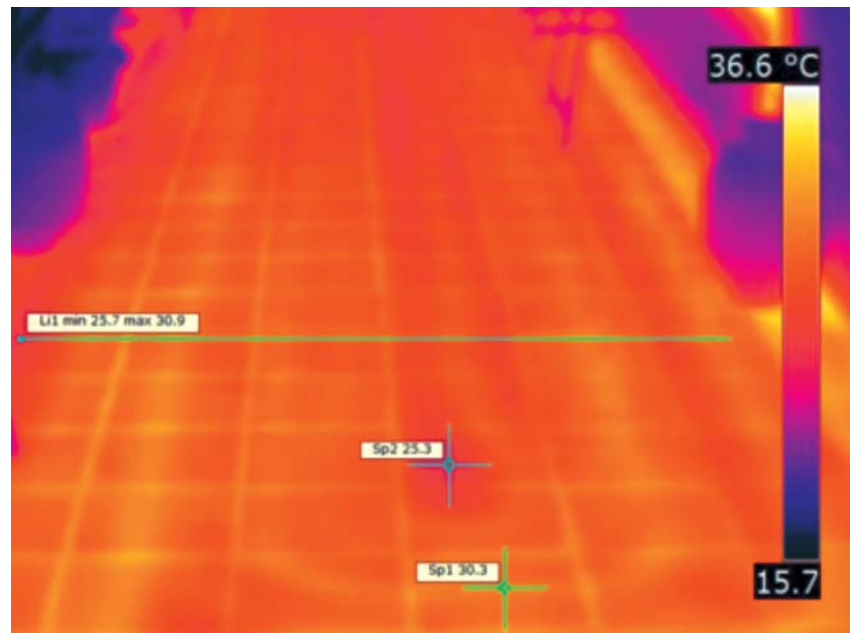


Figura 9. Imagen infrarroja del suelo radiante de un edificio.

La imagen de la Fig. 9 corresponde al suelo radiante de un edificio. Sobre la imagen se ha trazado una línea recta perpendicular a los tu-

bos de suelo radiante, se ha exportado a Excel y el resultado (Fig. 10) muestra las distintas temperaturas (eje de las Y) que alcanza el agua caliente durante el recorrido por la tubería (eje de las X).

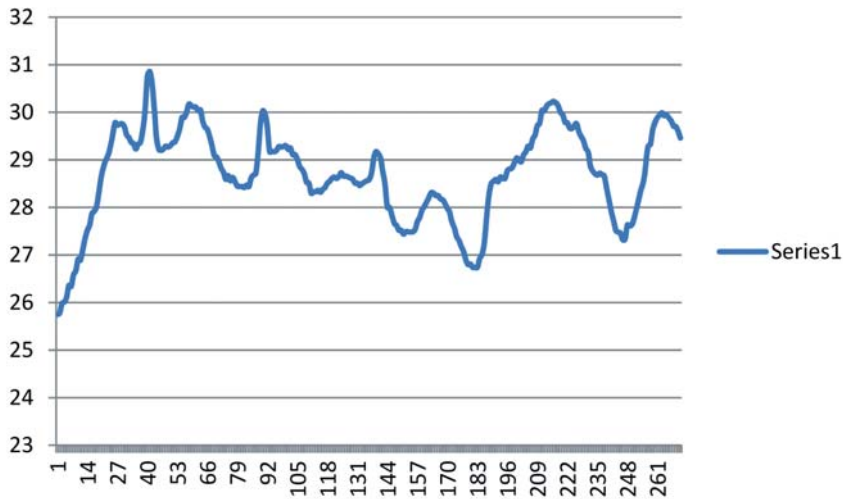


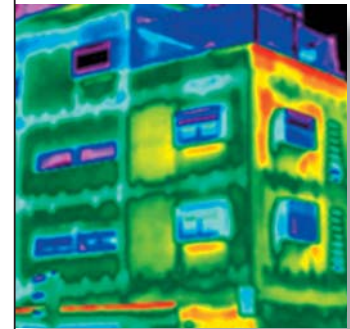
Figura 10. Gráfica representación de la distribución de temperaturas en el suelo radiante, en función de la longitud.

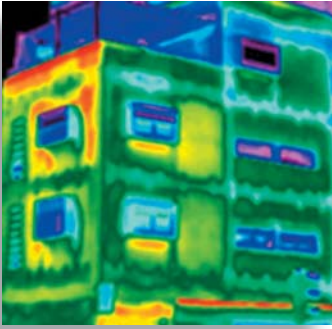
VÍDEO

Algunas cámaras permitirán grabar vídeos termográficos, radiométricos o no. Esto quiere decir que si no es radiométrico simplemente se tendrá un vídeo termográfico, pero no se podrá realizar ningún trabajo cuantitativo sobre él, será cualitativo. A diferencia del radiométrico donde se pueden hacer trabajos más profesionales. Se pueden definir estos dos tipos de vídeos así:

- Vídeo IR: son secuencias de imágenes infrarrojas en formato de vídeo digital estándar para visualizar imágenes.
- Vídeo radiométrico IR: son secuencias de imágenes infrarrojas con valores de medida en cada pixel en video digital para visualizar y analizar valores de medida.

Esta herramienta es muy útil a la hora de realizar estudios sobre la **inercia térmica** de un edificio ya que permite ver la evolución térmica del edificio, también se usa para ver los picos de consumo en el arranque de determinados equipos (arranque estrella-triángulo en motores, etc.).





FUSIÓN TÉRMICA Y *PICTURE IN PICTURE*

Mediante estas técnicas, se puede incluir la imagen real (digital) en la imagen térmica (Fig. 11), para facilitar la identificación del objeto bajo estudio, o se puede resaltar sobre la imagen real, un intervalo de temperatura que se quiera resaltar.

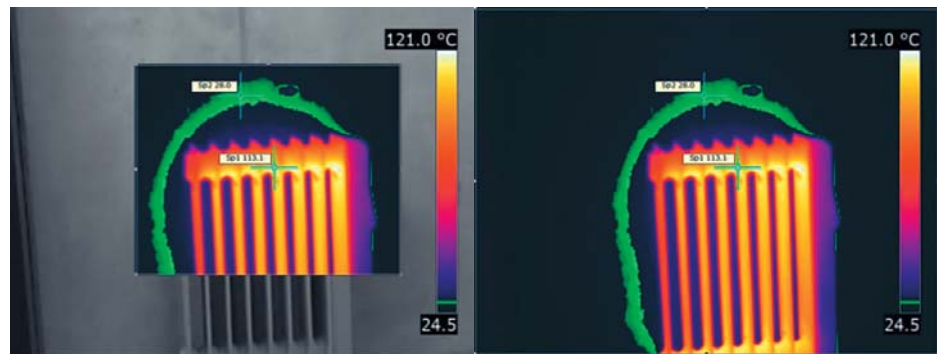


Figura 11. Superposición de imágenes de un radiador.

REFLEJOS

No sólo la luz visible se refleja, en un espejo por ejemplo, la radiación infrarroja también, confundiendo al termógrafo más experimentado, por ejemplo los metales pulidos son casi espejos térmicos. No se trata de una herramienta del termógrafo sino de algo de lo que hay que huir a la hora de analizar las imágenes térmicas. El objeto de medida siempre estará influenciado por distintas fuentes de reflexión y éstas incidirán sobre nuestra cámara. Descubrirlos y evitarlos es fundamental.

En muchas ocasiones el termógrafo se ve reflejado en el objeto que está inspeccionando. Se puede descubrir fácilmente, si se mueve y el posible punto caliente se mueve, será su reflejo, o si cambia el ángulo de enfoque de la cámara y el reflejo desaparece, ya sabe de qué se trata.

¿Cómo evitarlos?

- Evitar ser uno mismo el reflejo, no situarse delante del objeto de medida.

Evaluación de la imagen térmica

- Si es inevitable, moverse y si el punto caliente se mueve, al menos se sabrá que es uno mismo.
- En los reflejos, el ángulo de incidencia es igual al de salida, sabiendo esto se puede evitar la fuente de reflejo.
- Podemos apantallar la fuente de reflejo, con cartón, etc.
- Un reflejo no mostrará nunca un gradiente térmico. Tendrá unos límites muy marcados.
- Intentar medir en las partes del objeto que tienen alta emisividad, estas no engañarán, su temperatura será más real.

Y en el caso de la lente de la cámara, ¿cómo puede atravesarlo la radiación infrarroja?, ¿por qué no se refleja la radiación? Esto es debido a que la lente es de **Germanio**, el gran aliado de esta tecnología y por qué no decirlo, el que la encarece también un poco.

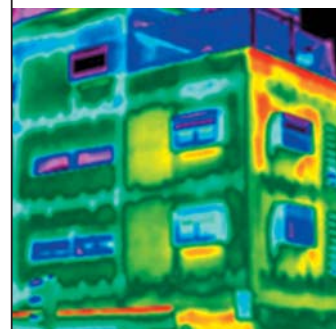
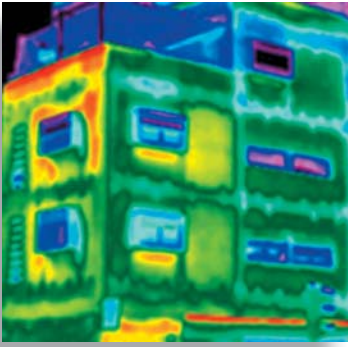


Figura 12. Imagen infrarroja del exterior de una vivienda.

En termografías exteriores, el cielo y el sol son quizás las fuentes de reflexión más importantes. En la imagen de la Fig. 12 se podría pensar que el techo de esta vivienda tiene un problema de humedad. Más bien se trata del reflejo del cielo en la teja. El ángulo del tejado respecto a la cámara facilita esa reflexión. Se sabe que el techo no está a una temperatura tan baja.



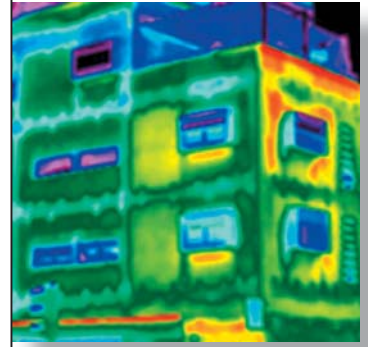
Guía de termografía infrarroja

Al margen de estas herramientas de análisis, la imagen térmica como mucho proporcionará un 10% de la información sobre lo que se está viendo. El resto debe ponerlo la experiencia, los conocimientos y la pericia del termógrafo.

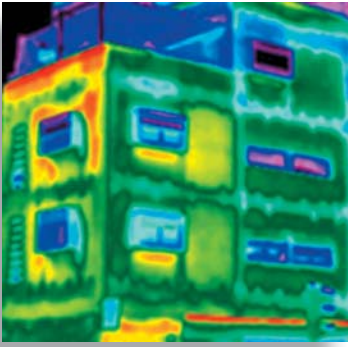
Conviene por tanto no cometer algunos errores en el diagnóstico, recordemos aquí algunos de estos:

Errores del termógrafo

1. Conocimientos teóricos: no hay caer en el error de pensar que la termografía consiste en encender una cámara, apuntar y disparar. Se debe saber manejar conceptos de transferencia de calor, materiales y sus propiedades, la atmósfera y su influencia y un sinfín de variables que afectan el trabajo. En resumen, **FORMACIÓN PRESENCIAL**.
2. La cámara y su uso: no todas las cámaras termográficas son válidas para todas las tareas. El detector infrarrojo de la cámara es sensible a una determinada franja del espectro electromagnético, incluso dentro del Infrarrojo, lo cual afectará al cuerpo que se está midiendo. Existen dos tipos de cámaras, de onda larga y de onda corta, en función de las necesidades, se adquirirá un equipo y otro.
3. Resolución y óptica: en esto influye el diseño del detector, el número de píxeles que genera la imagen y la calidad de la óptica y su fabricación y montaje. El mercado da la posibilidad de cambiar ópticas sin cambiar de cámara, como un fotógrafo que cambia de objetivo si va a hacer un retrato, tomar un paisaje, etc. Seleccionar bien estas características, antes de adquirir el equipo, es fundamental.
4. Rango de temperatura: ya mencionado anteriormente, una selección apropiada del rango es fundamental para detectar toda la información posible de la imagen.
5. Toma de la imagen: el ángulo con que se toma la imagen, el enfoque, la posición respecto al objeto, los reflejos, etc., son fundamentales para el diagnóstico. Incluso tomar varias imágenes desde distintos ángulos ayudará a diagnosticar el problema. Una vez que se abandone el lugar de la inspección, quizás no se vuelva o se haga ya con el informe definitivo en la mano.



6. Si la inspección abarca bastantes elementos muy parecidos entre sí, hay que identificarlos bien y no olvidar tomar las imágenes visuales de los mismos.
7. Punto frío y punto caliente: las anomalías no tienen por qué conllevar una temperatura alta, no siempre hay que buscar el punto caliente. No siempre los colores identifican el problema, la imagen hay que analizarla en conjunto.
8. El informe: toda la información que se saque de la imagen analizada, formará parte del informe. No hay que precipitarse a la hora de escribir las impresiones. Hay que dejar claro el alcance del informe y no retrasarse más de 3 o 4 días en la elaboración del mismo (dependiendo también del alcance de la inspección). Si el trabajo de campo ha consistido en averiguar por qué una bomba circuladora de agua se calienta y tardamos en elaborar el informe con las conclusiones más de una semana, es probable que cuando se entregue ya esté la bomba quemada y el circuito parado.
9. Un índice aproximado puede constar de:
 - Listado de equipos, máquinas, edificios, etc., inspeccionados.
 - Alcance de la inspección, mencionando si es necesario lo que no incluye para no dar lugar a equívocos.
 - Fecha, hora y lugar de la inspección.
 - Empresa y responsable de la inspección, con su capacitación profesional.
 - Equipo utilizado, fecha de la última calibración así como el resto de material utilizado.
 - Procedimiento de análisis y método (cualitativo o cuantitativo).
 - Datos obtenidos.
 - Resultados, recomendaciones y conclusiones.
10. Formación reglada: de nuevo insistimos en este punto. Se debe buscar un curso que capacite como Termógrafo, esto dará pres-



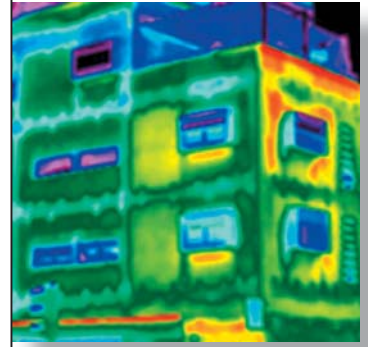
Guía de termografía infrarroja

tigio y profesionalidad al trabajo. Existen numerosas opciones para recibir esta formación, simplemente hay que asegurarse de que el que la imparte (centro de formación o profesional independiente) está capacitado por alguna entidad de reconocido prestigio, pero desde luego, **hay que formarse**. Si se invierte una importante suma de dinero en un equipo de inspección termográfica, se debe invertir una cantidad razonable de dinero en formar al personal que la utilizará.

11. Actualización permanente: un buen termógrafo está en aprendizaje y reciclaje constante. No sólo a nivel de formación, también en cuanto a equipos y software. Esta técnica está en constante evolución y el termografista ha de ir con ella, si se queda atrás lo más probable es que comience a cometer errores en los informes y a perder clientes.
12. Responsabilidades y código ético: el termógrafo que analiza una imagen y lógicamente redacta un informe, debe conocer las responsabilidades que tiene a la hora de ejercer su profesión. Este código ético puede redactarlo cada empresa o acogerse al de asociaciones de termógrafos o distintos colegios profesionales. En rasgos generales, el termógrafo no debe pronunciarse sobre aquello que no conoce o para lo que no está capacitado, la imagen térmica como hemos dicho, tan solo representa el 10% de la información, el resto dependerá de la capacitación y experiencia del inspector. También debe acogerse a las normas de seguridad y salud de los trabajos que le sean encomendados así como no revelar información confidencial y relevante de su trabajo a terceras personas. Las imágenes térmicas que posea, son información confidencial de su cliente.

Dicho todo esto de manera resumida, también resumimos un pequeño detalle, **las herramientas habituales de todo termógrafo**:

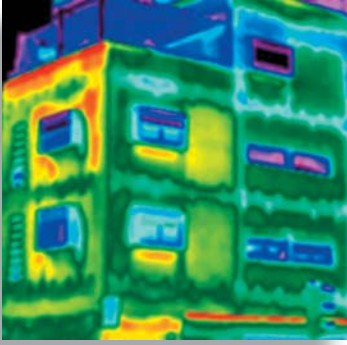
1. Funda blanda o bolsa para la cámara y herramienta: habitualmente al comprar la cámara, ésta viene en una maleta rígida, poco transportable y con algunos accesorios no útiles en el día a día de las inspecciones. Una funda o bolsa blanda con distintos alojamientos para lo que de verdad ayuda en la inspección es una buena compra.
2. Rollo de cinta aislante negra: ayudará a convertir objetos de baja emisividad en alta.



3. Papel de plata: ésta ayudará a calcular la temperatura aparente reflejada o a apantallar objetos que reflejen radiación sobre lo que estamos midiendo.
4. Juego de destornilladores: en ocasiones habrá que descubrir conexiones eléctricas en cajas y otras tareas para las que se necesitarán algún juego de destornilladores y llaves para abrir cuadros eléctricos con cierres estándar.
5. Bolsa de basura: para cubrir la cámara en caso de estar trabajando en ambientes con polvo en suspensión.
6. Trípode: en ocasiones el temblor del pulso puede hacer que la termografía no salga todo lo nítida que se necesita o bien, que se estén realizando tantas termografías que empiece a notarse cansancio, sobre todo si la cámara no es muy ergonómica o pesa mucho.

Hay que tener cuidado con la elección del trípode y saber combinar ligereza con robustez, es decir, que no sea muy pesado para no cargar con él ni muy ligero y que un golpe de viento nos tire al suelo la cámara.

7. Cargadores para coche y enchufes: además de tener varias baterías, conviene tener un cargador tipo mechero para cargar la batería de la cámara en el coche durante los desplazamientos, o llevar en la bolsa el de enchufe (en vez de tenerlo en la oficina), pues si se está fuera de la oficina o lugar de trabajo, en el hotel se podrán cargar las baterías para continuar al día siguiente con la inspección.
8. Tarjeta de memoria: de suficiente capacidad para contener las imágenes. Tener que borrar imágenes para sacar otras es algo poco deseable.
9. Teléfonos de última generación: no es imprescindible ni obligatorio, pero hay que mencionar que hoy en día existe la posibilidad de realizar informes in situ, desde este tipo de teléfonos. Podemos encontrarnos en el lugar de trabajo, sacar la imagen, trabajar con ella en el teléfono y generar el informe que se mandará al cliente o supervisor sin tener que ir al ordenador de trabajo.



Guía de termografía infrarroja

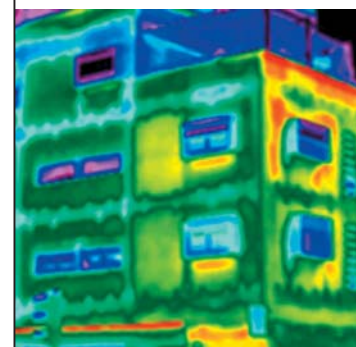
10. Otros equipos de medida: la cámara termográfica es una herramienta de trabajo compatible con otras muchas que debe saber manejar el termógrafo, como por ejemplo unas pinzas amperimétricas, termómetros de contacto, sondas de temperatura, anemómetros, etc.



Figura 13. Equipo.

En la foto de la Fig. 13 se ve algo de lo mencionado anteriormente. La maleta rígida, menos cómoda para el día a día, pero más segura contra los impactos. La funda blanda, cómoda y con capacidad para llevar otras cosas útiles como un termómetro, algo de herramienta, etc.

Con el tiempo, cada termógrafo sabe lo imprescindible que ha de llevar a cada inspección, desechando unas cosas y usando otras distintas a estas.



9 CÓMO MEDIR LA TEMPERATURA CON LA CÁMARA TERMOGRÁFICA

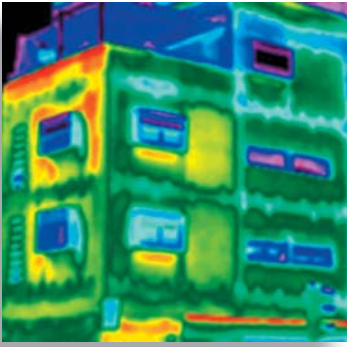
Merece un capítulo aparte el aprendizaje de la técnica de medida de la temperatura a partir de la radiación infrarroja. Hasta ahora se ha aprendido a analizar la imagen térmica desde el punto de vista cualitativo, lo que es ya bastante. Ahora, se da un paso más y se aprenderá a obtener datos reales de temperatura en la imagen térmica.

De nuevo nos encontramos con la emisividad como obstáculo principal a la hora de obtener el dato de la temperatura, ya que en función de esta característica se tendrá mucha dificultad para medirla (cuerpos de emisividad muy baja) o poca dificultad (cuerpos de emisividad alta). Incluso puede ser imposible la medida, así que tampoco debemos obsesionarnos con obtener una medida exacta si las condiciones no son adecuadas.

Además, otros factores influirán en la medida, como el ambiente exterior, el entorno del cuerpo, la distancia a la que se realice la termografía, etc., factores que en ocasiones no se podrán controlar.

EL ENTORNO DEL OBJETO

Es evidente que durante la inspección, el termógrafo se encontrará en un entorno cambiante que va a influir en la imagen que pueda obtener, incluso en cómo la va a obtener. Como poco, entre el cuerpo que se quiere medir y la cámara, existirá cierta cantidad de aire. En segundo lugar, salvo que se trabaje en un laboratorio ensayando con materiales, lo habitual es que el objeto que se mide esté rodeado de otros objetos que no interesan pero que emitirán radiación hacia él y éste la reflejará hacia la cámara. A partir de ahí, todo lo que se quiera añadir es posible que lo encontremos en alguna ocasión.



Guía de termografía infrarroja

Toda medida de un objeto ha de comenzar necesariamente por una medida o estimación de la Temperatura aparente reflejada, la temperatura del entorno.

LA ATMÓSFERA

La radiación que llega a la cámara procedente del objetivo, no es igual a 1. Existe una pequeña parte que será absorbida por la atmósfera, y además variable en función de la cantidad de aire que exista entre el cuerpo y la cámara (la distancia) y las condiciones de la atmósfera (partículas en suspensión).

Se puede y se debe considerar la atmósfera como un cuerpo más que transmitirá la radiación emitida por el cuerpo (la mayor parte) y absorberá una pequeña parte de esa radiación.

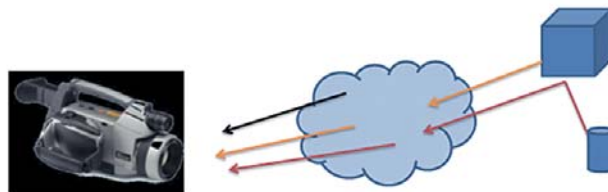


Figura 1. Emisión y reflejo de radiaciones.

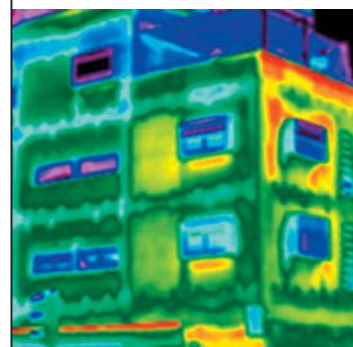
En la Fig. 1 se ve cómo el cuerpo con forma de cubo emite una radiación propia y refleja otra procedente del cilindro, y estas llegan al detector con una ligera variación tras atravesar la atmósfera y además, junto con la radiación que emite la propia atmósfera, por pequeña que esta pueda ser.

Por tanto la tarea ahora es compensar estas dos variables que influyen en la medida, la atmósfera y la radiación reflejada.

COMPENSACIÓN DE AMBOS EFECTOS

Para compensar el primero, la influencia de **la atmósfera**, se plantean las siguientes preguntas, ¿cuánta atmósfera hay entre el objeto y la cámara? Y ¿qué densidad tiene? O dicho de otra manera más sencilla, ¿a qué distancia se está del cuerpo y cuál es la temperatura exterior y la humedad relativa del aire?

Cómo medir la temperatura con la cámara termográfica



En cuanto a la distancia, está claro que cuanto más se aleje del cuerpo, más atmósfera existirá entre éste y la cámara y por tanto más atenuación de la radiación (además de otras consideraciones como que el objeto será más pequeño).

Respecto a la temperatura del aire, si es muy elevada, más irradiación se producirá.

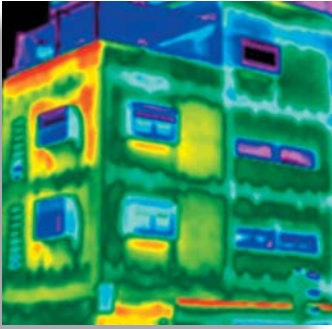
Por último, en cuanto a la humedad, la atmósfera tiene moléculas de vapor de agua (H_2O_g) en suspensión, cuantas más moléculas tenga la atmósfera, más dificultad tendrá la radiación en llegar a la cámara.

Estos tres valores pueden ajustarse en las cámaras termográficas en los ya conocidos «parámetros de objeto», se puede probar a hacerlo y comparar su influencia en las medidas obtenidas. El resultado será que apenas hay variación, ¿verdad? Sin embargo conviene poner esos datos ya que si se realiza un informe mediante el software del fabricante, aparecerán esos datos por defecto y el cliente pensará que son reales o pensará que no son correctos bien por error o por cualquier motivo menos que es porque no influyen apenas en la medida.

En cualquier caso, si no se está seguro de los valores, los siguientes pueden ser recomendables y suelen aparecer por defecto en algunas cámaras:

- Distancia al objeto 1,0 m
- Emisividad 0,95
- Humedad relativa 50%
- Temperatura aparente reflejada +20 °C
- Temperatura atmosférica +20 °C

Para compensar el segundo efecto, el del entorno o **la temperatura aparente reflejada** (T_{REFL}), existen varias formas. Antes hay que recordar que T_{REFL} no es lo mismo que Temperatura ambiente, esto es importante porque lo que se ha de compensar es la T_{REFL} que influye bastante más que la T_{AMB} . Esto es importante recordarlo a la hora de introducir los datos en la cámara, además es posible que en cada equipo se denominen de otra manera.



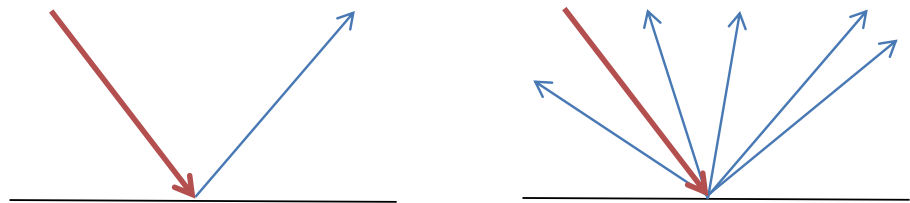
Guía de termografía infrarroja

En el dibujo de la Fig. 1 aparecía un cilindro como objeto cercano al que se quería medir. Ese cilindro representa T_{REFL} y se debe determinar.

La *temperatura aparente reflejada*, T_{REFL} es la temperatura aparente de los cuerpos que se reflejan en el que se está midiendo, por estar cerca de él.

Hay que aclarar que se trata de temperatura aparente, no absoluta, ya que si la fuente de reflexión posee una emisividad baja, no irradiará a su temperatura y por tanto no llegará a reflejarse en ningún cuerpo.

Los reflejos, como ya se vio, pueden ser especulares, es decir, el reflejo tiene un ángulo concreto con respecto al objetivo, o difusos, recibiendo reflejos desde todos los ángulos y emitiéndolos en cualquier dirección.



Así, se debe restar del total de radiación recibida en la cámara, la que corresponde a la parte reflejada y que no tiene que ver con la temperatura del cuerpo que se está midiendo. Únicamente interesa la radiación que viene de éste.

Para hacer esta resta, se utiliza la reflectividad del objetivo (o más bien de la emisividad, ya que $\rho = 1 - \epsilon$) y la T_{REFL} , así:

$$W_{refl} = \rho \cdot \sigma \cdot T_{refl}^4$$

Una vez hecho esto, la influencia de la atmósfera y la radiación reflejada han sido eliminadas a nivel de cálculo, es decir, la imagen sigue siendo la misma (en el sentido de misma radiación), únicamente han variado los datos de temperatura y por tanto algunos tonos de la imagen.

Cómo medir la temperatura con la cámara termográfica

Y en la práctica, ¿cómo se hace esto?

Si lo que se va a analizar es lo que se está reflejando sobre el objetivo, se puede probar a girar sobre uno mismo, darse la vuelta y ver con la cámara lo que el objetivo ve. En muchos casos se tendrá ya un valor muy acertado de T_{REFL} . Además, se tendrá ya una idea de qué es eso que nos está rodeando, si se trata de puntos calientes o fríos concretos, etc. Luego será más fácil identificar sus reflejos en la imagen.

Otra opción muy sencilla es colocar un trozo de papel de aluminio, arrugado, sobre el objetivo. La radiación que recibe este trozo de papel es difusa, viene de todas partes y por tanto la irradia a todas direcciones. Como lo que se quiere determinar es la temperatura aparente de la fuente de reflexión, no habrá que compensar, de manera que se fija la emisividad a 1 y la distancia a 0.

Siendo la distancia 0, la temperatura del aire y la humedad relativa dejan de tener importancia. Igual ocurre con T_{REFL} , ya que se ha fijado $\epsilon = 1$, es decir, ρ será igual a 0.

La temperatura que se mida sobre este papel será el dato de T_{REFL} , que va a valer ya para continuar trabajando.

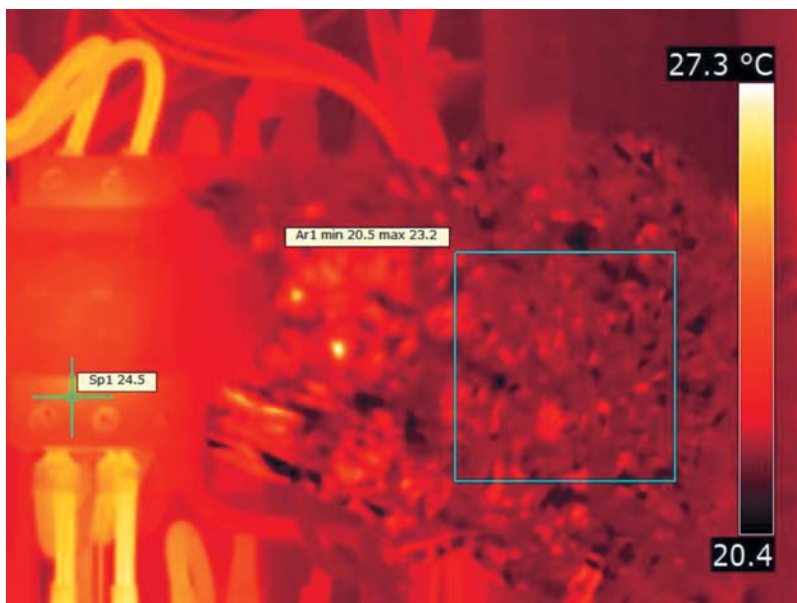
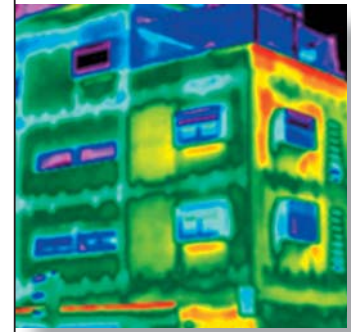
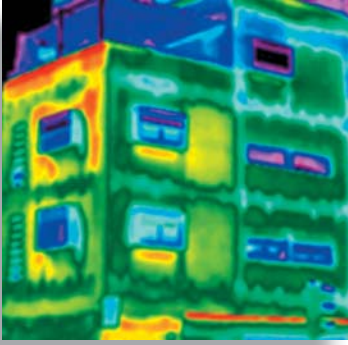


Figura 2. Imagen infrarroja de un papel de aluminio arrugado.



Guía de termografía infrarroja

En la imagen de la Fig. 2 se ha colocado un trozo de papel de aluminio arrugado en el mismo plano que el objeto que se quiere caracterizar. El papel recibe y emite radiación de todas las direcciones, se capta con la cámara, se selecciona un área entre las herramientas, para obtener una media de las temperaturas, se corrigen los valores de emisividad (1) y distancia (0) y se obtiene el dato de 21,7 °C.

Este dato se lleva a la cámara como T_{REFL} .

LA EMISIVIDAD

Una vez que se sabe la radiación que viene de otras fuentes distintas al objetivo, ahora compensar la emisividad es ya el último paso y obstáculo, para tener el dato de la temperatura a partir de la radiación recibida.

Antes de nada, definamos este concepto.

Emisividad es la relación entre la radiación que emite un cuerpo real y la emitida por un cuerpo negro, para una misma temperatura y longitud de onda.

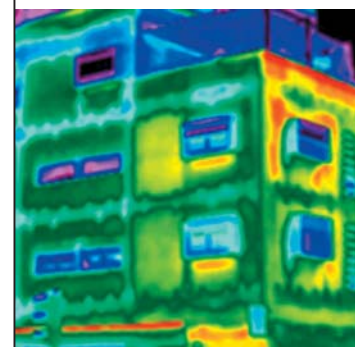
Traducido a una fórmula se tiene:

$$\varepsilon = W_{CR} / W_{CN}$$

O dicho de otra manera, $W_{CN} = W_{CR} / \varepsilon$, y este es el cálculo que hace la cámara. Ésta conoce la radiación que recibe del objeto, si se introduce la emisividad, se divide y es como si la radiación la hubiera emitido un cuerpo negro y su temperatura fuera real. Se ha transformado un cuerpo real en un cuerpo negro en el que se puede leer la temperatura.

En el capítulo 6, se habló de la Ley de Stefan-Boltzman y de cómo a partir de la temperatura absoluta (a la cuarta potencia) se podía determinar la intensidad de radiación de un cuerpo negro. Pero no trabajamos con cuerpos negros sino con cuerpos reales y éstos emiten menos radiación para una misma temperatura. Aquí es donde entra la emisividad.

$$W_{CR} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$$



En la gráfica de la Fig. 3 que se muestra a continuación, igual a la mostrada para el cuerpo negro ($\varepsilon = 1$), se han añadido dos series más modificando el valor de emisividad.

- La serie 2, para $\varepsilon = 0,7$.
- La serie 3, para $\varepsilon = 0,5$.

Se ve que cuanto más nos alejamos del cuerpo negro, menos radiación percibe la cámara para la misma temperatura (eje de las Y).

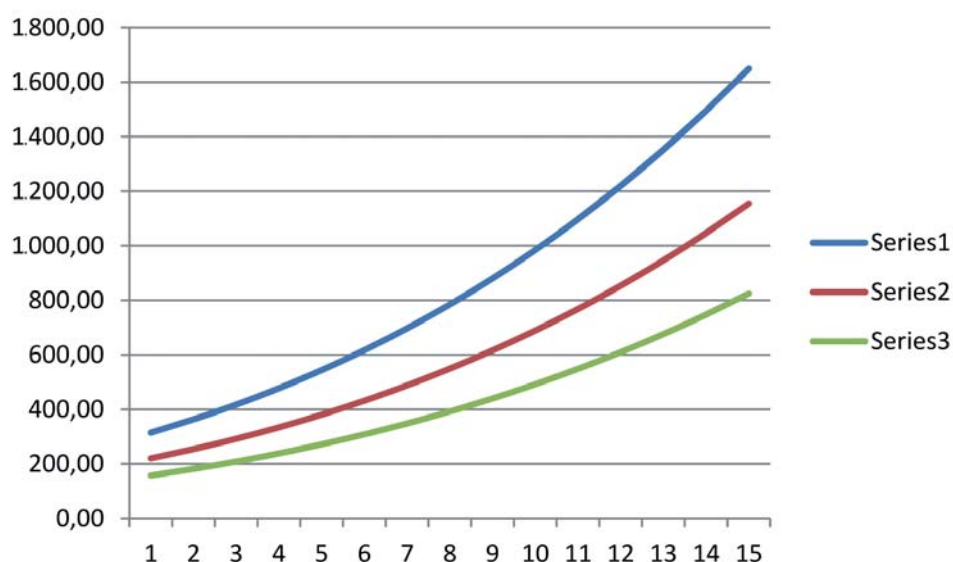
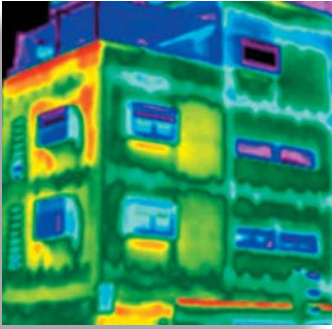


Figura 3. Gráfica de la variación de la radiación en función de la emisividad del cuerpo medido.

O visto también de otra forma, un cuerpo negro a 100 °C, irradia lo mismo que un cuerpo real a 140 °C. La cámara al captar intensidad de radiación, los muestra prácticamente iguales, o si al cuerpo real, se le compensa con una emisividad de 1, de repente se ha bajado la temperatura 40°C.

Como se puede ver, una misma imagen puede dar información completamente distinta y por tanto, resultados y conclusiones muy distintas. Hay que tener cuidado con esto, la emisividad del cuerpo, siempre desconocida, puede llevar a errores brutales y a diagnósticos desacertados.



Guía de termografía infrarroja

Y **qué factores afectan a la emisividad**. Veamos los más importantes:

1. El material del cuerpo: distintos materiales poseen distintas emisividades. Incluso un mismo material puede poseer distinta emisividad, esto se encuentra con frecuencia en materiales expuestos a determinadas condiciones ambientales, de manera que un material nuevo tiene una emisividad distinta pasados algunos años.

Descubriremos que es más fácil trabajar con no metales que con metales. Los primeros suelen tener emisividades mucho más elevadas y ésta perdura mucho más en el tiempo, a diferencia de un metal que rápidamente sufre oxidación y cambia su emisividad completamente (hasta 0,95).

En cualquier caso, ya se ha hablado de los trucos que se pueden emplear para medir sobre estas superficies.

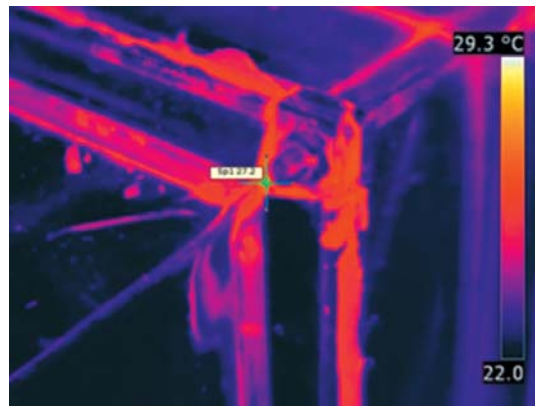
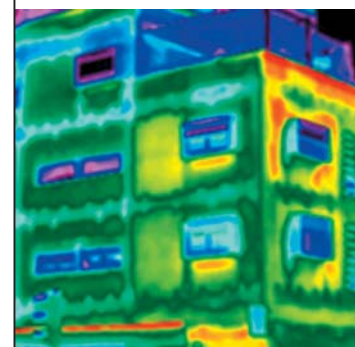


Figura 4. Imagen de un conducto de chapa de aluminio.

La imagen de la Fig. 4 es de un conducto de chapa de aluminio, todo lo que se ve sobre él son reflejos de la sala donde se encuentra. Bueno, quizás lo único que importa es si está bien o mal sellado.

2. Su geometría: si es redondo, agujereado, liso, alargado, etc., influirá sobre su emisividad.
3. Su estructura superficial: las superficies lisas, pulidas, brillantes reflejan más que las rugosas. Sobre una superficie rugosa se obtendrá un mejor valor de la temperatura pues su emisividad es mayor.



4. El ángulo de la imagen: si nos colocamos perpendiculares al objetivo, nos reflejaremos sobre él, si nos esquinamos mucho, serán otros objetos los que se reflejen en la imagen. Se debe escoger un término medio en la medida de lo posible (zona verde de la Fig. 5).

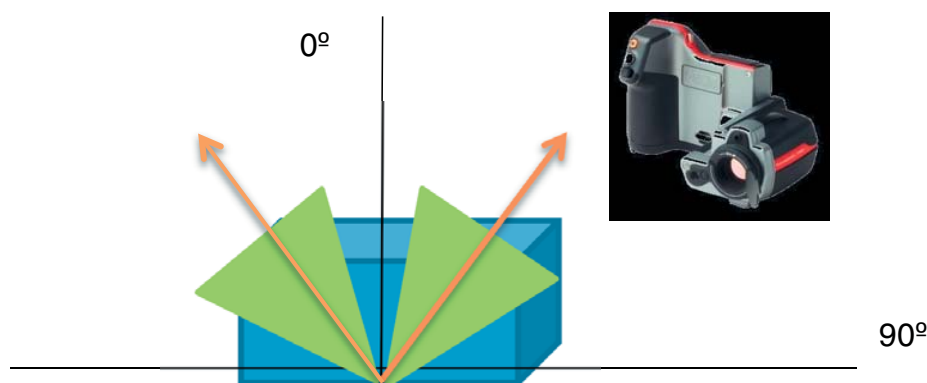
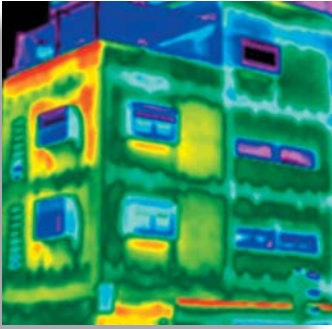


Figura 5. Colocación respecto al objeto.

5. La temperatura: por suerte esto sólo ocurrirá a temperaturas muy altas y en los metales. Algunos metales, a temperaturas cercanas a los 1.000 °C pueden incrementar su emisividad.
6. La longitud de onda: una misma medida sobre un objeto, puede ser distinta debido a que se detecta distinta emisividad. Esto ocurrirá si las cámaras que se usan trabajan en diferentes longitudes de onda. Rara vez será nuestro caso pero lo mencionamos.
7. El color del objeto: ¡ERROR! El color es algo del espectro visual, no del infrarrojo, las cámaras no saben de qué color son los objetos que enfocan, el color visual no afecta a la emisividad. Sí es cierto que los colores absorben luz visible de una u otra forma, la radiación solar es más alta en la franja visual del espectro que en la del infrarrojo, así algunos colores absorben más radiación que otros y por tanto se calientan más (e irradian más a nuestra cámara), pero no tiene que ver con la emisividad.

Estas cosas conviene recordarlas e ir experimentando con ellas, aprendiendo incluso a base de errores. Muchas veces el usuario de la cámara termográfica simplemente se dedica a tomar imágenes para luego centrarse en complejos cálculos, sin saber que el dato de



Guía de termografía infrarroja

partida, la imagen, es errónea por cosas tan simples como el ángulo, un reflejo, etc.

Ahora, igual que con la temperatura aparente reflejada, veamos en la práctica cómo se hace esto.

Si a la hora de calcular la T_{REFL} se usaba un trozo de papel de aluminio colocado junto al objeto, esta vez se usará un trozo de cinta aislante negra colocado sobre el objetivo, en su mismo plano. Esto puede parecer poco profesional pero es el mejor método que podemos enseñarles.

Como se ha calculado la T_{REFL} con $\epsilon = 1$ y $d = 0$, una vez que se pone el dato de T_{REFL} en la cámara, se deben modificar de nuevo estos datos. Ahora se va a medir sobre la cinta aislante, de emisividad conocida. En los parámetros de objeto de la cámara, se pone $\epsilon = 0,95$ y $d = 1$, y se mide la temperatura sobre la cinta y se anota esa temperatura.

Ese dato está medido sobre la cinta, ahora se debe medir sobre el objetivo, obteniendo otro dato de temperatura. Ahora lo único que queda es buscar el dato apuntado anteriormente, probando a modificar la emisividad, hasta dar con él.

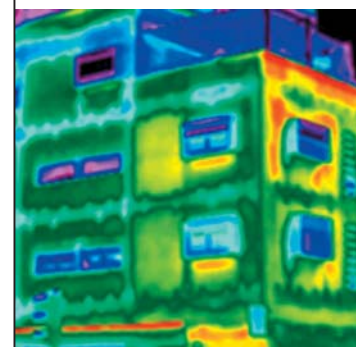
Una vez que se tiene la temperatura sobre el objetivo, igual a la temperatura anotada, el valor de emisividad será correcto.

Ojo, tener en cuenta que cuando se va cambiando la emisividad, cambia la medida del objetivo y la medida sobre la cinta aislante, de ahí que digamos que se debe anotar el dato.

En resumen:

- 1) Se calcula T_{REFL} usando papel de aluminio arrugado.
- 2) En parámetros de objeto, $\epsilon = 1$ y $d = 0$. Se selecciona la herramienta área y se mide sobre el papel de aluminio.
- 3) El dato de T_{REFL} es ya definitivo, se lleva a parámetros de objeto.
- 4) Se calcula ahora ϵ usando cinta aislante negra colocada sobre el objetivo.
- 5) En parámetros de objeto, $\epsilon = 0$ y $d = 1$.

Cómo medir la temperatura con la cámara termográfica



- 6) Se mide sobre la cinta, ahora con el medidor puntual y se anota la temperatura en el cuaderno.
- 7) Se mide ahora sobre el objetivo. Se tiene otra temperatura.
- 8) En parámetros de objeto, se modifica ϵ hasta igualar la temperatura del objetivo con la anotada en el cuaderno.
- 9) Cuando se obtienes, ese es ya su valor de emisividad y su temperatura real.



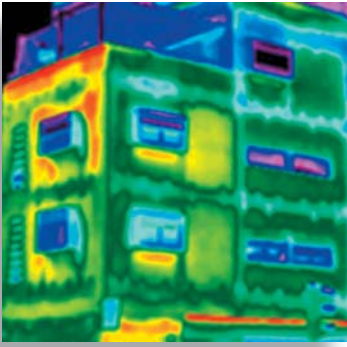
Figura 6. Imagen infrarroja de un automático, papel de aluminio y cinta negra.

Sobre el automático de la Fig. 6 se colocó, además del papel de aluminio, un trozo de cinta aislante negra en la parte inferior.

Esto puede parecer complicado y laborioso, pero acaba siendo con la práctica algo muy sencillo y mecanizado.

Existe un pequeño atajo y es, usar las conocidas **tablas de emisividades**. ¡ERROR!.

No debemos fiarnos de las tablas de emisividad, son tablas para materiales estándar y con definiciones o traducciones del inglés a veces ambiguas (acero desgastado,... pero ¿cuánto?). Nosotros trabajamos con materiales y cuerpos reales, con su pequeña historia detrás (oxidación, pulido, partículas depositadas, en exterior o en interiores, etc.). La tabla dará una idea aproximada, pero si se recurre a ella es porque se debe conocer la emisividad del cuerpo que se mide, entonces se debe calcular por uno mismo, sin atajos.



LAS VENTANAS INFRARROJAS Y SU USO CRECIENTE

Mencionaremos algo acerca del uso creciente de las ventanas infrarrojas para facilitar inspecciones más seguras y eficientes de equipos eléctricos energizados, ya que hoy en día, casi todos los fabricantes de paneles eléctricos regularmente instalan ventanas infrarrojas durante el proceso de fabricación.

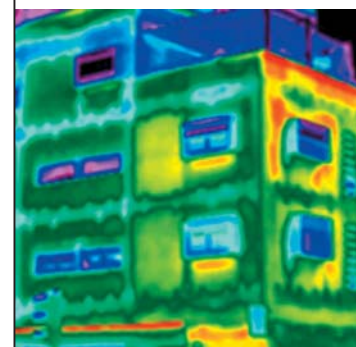
Una ventana se usa para separar ambientes de presiones o temperaturas diferentes, mientras permitiendo que pase energía a una longitud de onda electromagnética especificada entre los dos ambientes.

Una ventana infrarroja (ventana de visualización, panel de visión, «sight-glass», puerto o parrilla) es un término genérico usado para describir un punto de inspección diseñado para permitir que la radiación infrarroja pueda transmitir al ambiente exterior. Es decir, una ventana infrarroja es un punto de recolección de información para una cámara térmica.

Todas las ventanas infrarrojas deben cumplir con los requisitos de fortaleza física, rigidez, y del ambiente de los equipos en cuales se instalan. También deben ser compatibles con todos los equipos infrarrojos en uso.

Algunas ventanas infrarrojas son carcasas con un centro abierto, y una cubierta de protección. La carcasa de la ventana IR contiene una parrilla o un óptico. El diseño, tamaño y material usado se eligen dependiendo del campo visual requerido, compatibilidad con los lentes de la cámara, el ambiente previsto, requisitos de sellado y consideraciones de seguridad.

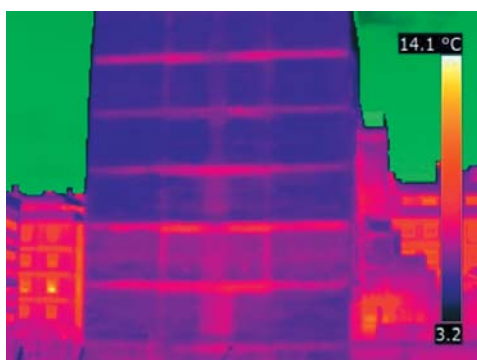




10 UN MUNDO DE APLICACIONES

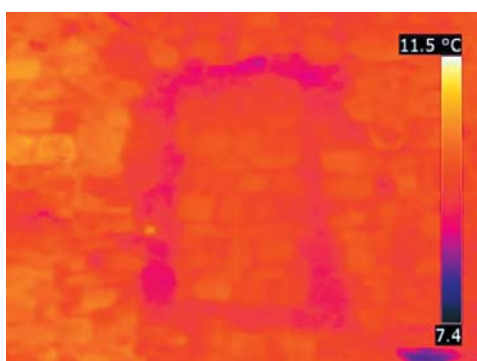
Después de todo lo explicado anteriormente se despliega un abanico impresionante de aplicaciones para la Termografía. Si ahora mismo se tuviera una cámara termográfica en la mano, se estuviera donde se estuviera, se podría realizar una inspección termográfica y comprobar ya, seguramente, algunas anomalías ocultas a simple vista pero no para la cámara y el ojo entrenado.

A continuación se muestran algunas de las más comunes aplicaciones de la termografía infrarroja.



Diagnóstico en la edificación:

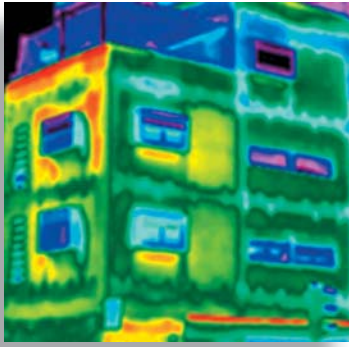
Se trata de uno de los campos más amplios y con más proyección quizás. A pesar de la grave crisis que atraviesa, se están dedicando recursos a la rehabilitación de edificios, el control de calidad en las viviendas acabadas, las pequeñas y grandes reformas y un largo etcétera.



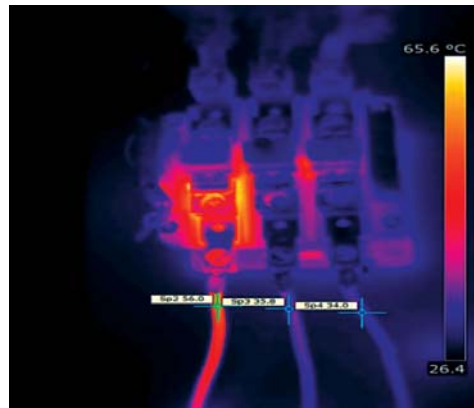
Patrimonio histórico-artístico:

Como el ejemplo que se muestra, donde se utilizó esta técnica para localizar antiguos cerramientos tapados en reformas sucesivas llevadas a cabo en un edificio histórico.

Al igual que otras técnicas (rayos X) también se está utilizando ahora para rehabilitar cuadros de importante valor histórico.



Guía de termografía infrarroja



Electricidad:

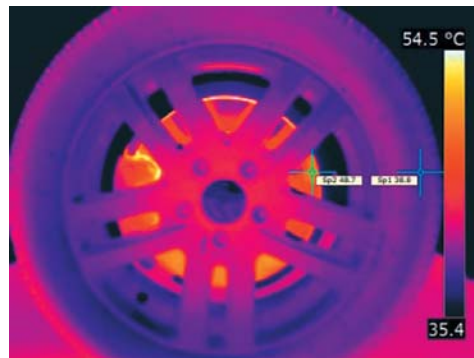
Tanto en alta tensión como en baja tensión, su desarrollo en este campo ha sido enorme ya que es quizás donde primero comenzó a aplicarse.

Sobretensiones o diferencias de temperatura entre fases, siempre sin manipular los contactos en tensión, evitando así el potencial peligro del usuario y evitando parar el proceso.



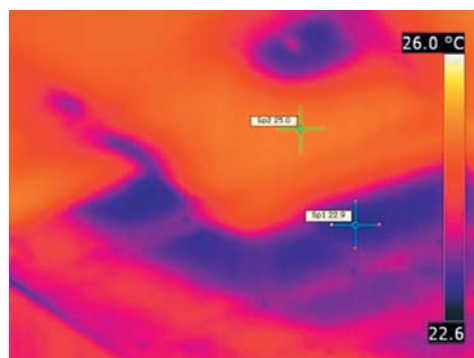
Instalaciones mecánicas:

Se evalúan las instalaciones mecánicas de climatización, agua caliente sanitaria, protección contra incendios, se analiza el estado de los componentes, posibles obstrucciones en la valvulería, depósitos de sedimentos en tuberías provenientes de restos de soldaduras, etc.



Automoción:

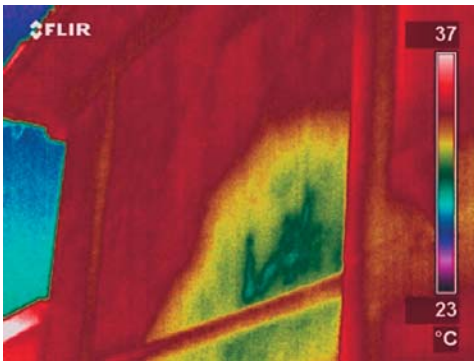
Sobre el vehículo se puede controlar la temperatura que alcanzan los discos tras una frenada, analizar la distribución de la calefacción de los asientos o comprobar el aislamiento del habitáculo de los ocupantes.



Detección de humedades:

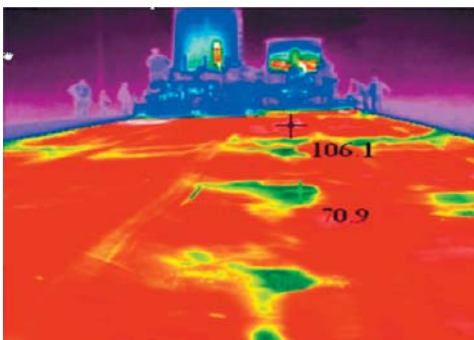
Se localizan las zonas húmedas debido a filtraciones de agua de las cubiertas, o provenientes de fugas en la instalación.

El patrón que deja el agua es siempre muy característico y pronto aprenderemos a diferenciarlo.



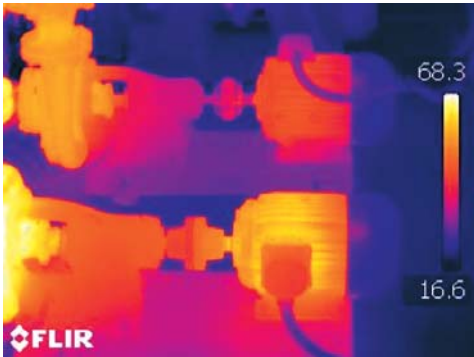
Control de plagas:

Se pueden localizar las galerías que dejan las termitas en la madera, ya que éstas son en definitiva huecos de aire, los cuales quedan de manifiesto en la termografía al contrastar con la temperatura de la madera.



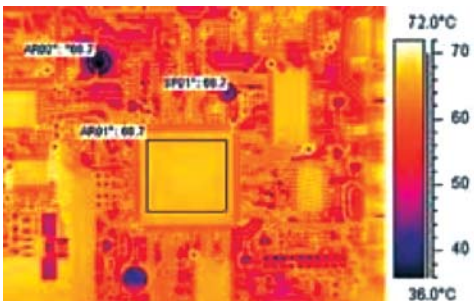
Obra civil:

En este caso, se está reparando una carretera en la que se puede observar con la termografía las partes dañadas que van a ser cubiertas por el nuevo asfalto, que tendrá un aspecto más homogéneo al acabar el trabajo.

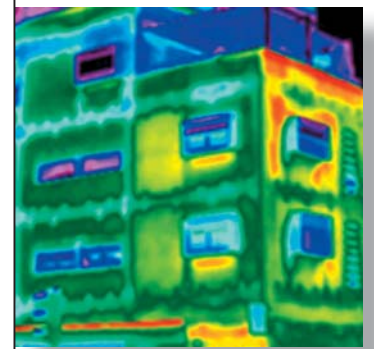


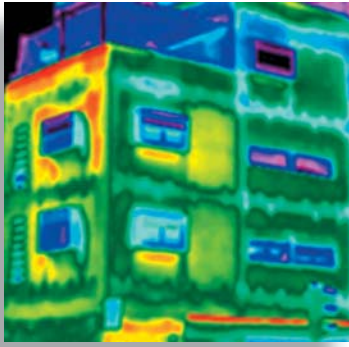
Mantenimiento preventivo:

En base a datos históricos de termografías (trending), se puede anticiparse a posibles problemas técnicos y prevenir paradas no programadas que pueden afectar al proceso o cadena de fabricación.



Electrónica y componentes.





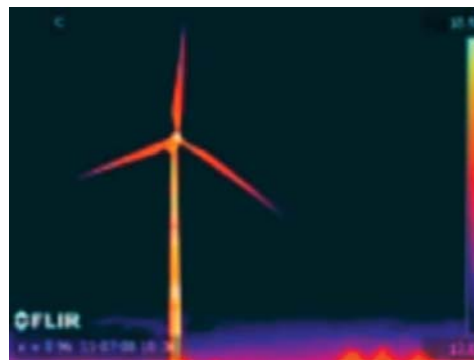
Guía de termografía infrarroja



Termografía aérea, planes urbanos de eficiencia energética.



Control de calidad de productos en cadenas de montaje o fabricación de componentes.

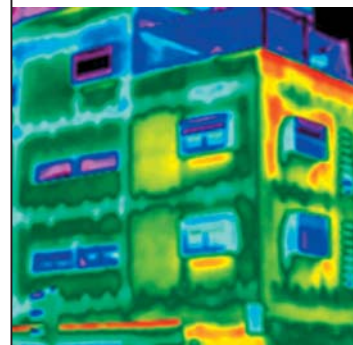


Energía eólica:

Tanto para la inspección durante su funcionamiento como para controlar el proceso de fabricación de sus componentes, sobre todo las palas.

La lista de aplicaciones se puede seguir incrementando: procesos industriales, control de calidad de productos, peritajes, medicina y veterinaria son también campos en los que la termografía ayuda al diagnóstico de patologías y otras lesiones. En fin, un mundo de aplicaciones tras la inversión en una cámara termográfica.

La que más nos interesa, la edificación, es una de las más complejas, pues en la edificación intervienen numerosísimos factores y áreas de conocimiento como la propiedades de los materiales (aislantes o no, los acabados, etc.), la electricidad (cuadro eléctricos de B.T., centros de transformación, placas electrónicas), la calefacción o el aire acondicionado, redes de tuberías y otras canalizaciones y mucho más. Además, pequeñas variaciones de temperatura conllevan grandes fallos en el sistema global del edificio.



La **Termografía** sin duda es un gran aliado para el sector de la edificación, tan amplio y con tanta tradición en España, y es una gran desconocida, así que aprender esta técnica dará grandes ventajas.

Se podría dedicar una guía de termografía completa a este sector. Se puede hablar del valor que caracteriza de forma global la transmisión de calor a través de las distintas capas de un muro, el conocido **Coefficiente U**,

$$Q = U (T_i - T_e)$$

Conociendo las temperaturas superficiales, la temperatura del aire interior (i) y la del exterior (e) y la resistencia superficial (T sup) podríamos aproximarnos al valor de U del muro (hablando en condiciones estacionarias), según:

$$T_{sup\ i} = T_{aire\ i} - U R_i (T_{aire\ i} - T_{aire\ e})$$

Como la termografía da una medida instantánea, se puede considerar estacionaria (para ese instante).

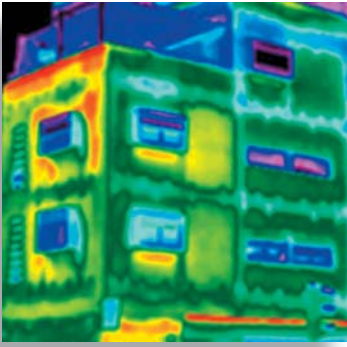
Otra aplicación muy interesante donde la termografía resulta fundamental es usada en conjunto con un test puerta-ventilador, esto es el Test de Blower Door.

EL TEST DE INFILTRACIONES O BLOWER DOOR

Resumiremos un poco esta técnica en la que, mediante un ventilador asociado a un software específico y el uso de la termografía, se evalúa la estanqueidad de la envolvente del edificio, un requisito previo muy importante para analizar la eficiencia energética, tanto en edificios de nueva construcción como en el caso de proyectos de rehabilitación de edificios existentes.

Es, asimismo, un aspecto esencial para la garantía de calidad, ofreciendo su aplicación numerosas ventajas como:

- Disminuir las pérdidas energéticas por causa de las infiltraciones no deseadas en la envolvente del edificio.



Guía de termografía infrarroja

- La eliminación de corrientes de aire no deseadas aumentando significativamente el nivel de confort en el interior.
- Evitar los daños estructurales causados por la incidencia de humedad sobre los elementos constructivos.
- En el caso de edificios en rehabilitación es posible disponer una barrera de aire para alcanzar los valores recomendados por la normativa relativa a edificios de bajo consumo energético o incluso por la relativa a casas pasivas.



Figura 1. Ejemplo de Blower Door y controlador.

Esta tecnología consiste en un sistema de medición modular. Con su rango de actuación, que oscila entre 19 m³/h y 7.200 m³/h, y la posibilidad de combinar varios sistemas de ventiladores (Multifan), no hay límites para su uso en la medición de casas pasivas, viviendas unifamiliares de nueva construcción, edificios en uso y bloques de apartamentos, así como de edificios administrativos e industriales.

Para la medición, se instala un ventilador en una puerta o ventana exterior del edificio objeto (Fig. 1 y 2). El resto de puertas y ventanas exteriores deben permanecer cerradas, mientras que las interiores permanecerán abiertas. El ventilador genera un aumento o disminución de la presión interior para determinar el intercambio de aire en el edificio. La tasa de renovación de aire proporciona información acerca de las infiltraciones de la envolvente, que pueden ser detectadas y sistemáticamente eliminadas durante la medición. Esto mejora la eficiencia energética del edificio así como la calidad constructiva del mismo.

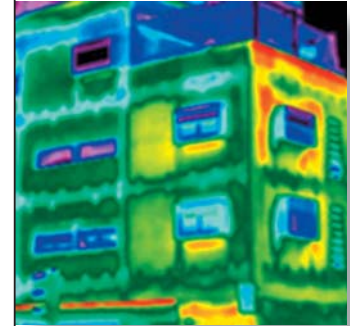
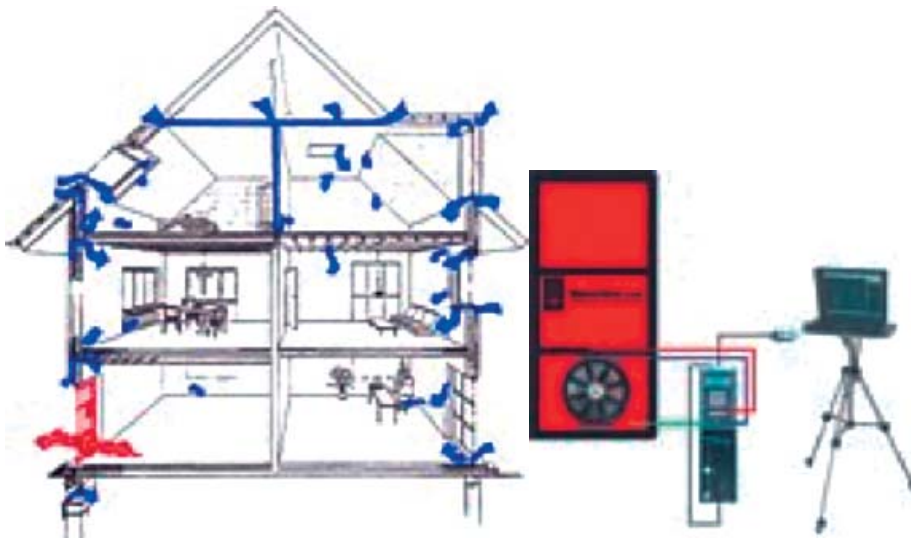


Figura 2. Medición Blower Door.

La medición Blower Door está reconocida como norma tecnológica desde 1998. La estanqueidad de la envolvente es uno de los requisitos principales para el ahorro energético en los edificios.

Las infiltraciones más frecuentes se localizan en:

- Uniones y juntas en elementos constructivos.
- Penetración de tuberías y cables a través de la barrera de aire y/o muros.
- Conexiones de diferentes materiales (ej.: materiales macizos y ligeros).
- Ampliaciones de edificios, miradores y jambas de ventanas y de puertas exteriores.
- Claraboyas, buhardillas y trampillas.

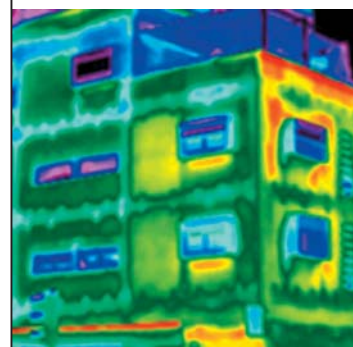


Figura 3. Termograma durante un test Blower Door.

Mediante una hoja de papel en perpendicular a la ventana (Fig. 3), podemos apreciar sobre ella la corriente de entrada de aire que provoca el ventilador.

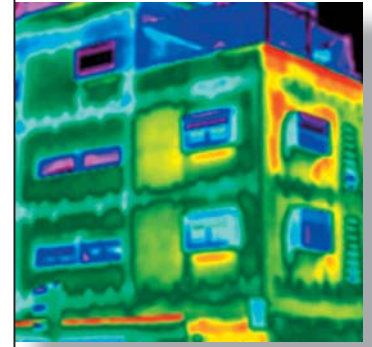
11

CASOS PRÁCTICOS



11.1. Introducción y test de imágenes infrarrojas para el lector...	109
11.2. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja en la rehabilitación energética de una comunidad de vecinos tipo bloque	115
11.3. Aplicación termográfica en el comportamiento térmico de viviendas de Navaleno (Soria)	125
11.4. Aplicación de la termografía infrarroja en instalaciones fotovoltaicas	133
11.5. Aplicación de termografía infrarroja en la auditoría energética de un edificio terciario. Detección de puntos críticos	141
11.6. Ejemplo de rehabilitación energética en el Barrio de La Luz (Avilés)	151
11.7. Identificación de problemas de humedad por medio de termografía infrarroja	165
11.8. Termografía e infiltrimetría, dos técnicas complementarias para analizar el comportamiento térmico de los edificios	171

11.1. INTRODUCCIÓN Y TEST DE IMÁGENES PARA EL LECTOR

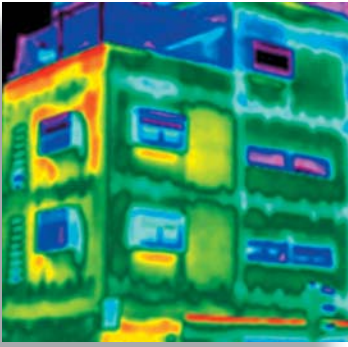


Tras la lectura de esta guía, además de comprender los aspectos fundamentales de la termografía, se han ido viendo algunas aplicaciones. Las inspecciones con cámaras de infrarrojos aportan una información muy potente y útil para los edificios, viejos o nuevos.

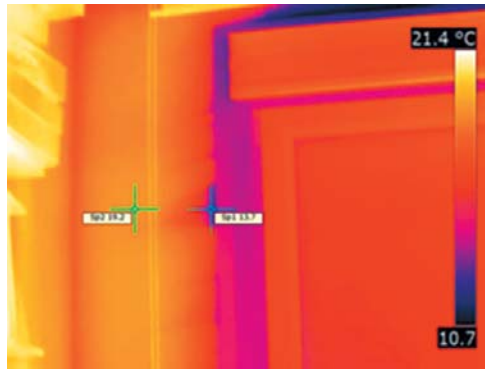
Una inspección con infrarrojos en el diagnóstico del edificio ayudará a:

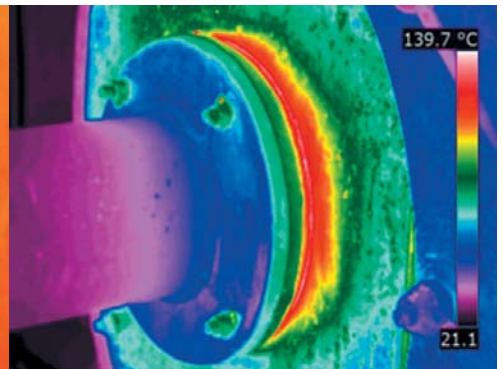
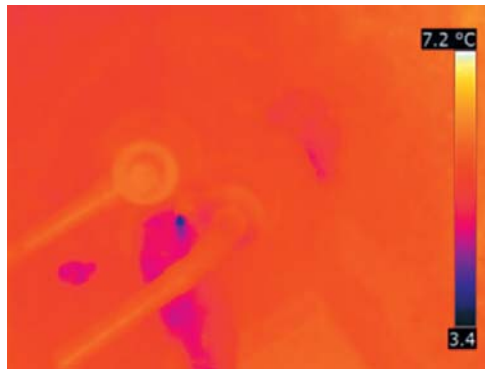
- Ver las pérdidas energéticas.
- Detectar una ausencia de aislamiento o un aislamiento defectuoso.
- Localizar fugas de aire no deseadas.
- Encontrar humedad en el aislamiento, en los tejados y muros, tanto en el interior como en el exterior.
- Detectar moho y zonas mal aisladas.
- Localizar puentes térmicos.
- Localizar goteras en tejados planos.
- Detectar roturas en las tuberías de agua caliente y localizarlas exactamente.
- Localizar averías en calefacción de suelo radiante.
- Supervisar el secado de los edificios.
- Detectar fallos eléctricos, sobrecalentamientos, etc.
- Y otras muchas que se irán descubriendo con el uso de esta técnica.

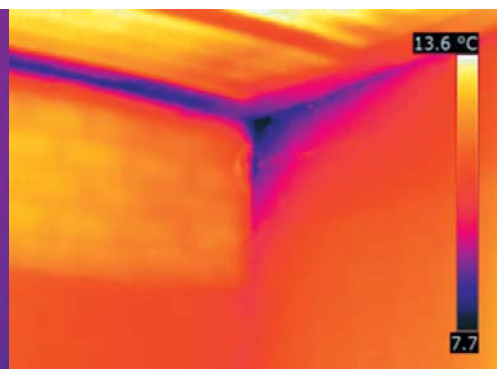
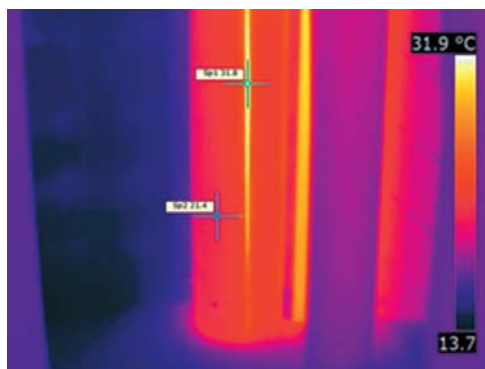
A continuación se facilitan varias imágenes termográficas que el lector puede intentar interpretar para descubrir los posibles fallos, patrones térmicos que estas muestran y dar un diagnóstico o solución. Es un ejercicio complicado, pues el lector no estuvo allí durante la inspección y la imagen termográfica, como hemos dicho, aporta tan solo el 10% de la información.

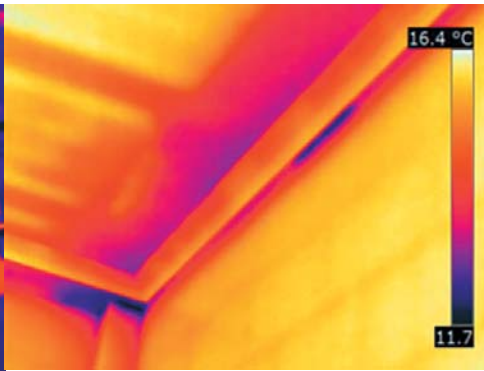
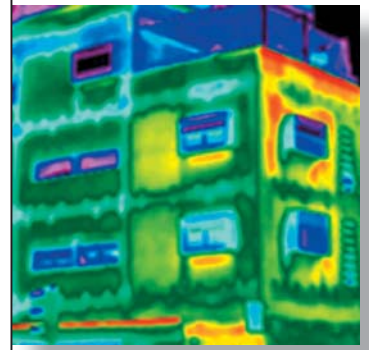


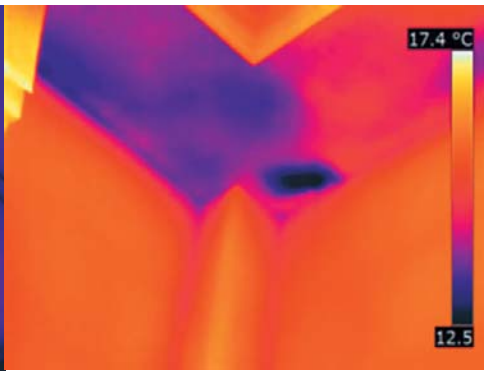
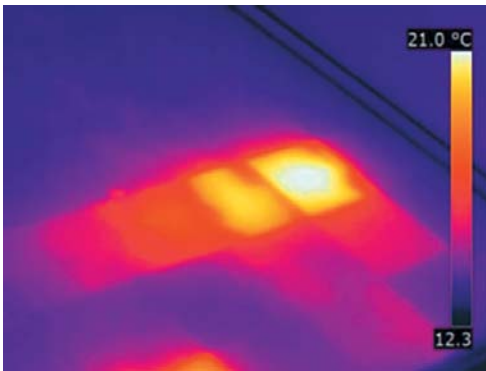
Guía de termografía infrarroja

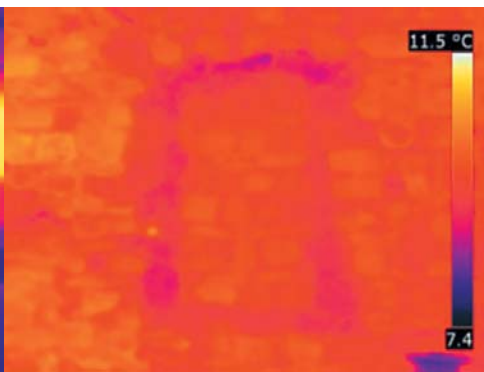
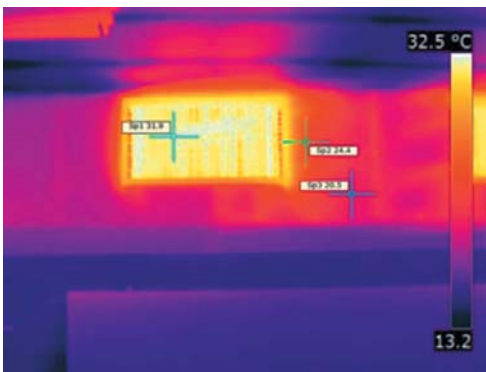


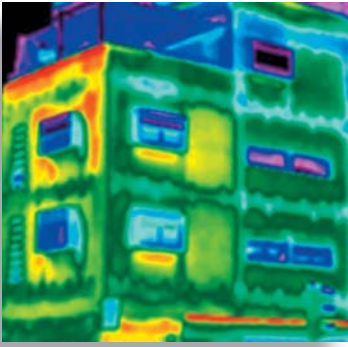




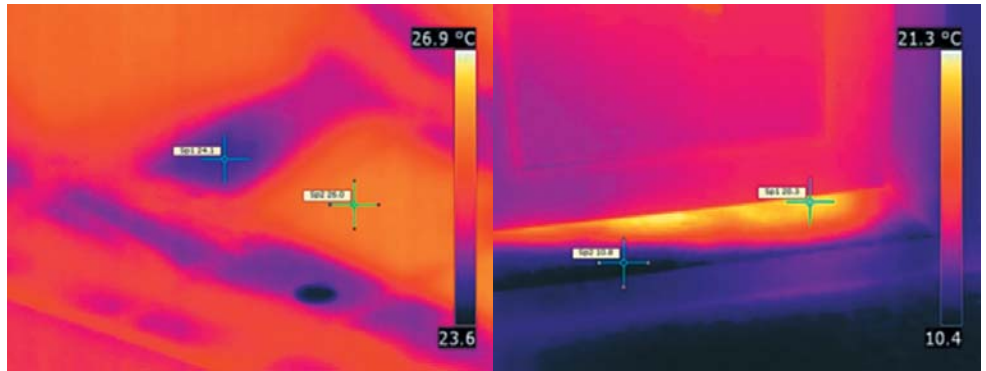


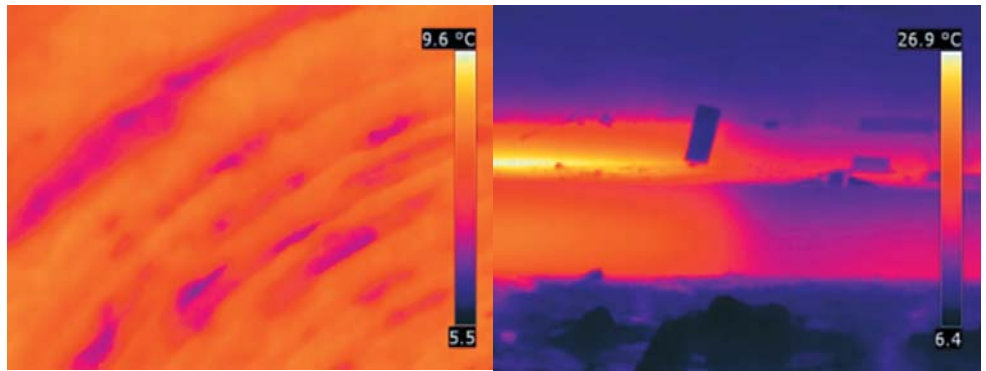


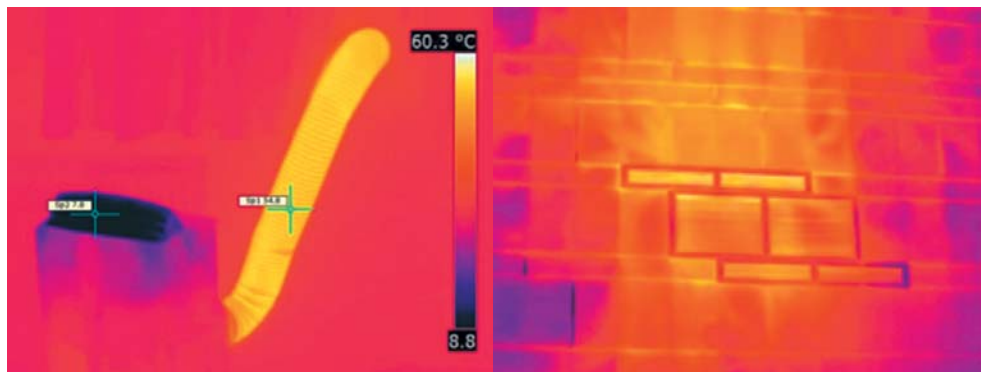


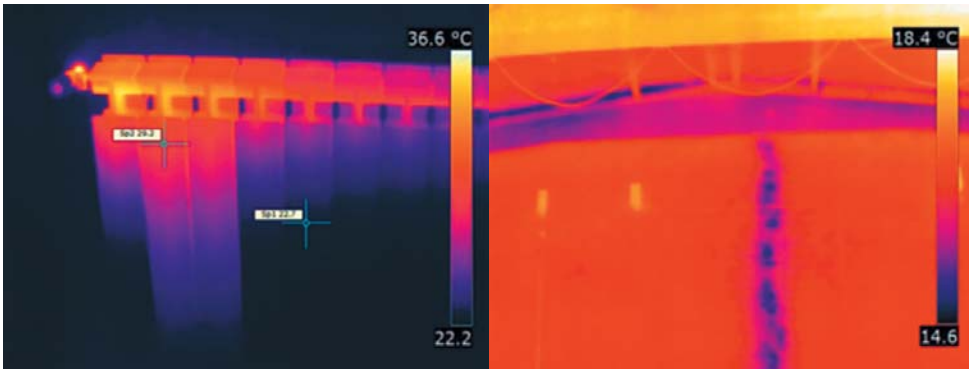
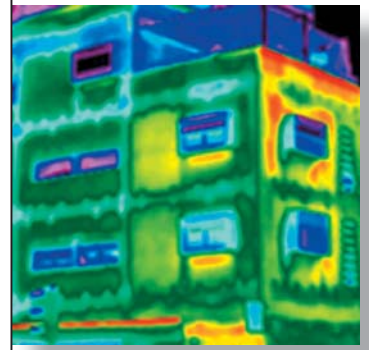


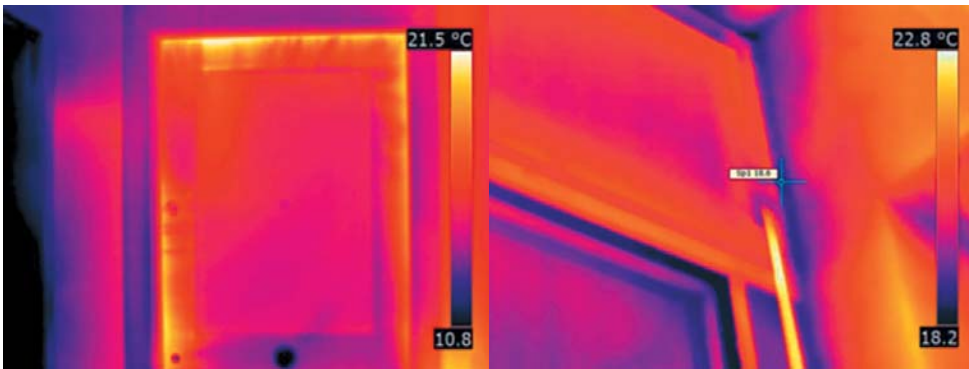
Guía de termografía infrarroja

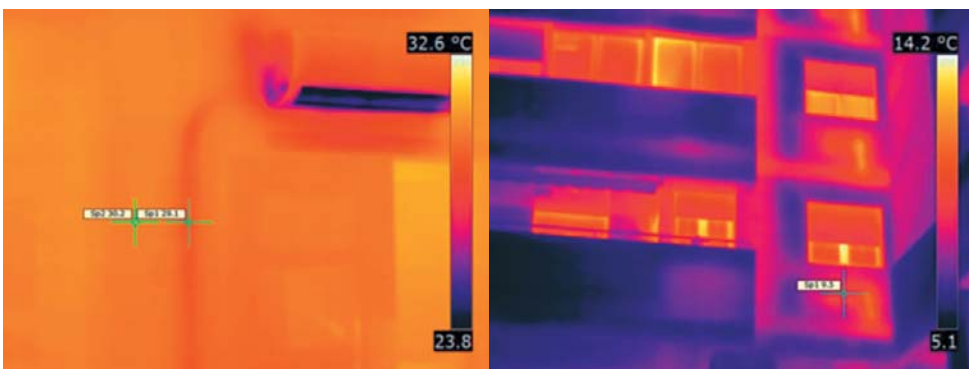


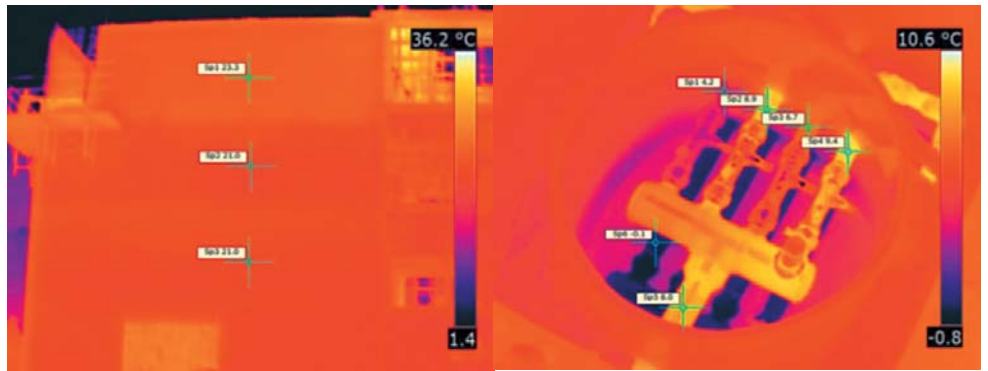
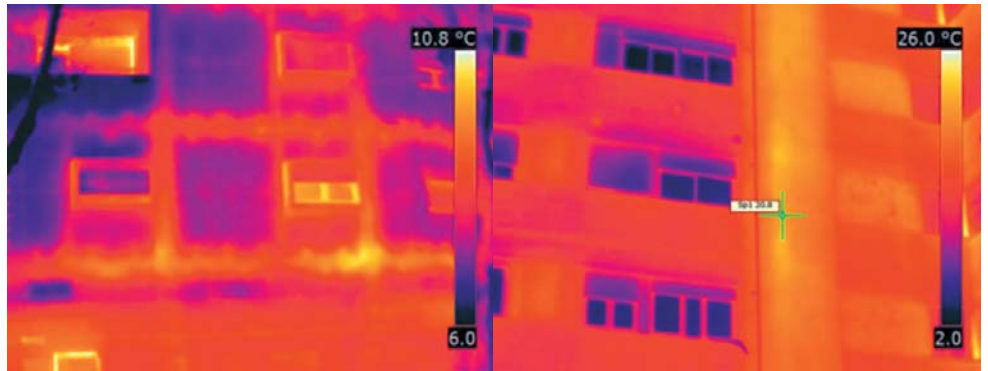


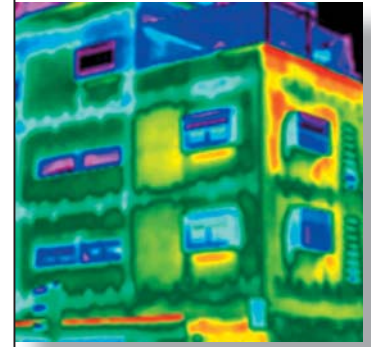












11.2. ANÁLISIS DE PÉRDIDAS ENERGÉTICAS MEDIANTE TERMOGRAFÍA INFRARROJA EN LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE UNA COMUNIDAD DE VECINOS TIPO BLOQUE

Sergio Melgosa Revillas

Termógrafo Certificado Nivel II

Director General de eBuilding

www.ebuilding.es

INTRODUCCIÓN

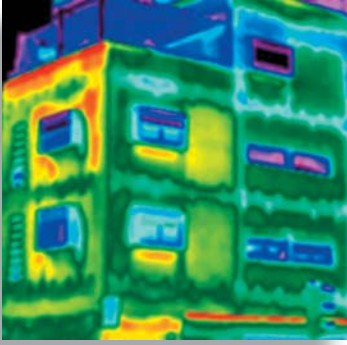
La auditoría energética que se realizó en este bloque de viviendas sirvió para determinar la necesidad de implementar diversas actuaciones en el edificio con el fin de reducir las elevadas pérdidas energéticas que sufrían las viviendas, fruto en su mayoría de la antigüedad del edificio y del desconocimiento de los avances que se han venido produciendo en el campo del ahorro energético.

Se emplearon numerosos equipos de medida para analizar distintas variables, entre otros, un analizador de redes, un analizador de gases de combustión, un luxómetro, un caudalímetro y por supuesto nuestra cámara termográfica, pues esta, además de darnos datos numéricos, aporta imágenes reales de la situación del edificio, y esta diferencia fue la que consiguió hacer ver a los representantes de los vecinos, la necesidad de implementar poco a poco los cambios propuestos.

Esto que acabamos de decir es importante pues no siempre nuestro cliente es conocedor del campo del que le estamos hablando, el ahorro energético en edificación e instalaciones, y presentarle datos numéricos, tablas o gráficos, no nos va a ser tan útil como el mostrarle imágenes reales de su edificio y sus pérdidas energéticas.

El conjunto de medidas propuestas en la auditoría de este edificio fueron:

1. Sustitución de la antigua caldera de gasóleo del año 1970 por una nueva de **biomasa**.



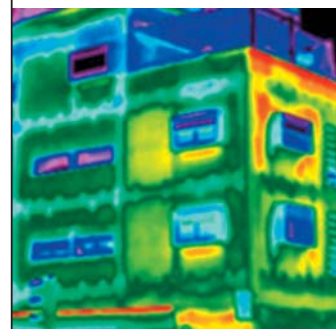
Guía de termografía infrarroja

2. Reforma de los circuitos de calefacción y A.C.S. en la sala de calderas e instalación de un sistema de **control automático** que gestione las instalaciones.
3. Sustitución de la iluminación convencional del garaje por luces tipo **LEDs** con detectores de presencia.
4. Montaje de **detectores de presencia** en zonas comunes del edificio.
5. Mejora del aislamiento térmico de las redes de tuberías de calefacción y A.C.S.
6. Realización de **3 test de infiltraciones** (Test Blower Door), en viviendas escogidas al azar para evaluar el grado de estanqueidad de las mismas.
7. Solución de las pérdidas energéticas de calefacción a través de la envolvente del edificio.
8. Sustitución de ventanas de vidrio simple por **doble vidrio**.

Para el caso práctico que nos ocupa, nos centraremos en las medidas 4 y 5.



Fotografía 1. Vista de una de las tres torres del edificio de viviendas objeto de estudio. Fachada Sur - Suroeste recibiendo la luz del sol y fachada Oeste - Noroeste en sombra.



DESARROLLO

Como hemos dicho anteriormente, nos centraremos en dos de las medidas propuestas en la auditoría energética del edificio.

Mejora del aislamiento térmico de las redes de tuberías de calefacción y A.C.S.

Debido a las grandes distancias que recorren las redes de tuberías de calefacción y A.C.S. se hace indispensable que su aislamiento térmico sea del todo efectivo. Nos consta que es un edificio con una elevada inercia térmica y existen numerosas quejas de los vecinos de las plantas superiores en relación con la calefacción. Nos encontramos con un aislamiento muy deficiente en cuanto a que en numerosos tramos estaba despegado y en otros ni existía, además de tener un espesor por debajo del que marca el RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios) para este uso, en su IT 1.2.4.2 y que aquí mostramos:

Tabla 1. Tabla 1.2.4.2.1 del RITE, espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el interior de edificios.

DIÁMETRO EXTERIOR (mm)	TEMPERATURA MÁXIMA DEL FLUIDO (°C)		
	40...60	> 60...100	> 100...180
$D \leq 35$	25	25	30
$35 < D \leq 60$	30	30	40
$60 < D \leq 90$	30	30	40
$90 < D \leq 140$	30	40	50
$140 < D$	35	40	5

En concreto, el espesor actual del aislamiento era de 9 mm, además de estar muy cuarteado por su antigüedad y prácticamente desprendido de la tubería. Según la tabla del RITE, le corresponderían 30 mm de espesor.

En la tabla que mostramos a continuación, podemos ver las pérdidas de calor en las tuberías en función del espesor del aislamiento y el salto térmico, encontrándose nuestro edificio en la siguiente situación:

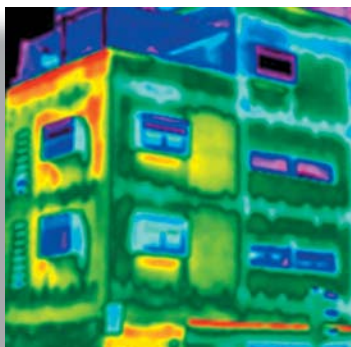


Tabla 2. Pérdidas de calor en tuberías en función del espesor del aislamiento y el salto térmico.

DIÁMETRO EXTERIOR	SALTO TÉRMICO	PÉRDIDAS DE CALOR EN TUBERÍAS (W/m)		
(mm)	(°C)	ESPESOR DEL AISLAMIENTO (mm) ($\lambda=0,036$ W/mK)		
		Para 10 mm	Para 30 mm	Diferencia o ahorro
60	20	12,4	6,1	6,3
76	20	15,1	7,2	7,9

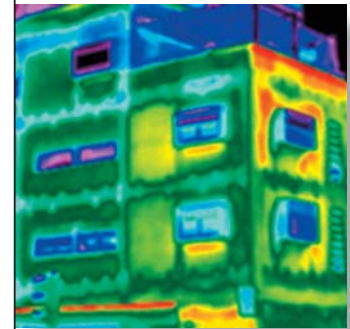
* Extracto de la tabla publicada por Atecyr en su Anuario de Climatización y Refrigeración 2010.

Como hemos dicho, el aislamiento tiene un espesor de 10 mm, así, vemos que por cada metro de aislamiento sustituido a 30 mm, ganaremos 7,9 W/mK en el caso de la tubería de diámetro exterior de 76 mm para calefacción, y 6,3 W/mK en el caso de la de 60 mm exteriores de ACS. Estos 7,9 W/mK serán el mínimo teórico, pues realmente, debido a que hay tramos sin ningún aislamiento y el que está colocado está prácticamente desprendido, podemos hablar de bastante más energía perdida sólo en conducir el calor desde el generador (la caldera) a las viviendas. Además, hemos considerado un salto térmico de 20 °C, siendo algo conservadores en el cálculo.

El trazado de estas tuberías discurre por la planta -2 del garaje, y sube por tres patinillos a cada una de las tres torres de viviendas, esto es una longitud ya considerable como para que la medida adoptada tenga un período de retorno razonable.

El cálculo de las pérdidas energéticas de calefacción sería así:

A	Pérdidas energéticas	7,9 + 30% estimado de trazado en mal estado 10,27 W/mK
B	Longitud total de tubería a sustituir (m)	464,4
C	Total pérdidas (W/mK), (A x B)	4.769,4
D	Total pérdidas (kW)	4,8
E	Horas de uso al día	14
F	Días al año de uso	180
G	kW ahorrados por temporada	12.018,86
H	Coste del Gasóleo (€)	0,08



I	Ahorro anual (€), (G x H)	961,51
J	Presupuesto estimado de ejecución (€)	7.786,00 €
K	Período Retorno (años)	5,9

Para el cálculo de las pérdidas energéticas de A.C.S. el procedimiento es el mismo pero para un uso estimado de 14 horas al día y durante todo el año (365 días).

A continuación se muestran algunas termografías de la redes de tuberías:



Planta -3 de garaje

Detalle de las redes de tuberías de calefacción y agua fría. Se puede apreciar el deterioro del aislamiento existente que incluso se transmite a la soportación.

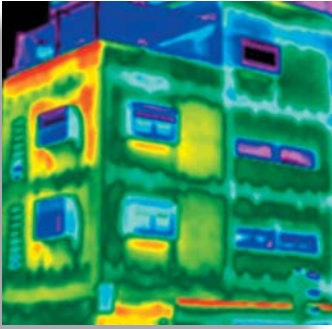


Planta -3 de garaje

Unión de tramos de aislamiento sin sellar, rompiendo la hermeticidad del mismo. También se aprecia el desprendimiento de parte del aislamiento por el deterioro del adhesivo, creando bolsas de aire.



Gráfica extraída de la termografía anterior en la que se muestra las consecuencias de la rotura del aislamiento térmico de las tuberías.



Guía de termografía infrarroja



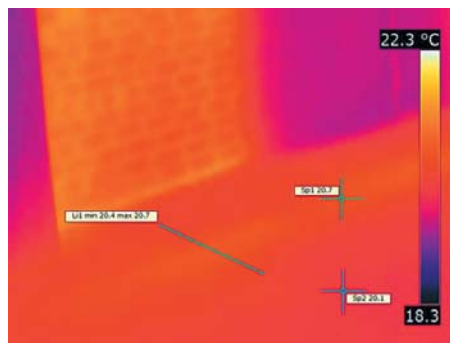
Planta -3 de garaje

Los dilatadores tampoco se encuentran convenientemente aislados, actuando como dos potentes emisores de calor. En total son 4 los dilatadores.



Planta -3 de garaje

Detalle de la mala unión del aislamiento con la tubería. Vemos además el insuficiente espesor utilizado.



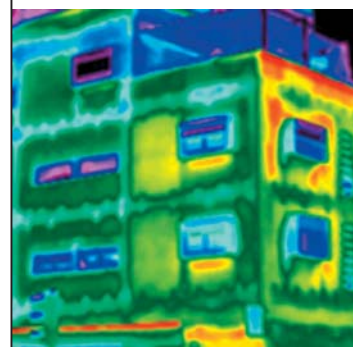
Planta -2 de garaje

Desde la planta superior podemos apreciar por donde discurren las tuberías debido al calor desprendido. Es como tener un garaje calefactado. Se aprecia también el muro de ladrillo a elevada temperatura al discurrir por detrás el patinillo con las verticales mal aisladas.



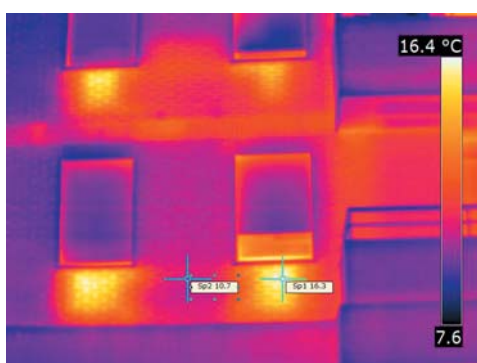
Planta calle

Las tuberías distribuyen el calor mediante montantes. Vemos aquí que incluso por el falso techo de la planta 0, discurren sin aislar.



Solución de las pérdidas energéticas de calefacción a través de la envolvente del edificio

En este punto nos referimos concretamente a las pérdidas que se producen en los radiadores como consecuencia de estar montados encastrados en el muro exterior, lo que era una práctica habitual hace años y que nos encontramos muy habitualmente en viviendas antiguas.



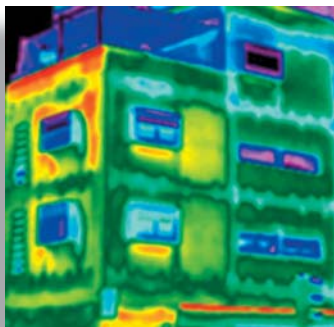
Vista desde el exterior de las viviendas calefactadas. La presencia de los radiadores se hace muy notable al estar colocados encastrados en el muro exterior, que pasa de un espesor aproximado de 30 cm, a 10 cm, incrementando por tanto la transmisión de calor al exterior.

Hasta 5,6 °C existen de diferencia entre la parte del muro exterior con radiador y la que lo rodea.

Siendo una comunidad de vecinos de 128 viviendas habitadas, podemos decir que en un 95%, y estimando una cantidad de radiadores por vivienda de 8 radiadores, tenemos más de 800 radiadores con este problema.

En números, y con los datos facilitados por los representantes de los vecinos, sería así:

A	Fachada estimada de calidad media/baja	
B	Coeficiente de transmisión en la pared detrás de la hornacina del radiador (muro de 10 cm)	2,85 Kcal/h m ²
C	Temperatura media en invierno en Madrid	4 °C
D	Temperatura de la pared que está junto al radiador	45 °C
E	Superficie estimada afectada por la proximidad del radiador	1,2 m ²
F	Pérdida de calor por transmisión en el muro de 10 cm	$1,2 \times (45-4) \times 2,85 = 140,22$ Kcal/h
G	Una casa media tiene 5 radiadores que den a la fachada exterior	$5 \times 140,22 = 701,1$



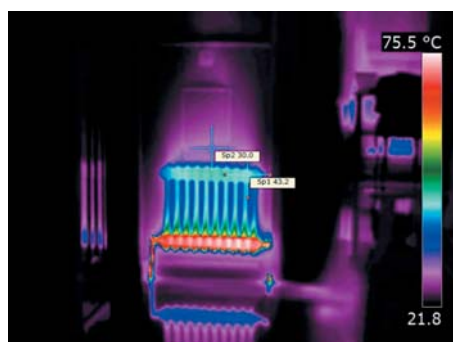
Guía de termografía infrarroja

H	Funcionamiento estimado de calefacción, 10 Horas/día	$10 \times 701,1 = 7.011,0$ Kcal/día
I	Época de calefacción, 5 meses al año	$7.011 \times 153 \text{ días} =$ $1.072.683 \text{ Kcal/año}$
J	Potencia térmica del litro de gasóleo	9.500 Kcal/kg (estimamos 1 litro = 1 Kilo)
K	Pérdidas de una vivienda en 1 año	$1.072.683 / 9.500 =$ 112,91 Litros
L	Coste del gasóleo (0,8 €/l)	$0,8 \times 112,91 = 90,33$
M	Nº total de viviendas afectadas (128)	$128 \times 90,33 =$ 11.562,39 €/año

Hemos estimado unas pérdidas energéticas equivalentes a 11.562,4 € en un año, una cifra considerable. Si tenemos en cuenta el parque de viviendas en las que este problema existe, podemos estar hablando de millones de euros atravesando los muros de las viviendas para simplemente perderse en la calle. Merece la pena pues, detenerse en este problema energético tan común en el parque de viviendas antiguas que existe.

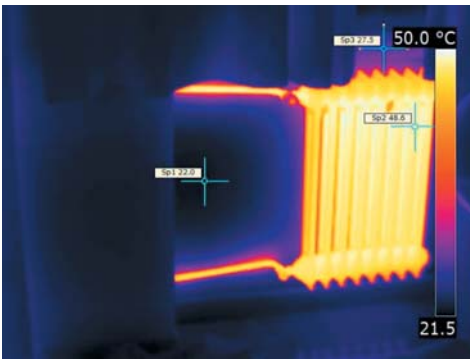
Se pueden plantear distintas soluciones a este problema, en función de la dificultad para implementarlas, por ejemplo se puede desmontar el radiador para pintar la superficie de detrás de él con pintura termorefectante, o colocar aislamientos térmicos de espesor reducido (existen en el mercado numerosos fabricantes de este tipo de aislamientos) y si se es un poco habilidoso se puede hacer esto sin desmontar el radiador. En el caso de estas viviendas, se ha optado por esta solución y se están haciendo pruebas con distintos tipos de aislamiento para cuantificar el mejor resultado y la mejor relación coste / ahorro.

A continuación se ve con algo más de detalle el origen del problema.



Este radiador interior no está montado encastrado. Podemos ver claramente la denominada pluma (color morado) que provoca la circulación por convección del aire caliente.

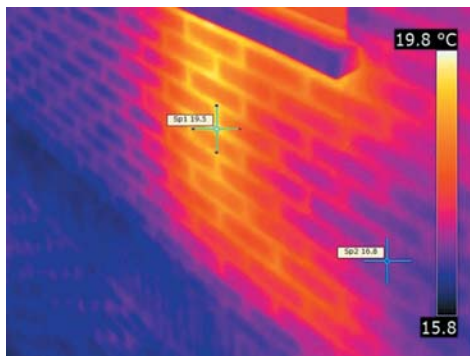
La diferencia de temperatura entre la parte superior del radiador y la pared es de unos 13 °C.



Este radiador sí está encastrado y está colocado en la pared exterior.

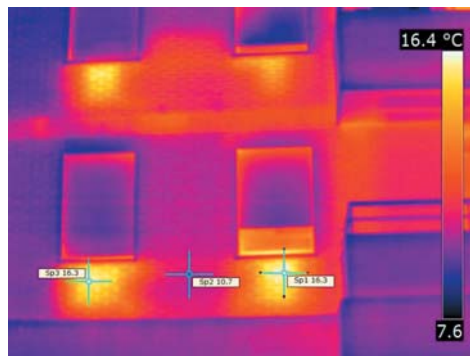
No apreciamos la pluma, pues la convección está interrumpida por un tabique.

La diferencia de temperaturas entre el radiador y ese tabique es de unos 20 °C, 7 °C más que en el caso anterior.

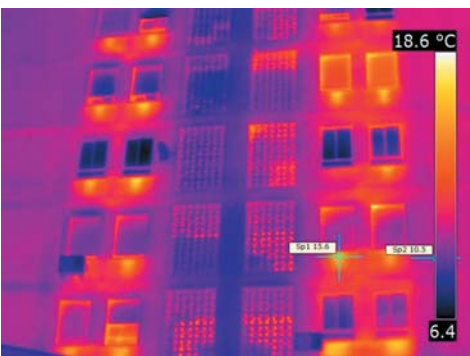


Visto desde el exterior, apreciamos la disipación de calor al exterior del radiador, motivado por la diferencia de espesor del muro exterior que pasa de un grosor unos 30 cm a apenas 10 cm donde se encastra el radiador.

Literalmente, estamos calentando la calle.

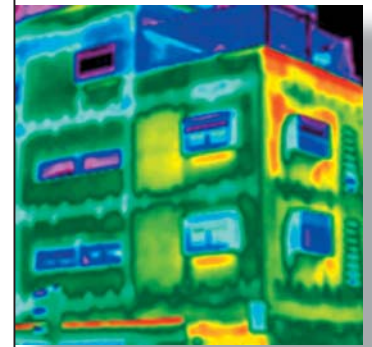


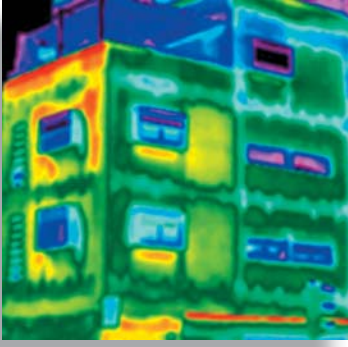
Detalle general de la fachada exterior con las viviendas con la calefacción en funcionamiento y perdiendo energía térmica a través del muro exterior.



Detalle general de la fachada donde apreciamos mejor el problema común de las viviendas.

En la imagen termográfica predominan más los tonos amarillos y naranjas, propios de las temperaturas altas.





CONCLUSIÓN

En el caso de esta auditoría energética de un edificio, el uso de la termografía ha demostrado ser fundamental, no sólo por aportar datos reales a partir de los cuales podemos hacer los cálculos energéticos que necesita el informe y extraer conclusiones, además, las imágenes sirvieron para demostrar al cliente, de manera clara, el problema que presenta su edificio.

Las medidas adoptadas se han ido implementando poco a poco, con las nuevas termografías que se tomen en la siguiente temporada de calefacción, el cliente podrá ver las mejoras obtenidas en el edificio y comprobar el ahorro que suponen.

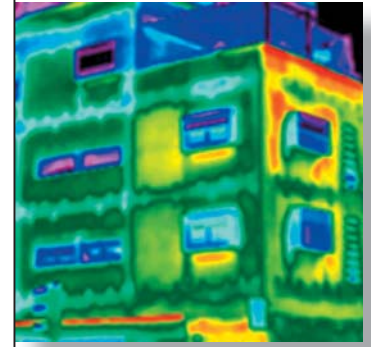
11.3. APLICACIÓN TERMOGRÁFICA EN EL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE VIVIENDAS DE NAVALENO (SORIA)

Miguel Ángel Carrera

Termógrafo Certificado Nivel II ITC

Director Técnico de TermaGraf

www.termagraf.com

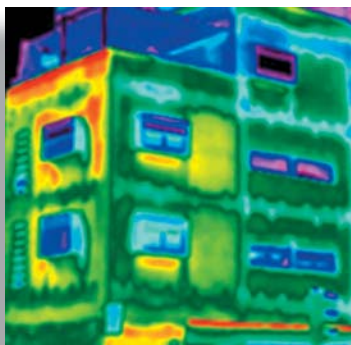


INTRODUCCIÓN

El objeto de este artículo es mostrar las posibilidades de la técnica termográfica como herramienta para localizar de una manera rápida y eficaz las ineficiencias energéticas o defectos constructivos que pueden presentar los cerramientos de las viviendas y edificios de núcleos urbanos.

Actualmente se estima que el consumo de energía final en el sector residencial es del orden del 26%, situándose como el segundo más importante después del transporte, y observándose en los últimos 15 años un crecimiento sostenido. La principal razón de éste ha sido el desmesurado incremento en la construcción de nuevas edificaciones. Estas viviendas se han construido sin los adecuados criterios de eficiencia energética ni de protección térmica. A esto se añade la mayor demanda de confort térmico que implica un uso de la climatización y calefacción más intenso.

Conscientes de la necesidad de reducir el consumo energético de los edificios, las Administraciones Públicas han empezado a tomar medidas, fomentando la eficiencia energética. El 16 de Marzo de 2006 se aprobó el nuevo Código Técnico de La Edificación, con los Documentos Básicos DB – HE que determina los parámetros para aumentar la eficiencia energética de las nuevas construcciones. Al año siguiente se aprobó mediante *Real Decreto la Certificación Energética de Edificios*, y se espera la inminente aprobación del Decreto que regule la certificación energética de los **Edificios Existentes**. Estas actuaciones se suman a la aprobación, el 20 de julio de 2007, del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios RITE.



Guía de termografía infrarroja

En este contexto, la termografía es una herramienta muy eficaz para determinar un diagnóstico energético, decidir las actuaciones a llevar a cabo y comprobar la eficacia de su ejecución.

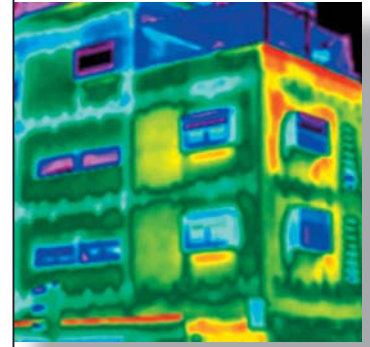
Arquitectos, ingenieros y contratistas se enfrentan a nuevos materiales y a plazos de ejecución cada vez más cortos. Se exige una planificación, supervisión y *documentación más eficiente* en lo relativo a la ejecución de sellados y aislamientos térmicos, y se deben evitar situaciones de insalubridad producidas por enmohecimientos y humedades. La termografía puede proporcionar la información necesaria para evitar estas costosas reparaciones. Además, para las constructoras o aseguradoras las imágenes térmicas de tales anomalías constituyen **pruebas irrefutables** a la hora de llegar a un acuerdo en caso de litigio y planificar las acciones correspondientes de reparación.

La demanda de construcciones energéticamente eficientes está transformando profundamente el modo de afrontar los proyectos. Para cumplir las nuevas normativas y exigencias energéticas es fundamental controlar los niveles de aislamiento térmico y estanqueidad de un edificio, manteniendo la eficacia de la ventilación controlada y calefacción.

Un edificio bien proyectado puede ser energéticamente ineficiente si no se controla la ejecución de los puentes térmicos, los niveles y colocación de los aislamientos o las infiltraciones de aire.

La inmediatez de la información visual que proporciona la termografía la hace muy adecuada para localizar y diagnosticar el estado de los edificios o defectos de ejecución, que pueden comprometer la eficiencia energética proyectada. Se convierte de este modo en una excelente herramienta de control para comprobar los aislamientos térmicos, puentes térmicos, las humedades y las infiltraciones. También permite bajo ciertas condiciones descubrir estructuras ocultas en las rehabilitaciones energéticas y artísticas.

Con este propósito se realizó una inspección termográfica en la localidad de Navaleno (Soria), que presenta edificios de muy variada arquitectura y fábrica, combinando construcciones tradicionales de piedra con edificios más modernos. En esta inspección preliminar se revisaron exteriormente los edificios ocupados y calefactados, para localizar las principales ineficiencias, y orientar los trabajos más detallados de una inspección interior.



FUNDAMENTOS

Cualquier cuerpo cuya temperatura esté por encima del cero absoluto (-273,15 °C) emite radiación infrarroja. Esta radiación no es visible, puesto que su longitud de onda está fuera de la sensibilidad de nuestros ojos (de 0,4 μm a 0,7 μm). Las cámaras que se emplean en edificación suelen operar en la banda de 8 a 14 μm (IR onda larga) debido a que la atmósfera es más transparente a la transmisión de ondas de esta longitud.

Es importante recordar que las cámaras no leen temperaturas, sino intensidades de radiación infrarroja, y ésta puede llegar desde distintas fuentes. Es labor del termógrafo determinar la radiación que procede del objeto según las diferentes emisividades y discriminar la que llegue reflejada de fuentes externas.

Asimismo, en Termografía de edificación es primordial controlar las condiciones ambientales para que las influencias perturbadoras por factores climáticos (carga solar, viento, lluvia,...) sean lo más reducidas posible.

Los distintos materiales absorben el calor de forma diferente, lo que origina diferentes patrones térmicos que hay que interpretar para evitar falsas lecturas. La absorción solar se puede aprovechar para estudiar las uniformidades de los muros, localizar zonas de humedad o controlar la adherencia de aplacados en fachadas.

Una vez controlados estos factores, con la termografía podremos determinar valores muy precisos de la temperatura superficial, y extraer conclusiones sobre el cuerpo en estudio.

En un muro, se combinan las tres modalidades de transmisión de calor:

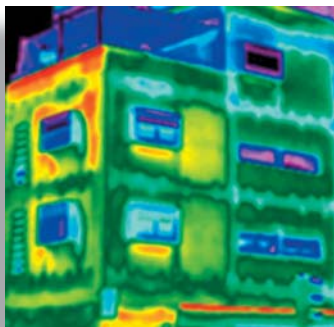
Radiación: $q = \varepsilon \sigma (T_{\text{ref}}^4 - T_{\text{sup}}^4)$

ε = Emisividad.

Σ = constante de Stefan-Boltzmann.

T_{ref} = Temperatura reflejada.

T_{sup} = Temperatura superficie.



Guía de termografía infrarroja

Convección: $q = h (T_{aire} - T_{superficie})$

h = coeficiente de convección.

Conducción: $q = \frac{k}{L} (T_1 - T_2)$

k = coeficiente de conductividad.

L = espesor del conductor.

Energéticamente, el valor que caracteriza de forma global la transmisión de calor a través de todas las capas de un muro es el coeficiente U .

$$Q = U (T_i - T_e)$$

A modo de ejemplo, indicamos los espesores necesarios de diferentes materiales para mostrar el mismo valor de resistencia térmica ($2,5 \text{ Km}^2\text{W}^{-1}$) (equivalente a un coeficiente $U = 0,4 \text{ Wm}^2\text{K}^{-1}$).

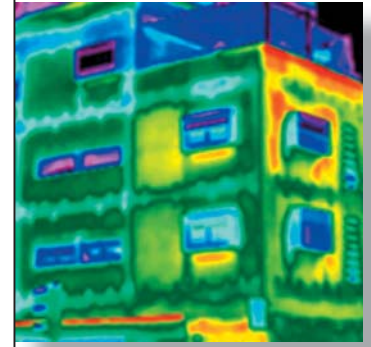
Tabla 1. Espesores necesarios de diferentes materiales.

MATERIAL	ESPESOR (m)	CONDUCTIVIDAD ($\text{W m}^{-1}\text{k}^{-1}$)
Fibra de vidrio	1,10	0,04
Madera laminada	0,45	0,18
Hormigón celular	1	0,4
Ladrillo	1,45	0,58
Hormigón ligero	1,75	0,7
Hormigón pesado	5	2
Mármol	6,25	2,5

Conociendo las temperaturas superficiales, las del aire interior y exterior y la resistencia superficial (radiativa + convectiva) podríamos aproximarnos al valor de U del muro, según:

$$T_{superficie\ interior} = T_{aire\ interior} - U R_i (T_{aire\ interior} - T_{aire\ exterior})$$

Válido únicamente para condiciones estacionarias. Las condiciones transitorias (inercias térmicas) conllevan incertidumbres muy elevadas y requieren de monitorizaciones largas. Con la termografía se pueden obtener las mejores mediciones de temperatura superficial in-situ,



pero son instantáneas, mientras que el valor de U es un promedio en el tiempo

Por ello se utiliza la termografía en edificación para aplicaciones principalmente cualitativas, como es el caso en estudio, pero actualmente está en discusión la utilización del **Índice térmico o Factor F** como parámetro para una estimación cuantitativa. Es el ratio entre la diferencia de temperatura a través del cerramiento del edificio y la diferencia entre las temperaturas del aire en el interior y en el exterior.

$$F = \frac{(T_{\text{superf. interior}} - T_{\text{aire externo}})}{(T_{\text{aire interior}} - T_{\text{aire externo}})}$$

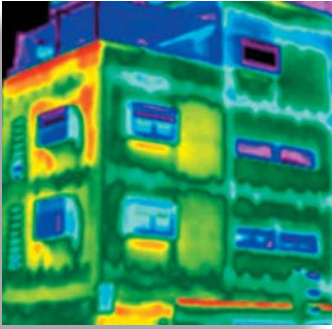
Su determinación correcta requiere condiciones estacionarias, pero puede ser utilizado para un diagnóstico rápido, y aplicarlo en inspecciones interiores para detectar fallos en el aislamiento o riesgo de condensaciones.

Basándonos en los fundamentos teóricos y en el funcionamiento interno de las cámaras termográficas, debemos controlar una serie de parámetros para la correcta lectura de una imagen térmica, como la emisividad de las superficies, la temperatura ambiente reflejada, el ajuste térmico de la imagen, la composición, el enfoque, encuadre y rango de temperaturas, el campo de visión IFOV y la sensibilidad NETD,...

Estos parámetros pueden condicionar el tipo de medición termográfica a realizar, definiéndose son tipos principales: la termografía cualitativa se basa en la detección de gradientes térmicos anómalos en el momento de la inspección, comparándolo con elementos similares en la misma condición. No se busca una medida exacta de la temperatura, por lo que los parámetros comentados anteriormente no tienen tanta influencia como en una medición cuantitativa, en la que se busca una valoración de los problemas potenciales localizados.

INSPECCIÓN

Seguidamente, se muestran varios ejemplos ilustrativos de termografía aplicada a eficiencia energética en edificación, localizados en una inspección preliminar exterior a los edificios de la localidad de Navarleno, (Soria). Los datos de la inspección son:



Guía de termografía infrarroja

Fecha	24 de abril de 2011
Hora	entre las 22:30 h y 24 h
Altitud	1.200 m
T ambiente	9 °C
Humedad relativa	42%
Viento	0,5 m/s, NWW
Cielo	Despejado
Tref.	- 28 °C
Equipo	FLIR T 620
Resolución	Microbolómetro de 640 x 480 píxeles
NETD	0,05 °C a 30 °C
Lente	24°
Empresa	TermaGraf



Muro de ladrillo enfoscado sin aislamiento. Se puede observar claramente el recorrido de la chimenea.

Grieta conectada con la chimenea bajo el alero.

Puentes térmicos en carpintería superior.

ΔT fachada = 12 °C.



Cara Este y Norte de vivienda con muro macizo de piedra arenisca de 60 cm de espesor.

Construcción típica con materiales de alta densidad, alta conductividad y alta inercia térmica.

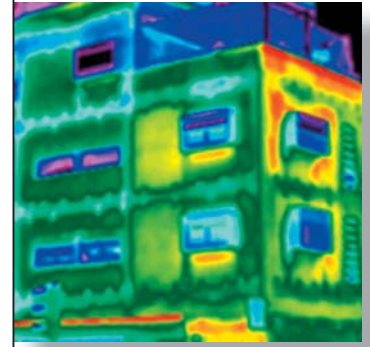
Esto produce tres efectos:

- Retardo de transmisión de calor elevado (posible de 12 horas).
- Variaciones de temperatura interior mínimas.
- Diferencia de temperaturas interior y exterior pequeñas.



Defecto constructivo en la chimenea que origina pérdidas localizadas de calor.

La planta superior recibió más carga solar durante el día que la planta inferior. La elevada inercia térmica de la piedra hace visible este efecto varias horas después de cesar la insolación.



Residencia de ancianos. La caldera se encuentra ubicada en el sótano del edificio, y la chimenea discurre íntegramente por el exterior, con elevadas pérdidas.

Se observan también los puentes térmicos de las carpinterías de los ventanales.

Temp. exterior chimenea = 26 °C.



Puentes térmicos en carpinterías de ventanas.

La ventana superior central tiene problemas de hermeticidad, mientras que la inferior central está abierta, con marcada zona de humedad en su dintel.

Es visible la huella térmica de los radiadores bajo las ventanas.



Fachada Sur. El muro de ladrillo dispone de menor densidad, y una conductividad e inercia térmica intermedias. El aislamiento del muro no alcanza a los forjados ni dinteles. La temperatura de los frentes de forjados varía, en correspondencia con la situación de los radiadores.



La caldera de gasóleo de esta vivienda unifamiliar se encuentra en el garaje (derecha) y es visible su falta de aislamiento. La transmisión térmica de la fachada hace visible parte de su estructura y los grandes puentes térmicos del alero, persiana y vidrios simples.

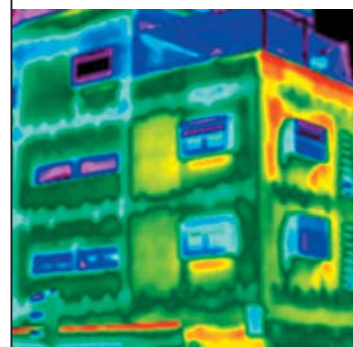
11.4. APLICACIÓN DE LA TERMOGRAFÍA INFRARROJA EN INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS

Carles Picanyol

Termógrafo Certificado Nivel III

IMPIC Termografía

www.impictermografia.com



En este artículo no pretendemos valorar las pérdidas globales o parciales que se producen en una instalación, ya que estas pueden ser ocasionadas por múltiples causas, pero sí la utilización de una técnica como es la termografía infrarroja, que nos permitirá la localización de puntos concretos con aumentos notables de la temperatura, tanto en células como en otras partes de la instalación, que el termógrafo interpretará y valorará su nivel de severidad.

El rendimiento de un módulo fotovoltaico depende principalmente de dos factores:

- la **temperatura** de las células, y
- la **radiación** que incide sobre él.

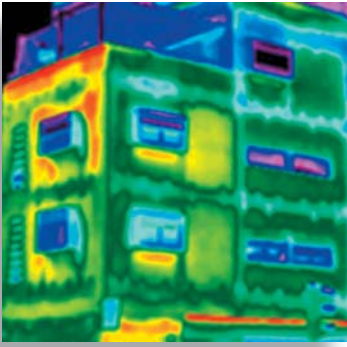
Para un rendimiento óptimo de nuestra instalación fotovoltaica se deberían producir las condiciones STC (Standard Test Conditions) que son:

Para un rendimiento óptimo de nuestra instalación fotovoltaica se deberían producir las condiciones STC (Standard Test Conditions) que son:

Irradiancia	1.000 W/m ²
Espectro AM	1,5
Temperatura de la célula	25 °C

Condiciones que se producen en reducidas ocasiones (dependiendo del mes y la zona donde esté la instalación).

Los fabricantes de los módulos fotovoltaicos nos indican en los datos facilitados de cada módulo el TONC (Temperatura de Operación No-



Guía de termografía infrarroja

minal de la Célula), o NOCT por sus siglas en inglés, que es la temperatura que alcanzan las células cuando se someten a las siguientes condiciones de trabajo.

Irradiancia	800 W/m ²
Espectro AM	1,5
Incidencia Normal	
Temperatura ambiente	20 °C
Velocidad del viento	1m/s

Estos datos que nos indican la correspondiente norma de fabricación de los módulos (UNE-EN 61215), y que se cumplen en la mayoría de ellos, nos sirven para la realización y simulación del cálculo del rendimiento de una instalación.

Pero en la práctica solo un correcto mantenimiento y la monitorización de la instalación nos ayudarán a obtener el máximo rendimiento de la instalación.

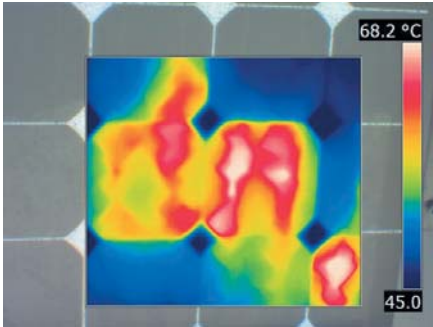
Uno de los trabajos de mantenimiento (interno o externo) es la utilización de la termografía para la localización de defectos por sobrecalentamiento de alguno de sus componentes, células, conectores, fusibles, y cualquier equipo que pueda tener una elevación de su temperatura nominal, ya que todo nos influirá en el rendimiento total de la instalación.

Los efectos de un aumento de la temperatura en las células fotovoltaicas son:

- **Disminución de la potencia en un 0,5 % por cada grado centígrado de aumento de la temperatura de trabajo del módulo.**
- Deterioro prematuro del módulo a medio/largo plazo.

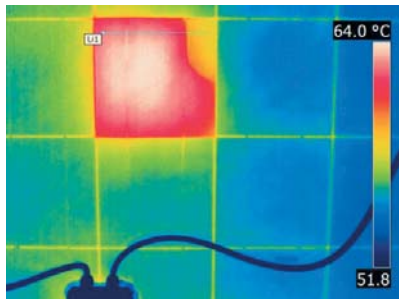
Estos son algunos de los defectos que podemos localizar mediante la termografía infrarroja en los módulos fotovoltaicos:

- Células rotas:



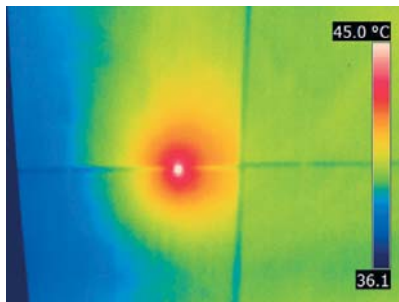
En la imagen podemos apreciar el cristal de protección del módulo completamente roto con lo cual provoca que las células también se rompan y vemos el aumento de temperatura que se produce en ellas, aunque el módulo sigue produciendo electricidad esto nos provocará una caída del rendimiento en toda la serie de este módulo.

- Células con fisuras o micro fisuras:



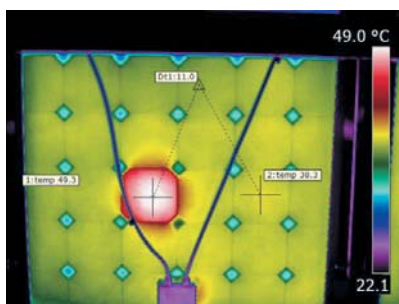
En esta imagen podemos apreciar la forma característica de una célula con una fisura o micro fisura, esta puede estar producida en el montaje del módulo, en el transporte o en la instalación del mismo.

- Defectos de soldadura en las uniones de las células:

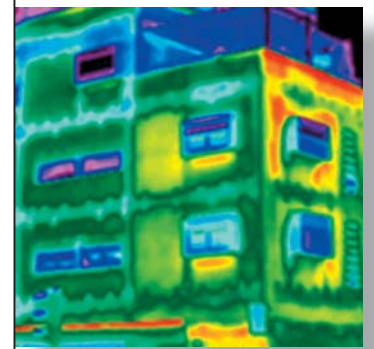


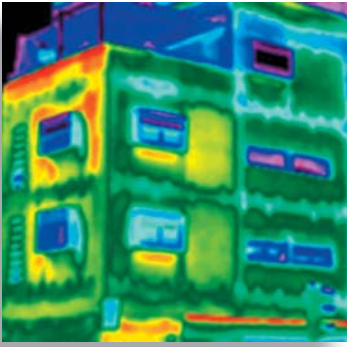
En la imagen vemos un defecto en la soldadura entre las células, aunque el defecto no produzca grandes aumentos de temperatura (en este caso), podemos afirmar que es un defecto importante que puede incluso llegar a quemar y perforar la capa de teflón e incluso romper el cristal de protección.

- Células «diferentes» al resto en el mismo módulo:



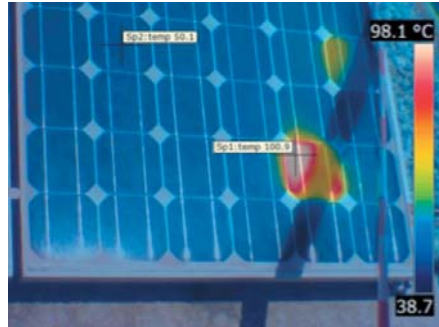
Este es un defecto común en módulos cuyos fabricantes no realizan una selección previa de las células, agrupándolas por tipo o potencia.





Guía de termografía infrarroja

– Sombras:



Las sombras parciales en el módulo también nos producirán aumentos de temperatura, aunque estos solamente se producirán durante el periodo de sombra. Podemos apreciar en la siguiente imagen (imagen termográfica y digital fusionadas) la sombra producida por una cinta de señalización, con el consiguiente aumento de temperatura de la célula afectada.

Otros defectos que podemos encontrar en las conexiones y los cuadros eléctricos de la instalación:

- Defectos en conectores y cajas de conexión.
- Conexiones defectuosas en los cuadros eléctricos.
- Fusibles desconectados o fundidos.
- Desequilibrio en los sistemas trifásicos.

Pero lo que realmente nos permite la realización de una buena inspección termográfica de toda la instalación fotovoltaica, es la realización de un histórico, la comparación y evolución de los defectos encontrados en cada una de las inspecciones.

A continuación podemos ver unas imágenes termográficas de algunos defectos y su evolución durante el periodo de un año, entre las dos inspecciones.

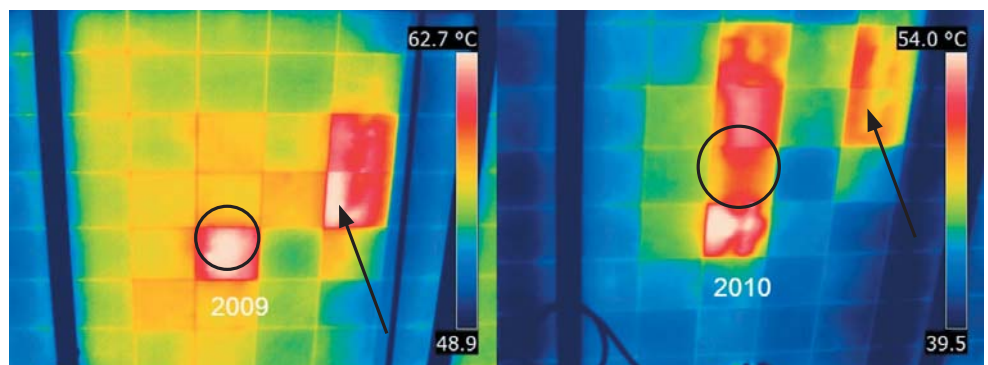
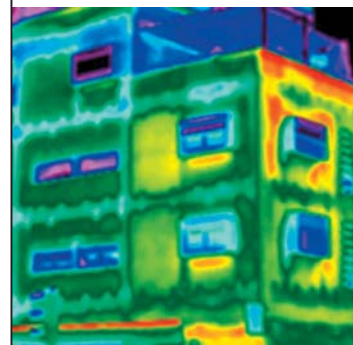


Figura 1. Células afectadas, con mayores temperaturas. Imágenes del mismo módulo, realizadas en las inspecciones de los años 2009 y 2010.



En la Fig. 1 se ve marcado con un círculo la célula y con una flecha las células que en la imagen de 2009 presentaban mayores temperaturas, en la imagen de 2010 las mismas células ya no son las que presentan mayores defectos, pero sí que han aumentado la cantidad de células afectadas.

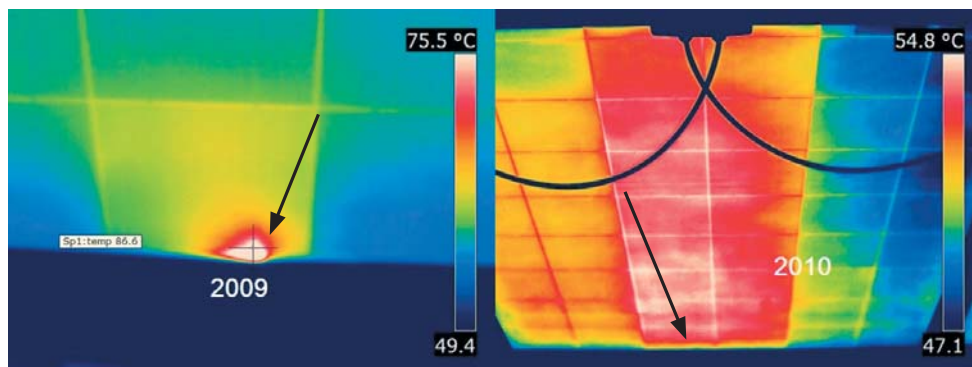


Figura 2. Defecto de soldadura. Imágenes del mismo módulo, realizadas en las inspecciones de los años 2009 y 2010.

En las imágenes de la Fig. 2 podemos ver la evolución que ha sufrido este módulo con un defecto de soldadura en la parte inferior del mismo, zona señalada con una flecha. Podemos ver que en la siguiente inspección el defecto ha evolucionado hacia la desconexión del diodo, dejando el módulo con 2/3 de las células funcionando.

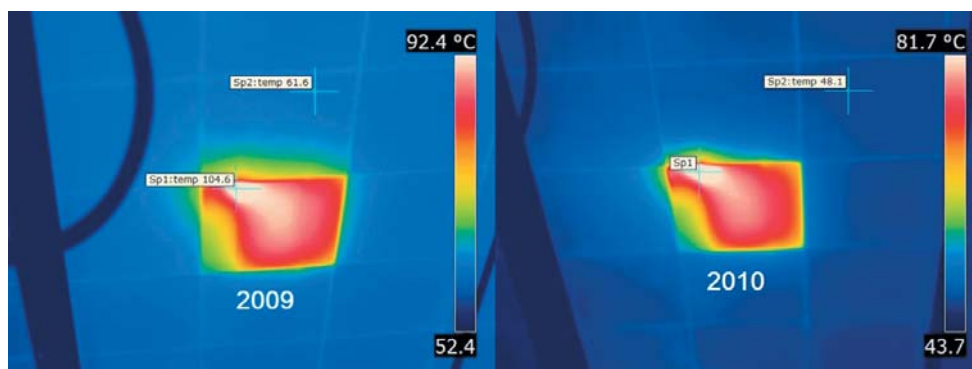
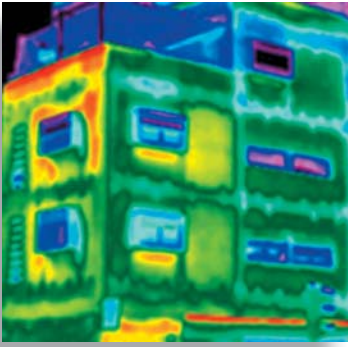


Figura 3. Célula con fisuras. Imágenes del mismo módulo, realizadas en las inspecciones de los años 2009 y 2010.

También podemos ver que algunos defectos no evolucionan, al menos en un año, como por ejemplo el de la Fig. 3 de una célula con fisuras.

En el Gráfico 1 hemos analizado 3 módulos iguales, dos de ellos sin ningún defecto localizado mediante termografía y el tercero con defec-



Guía de termografía infrarroja

tos en una de sus células, con un delta T de más de 40 °C con respecto con las células adyacentes.

Las características de los módulos son:

Tipo de instalación	Fija
Irradiancia	986,7 W/m ²
Temperatura ambiente	25 a 34 °C
Humedad relativa	55%
Potencia máxima Pmpp	185
Tensión en máxima potencia Vmpp	25,5
Intensidad en máxima potencia Impp	7,25
Tensión en circuito abierto Voc	32,3
Intensidad en cortocircuito Isc	7,81
Tolerancia	5%
NOCT (TONC)	44 °C

Tensión V

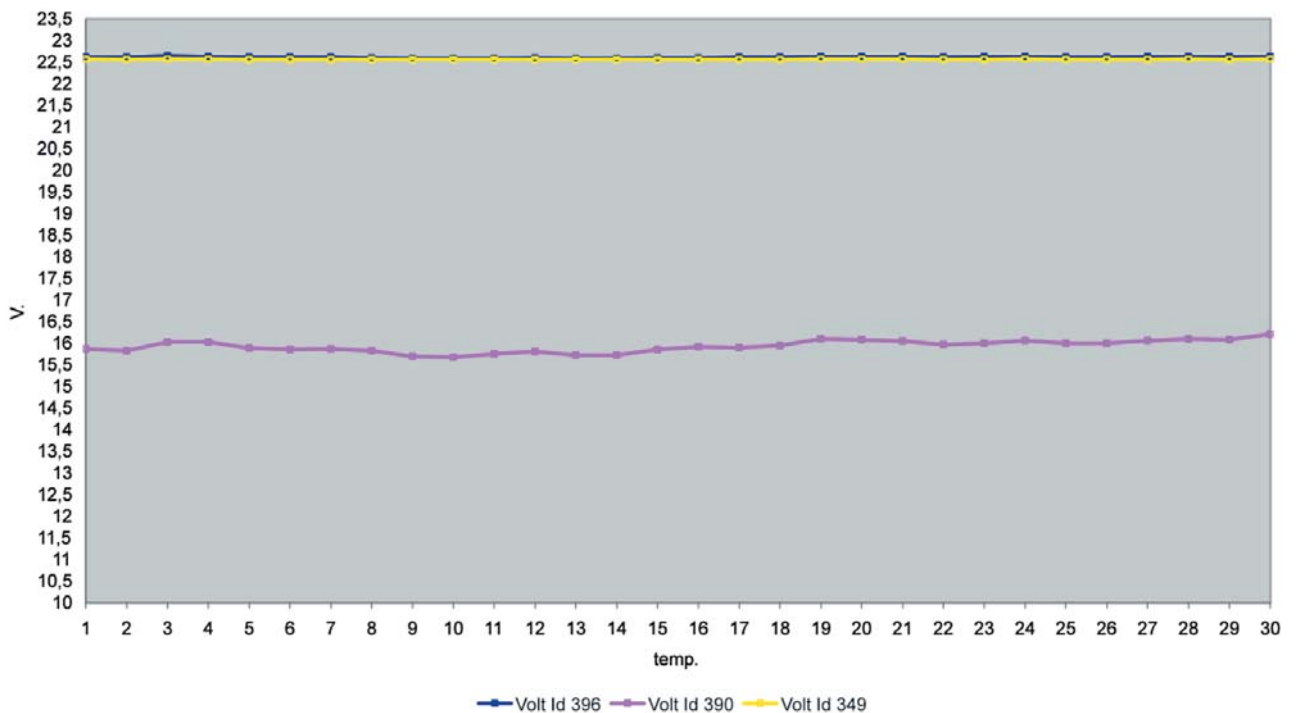


Gráfico 1. Comparativa de las tenciones de tres módulos.

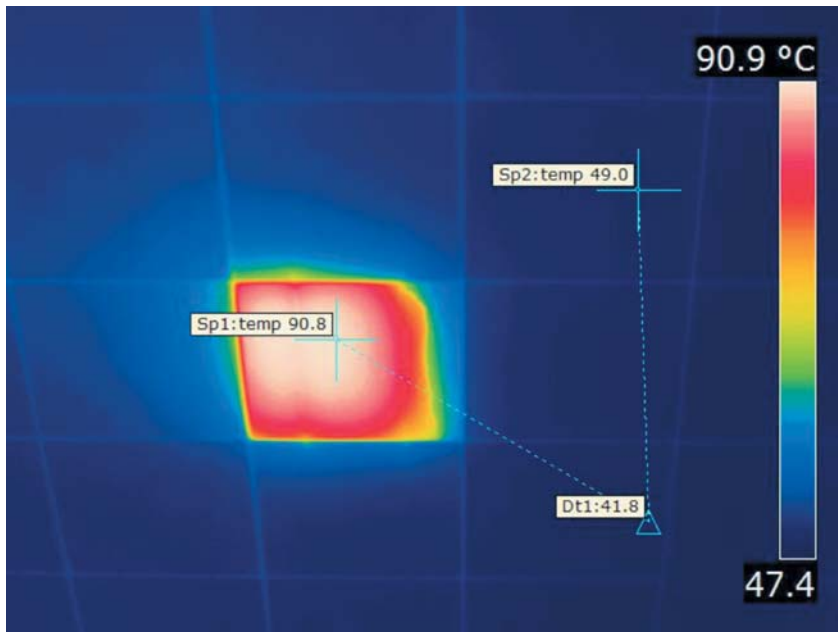
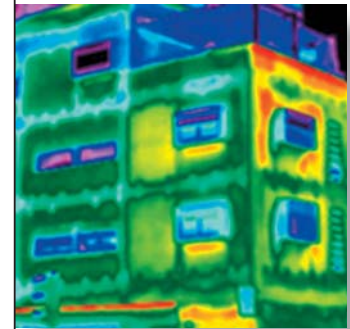


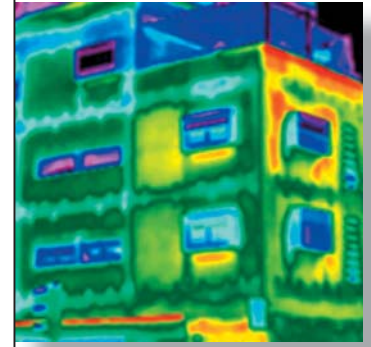
Figura 4. Célula afectada.

En el gráfico 1 el módulo con el defecto localizado mediante termografía, es el marcado como Volt ID 390, en el cual podemos apreciar la caída de tensión que reproduce debido a una sola célula afectada (Fig. 4).

Los promedios de tensión durante la medición son:

	VALORES PROMEDIO DE LA MEDICIÓN	% RESPECTO A VMPP
Volt ID 396	22,62	88,69%
Volt ID 390	15,93	62,48%
Volt ID 349	22,56	88,48%

Como conclusión, se puede determinar que la termografía infrarroja puede ser de una gran ayuda para la localización de defectos en las instalaciones fotovoltaicas, y que estos producen verdaderamente pérdidas de rendimiento de la instalación.



11.5. APLICACIÓN DE LA TERMOGRAFÍA INFRARROJA EN LA AUDITORÍA ENERGÉTICA DE UN EDIFICIO TERCIARIO. DETECCIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS

Ana Vizcaíno Galán

Termógrafa Certificada ITC

Directora Técnica de Enercya

www.enercya.com

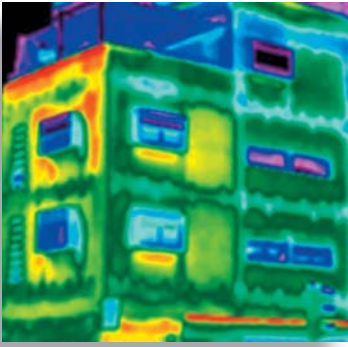
INTRODUCCIÓN

Una manera específica de contribuir con la filosofía de ahorro y eficiencia energética en el sector edificatorio es mediante la rehabilitación y mejora de las instalaciones de los edificios existentes. Fue a partir del Protocolo de Kioto (diciembre de 1997) cuando comenzó la conciencia energética generalizada, por lo que la gran mayoría de los edificios anteriores al mismo son ineficientes desde el punto de vista energético, si bien con posterioridad tampoco el sector ha destacado por construir edificios eficientes más allá de lo obligado normativamente.

Una auditoría energética de un edificio es un estudio minucioso de su estado y de sus instalaciones con las correspondientes propuestas de mejoras orientadas al ahorro de energía, incluyendo un estudio técnico y económico de las mismas sin afectar al confort de los ocupantes.

Con la ayuda de la termografía infrarroja se identifican claramente los puntos críticos de pérdidas térmicas determinando dónde se deben llevar a cabo las mejoras energéticas, para posteriormente proyectarlas y valorar su viabilidad económica.

La termografía infrarroja es una técnica no intrusiva que permite medir en tiempo real las temperaturas de todos los puntos de la superficie de análisis sin necesidad de contacto con la misma. Estas características conceden a esta técnica multitud de ventajas, destacando en edificación el hecho de no requerir obra para la identificación de un problema.



OBJETIVO

El objetivo es identificar los puntos críticos de la envolvente de un edificio mediante termografía infrarroja para, con posterioridad, valorar y proyectar medidas económicamente viables que permitan reducir el consumo de energía del edificio sin modificar el confort térmico de sus usuarios, de forma que den lugar a un beneficio económico, energético y medioambiental. Con la aplicación de las medidas concluidas del análisis se consigue mejorar la calificación y eficiencia energética del edificio.

TRABAJO DESARROLLADO

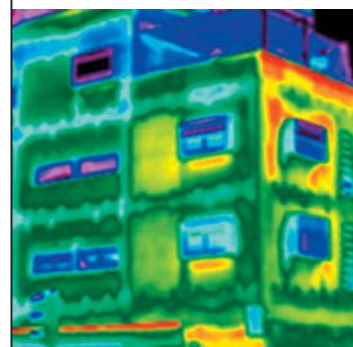
El estudio se ha desarrollado en base a los tres ejes principales de mejoras energéticas en un edificio: la envolvente de éste, los sistemas que consumen recursos energéticos y la gestión energética que es llevada a cabo. Ha sido necesario recopilar información de distinta índole así como la toma de datos en campo con diferentes técnicas, destacando la realización de termogramas infrarrojos para diagnosticar el funcionamiento y situación de los diferentes sistemas pasivos y activos, etc.

Aunque una auditoría energética completa incluye también el análisis y propuestas de mejora en las diferentes instalaciones y equipos consumidores de un edificio; en el trabajo que nos ocupa nos centraremos en la reducción de la demanda térmica del edificio mediante la detección de puntos críticos en la envolvente térmica gracias a la termografía infrarroja.

Descripción del edificio y su situación energética

El local objeto de este estudio se encuentra situado en la primera planta de un edificio sito en la localidad de Badajoz. Está dividido en diferentes oficinas y la actividad del centro, y en consecuencia el consumo de energía, es aproximadamente del 90% en el horario de mañana.

Las fachadas sureste y noroeste cuentan con una gran hilera de huecos que dan lugar a un considerable aporte lumínico y a cargas inter-



nas. La superficie total útil del edificio es de 571,68 m² y la superficie construida de 643,30 m².



Fotografía 1. Fachada principal del edificio.

La totalidad de los consumos energéticos corresponden a energía eléctrica. El 49,73% del consumo energético total anual (63.985 kWh) se debe a la climatización, esto es, 31.819,74 kWh/año. La potencia térmica demandada por el edificio es de 41,11 kW (Fig. 1).

Los principales consumos de electricidad del local engloban a los sistemas de climatización, un sistema centralizado Aire-Aire conducido y varios equipos de expansión partidos de apoyo, la iluminación y al equipamiento ofimático. El edificio cuenta con sistema de generación de ACS pero su uso es inexistente.

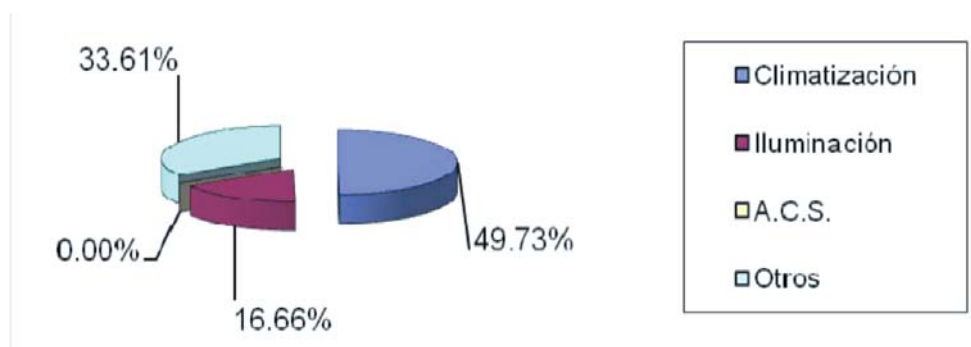
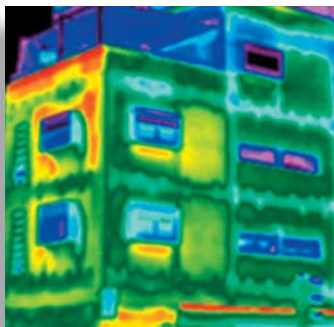


Figura 1. Reparto del consumo eléctrico del local.



Guía de termografía infrarroja

En la Tabla 1 se ve el resumen de consumos energéticos y un desglose de los mismos por superficie y por ocupación.

Tabla 1. Resumen de consumos energéticos del edificio en 2008.

FACTURA ELECTRICIDAD (€)	CONSUMO ELECTRICIDAD (kWh)	CONSUMO ENERGÍA FINAL (tep PCI)
10.965,77	63.985	5,50

DESGLOSE POR SUPERFICIE		
19,18	111,93	0,0096
(€/m ²)	(kWh/m ²)	(tep PCI/m ²)

DESGLOSE POR SUPERFICIE		
1,19	6,93	0,0006
(€/persona)	(kWh/persona)	(tep PCI/persona)

* (1 tep PCI=1 tonelada equivalente de petróleo ref al PCI del combustible=107 kcal).

La Emisión Global del edificio es de 77,59 toneladas de CO₂ al año.

Tabla 2. Ratios de emisiones.

RATIOS DE EMISIONES	
Por superficie	Por ocupación
135,73	8,39
(kg CO ₂ /m ²)	(Kg CO ₂ /personas y día)

Medidas de ahorro energético en epidermis

La epidermis del edificio es un elemento clave y, desde el punto de vista del ahorro y eficiencia energética, es vital por tanto, detectar puntos críticos de pérdida energética con el objetivo de mejorar su calidad térmica. Y teniendo en cuenta la vida útil de un edificio es viable económicamente actuar sobre la envolvente para reducir el consumo y aumentar el confort.

En edificios ya construidos para detectar y localizar las zonas de pérdida de energía supone llevar a cabo una obra que normalmente es indeseable; gracias a la termografía se pueden identificar de forma no intrusiva, instantánea y con seguridad dichas zonas y, de este

modo, resulta más fácil proponer y acometer las medidas de mejora energética que sean viables.

Análisis Termográfico

La aplicación de la termografía en edificación es principalmente cualitativa y es fundamental considerar el control de diferentes condiciones ambientales como el viento, la lluvia, etc. para que el análisis sea correcto y las conclusiones apropiadas.

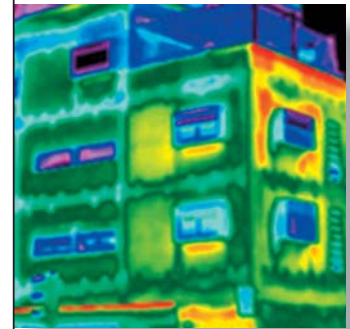
Se ha realizado un estudio termográfico al edificio para detectar puntos críticos de pérdidas de energía:

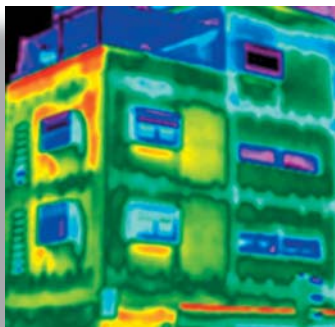
- Para detectar deficiencias en la envolvente:
 - Comprobar el estado del aislamiento (falta de material aislante, ejecución incorrecta en obra, etc.).
 - Localizar infiltraciones de aire.
 - Identificar fugas de calor.
 - Detectar puentes térmicos (en cercos de ventana, cantos de forjados, etc.).
- Supervisión del funcionamiento de las instalaciones de:
 - Calefacción y refrigeración.
 - Electricidad.
 - Informática.

Envolvente térmica

Con termografía infrarroja ha sido posible:

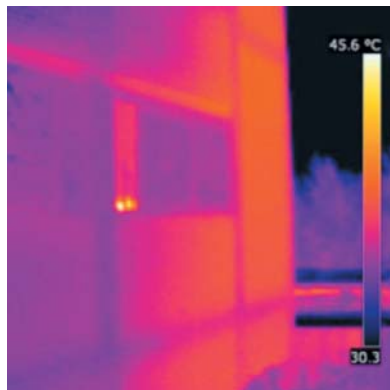
- Detectar que el edificio en cuestión no dispone de un aislamiento adecuado.
- Identificar los puntos más críticos de la envolvente: las dos hileras de huecos longitudinales al edificio (fachadas noroeste y sureste).
- Calcular las áreas de puente térmico en los cerramientos exteriores.





Guía de termografía infrarroja

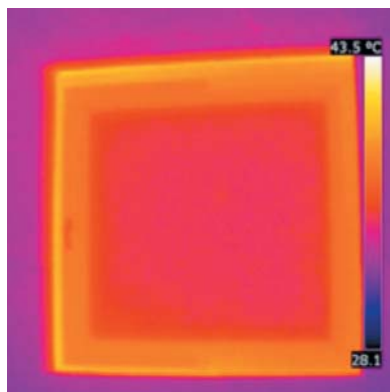
A continuación se muestran las imágenes termográficas de dichas deficiencias:



En la imagen se observan los puentes térmicos en fachada sureste en la unión de la estructura del edificio con el cerramiento, donde se producen pérdidas térmicas como revela el termograma.



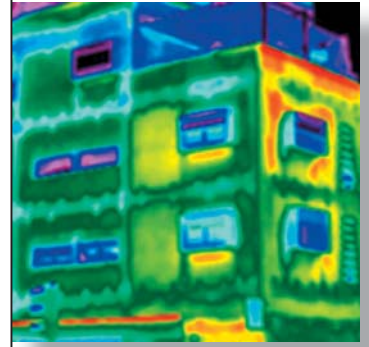
En la imagen se identifican otros puentes térmicos del edificio, para eliminar totalmente los mismos sería necesaria una obra de rehabilitación de gran envergadura.



En el termograma de una de las ventanas del edificio, se observa uno de los huecos de la fachada suroeste del edificio, donde se evidencia la diferencia de temperatura entre el cerramiento, cercos de ventana y vidrio, que identifica a los huecos como los puntos más críticos de la envolvente en estudio.



La imagen muestra un termograma del exterior del edificio, fachada noroeste. Al igual que en la imagen anterior se observa la diferencia térmica entre el cerramiento y huecos, siendo en este caso menor la evidencia debido al completo sombreado de la fachada durante la mayor parte del día.



Las dos últimas imágenes son muestras de que los huecos-ventanas son el punto energéticamente más crítico del edificio y, cualquier actuación de mejora en ellos, dará lugar a grandes ahorros en su consumo total de energía.

Supervisión de las instalaciones

Con termografía infrarroja también se hizo una inspección cualitativa de los equipos generadores y distribuidores del sistema de climatización así como de la instalación eléctrica; cabe destacar que su estado era correcto y no se detectaron incidencias en su funcionamiento.

Simulación Térmica Dinámica

El estudio del comportamiento térmico del edificio se ha realizado mediante un software de simulación térmica dinámica que está concebido para determinar las cargas térmicas, esto es, la demanda térmica del edificio a lo largo de un año considerando las fluctuaciones climáticas de su ubicación y emplazamiento. Para ello es necesario caracterizar el edificio tanto constructivamente como en sus diversas instalaciones, habiéndose localizado y calculado el área de los puentes térmicos mediante termografía infrarroja.

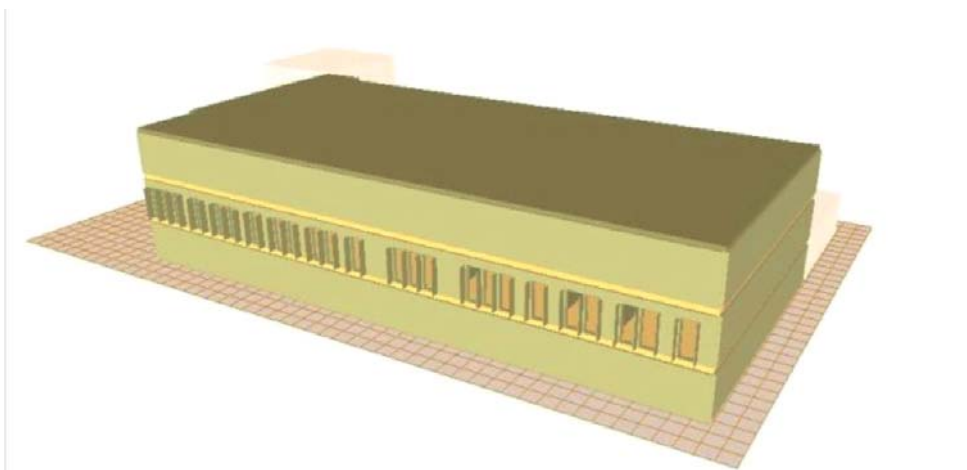
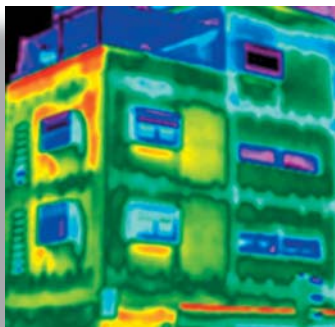


Figura 2. Vista de la fachada noroeste del edificio analizado en el software de simulación térmica.

Las simulaciones térmicas dinámicas de los edificios son herramientas informáticas muy útiles para estimar de forma muy aproximada la



Guía de termografía infrarroja

demanda energética del mismo, por lo que se ha simulado el edificio que nos ocupa en su situación inicial y con las diferentes propuestas planteadas de mejora energética en los huecos para así determinar la reducción del consumo energético que supone cada una de las mejoras.

RESULTADOS

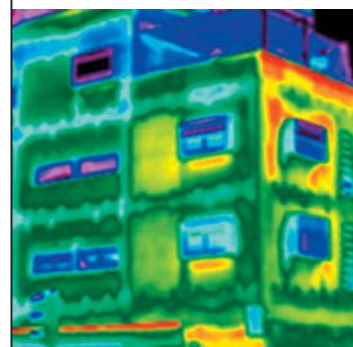
Con termografía se ha cuantificado el área de puentes térmicos en la envolvente del edificio y este dato ha sido introducido en el software de simulación para los cálculos más exactos del comportamiento térmico del mismo. La solución de la eliminación de los puentes térmicos detectados en la fachada sureste sería muy intrusiva y fue descartada por la propiedad.

Igualmente, a partir de los termogramas se han identificado las carpinterías exteriores como los puntos más críticos de la epidermis y, por tanto, donde es recomendable hacer un estudio de viabilidad energético-económica de propuestas de mejora. La carpintería actual la forman dos tipos de ventanas de aluminio lacado en color negro y vidrio simple; las ventanas en fachada noroeste son giratorias sobre eje longitudinal y central a la misma mientras que las de orientación sureste son correderas.

Se han estudiado diferentes propuestas de mejora sobre los huecos del cerramiento. Los porcentajes de reducción del consumo energético alcanzados con cada propuesta y estimado mediante la caracterización, integración del edificio y la simulación térmica respecto a la situación actual se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Mejora energética de las propuestas sobre huecos.

MEJORA PROPUESTA	REFRIGERACIÓN (Kcal/h)	CALEFACCIÓN (Kcal/h)	POTENCIA TÉRMICA ESTIMADA (Kcal/h) CON INFILTRACIONES	POTENCIA SITUACIÓN ACTUAL (Kcal/h)	REDUCCIÓN CONSUMO Kcal(%)
Sustitución 4-6-4 marco metálico	35.604,90	31.609,20	26.565,98	35.343,48	24,83
Sustitución 6-10-6 PVC	30.647,60	30.070,00	24.240,83	35.343,48	31,41
Doble ventana	31.248,50	31.259,00	25.003,84	35.343,48	29,25



Propuesta de mejora 1:

Sustitución de ventanas por otras oscilobatientes de doble vidrio y rotura de puente térmico

Los huecos del edificio son ineficientes como se ha comprobado con Termografía Infrarroja. Luego resulta interesante actuar sobre las ventanas del edificio.

Una posibilidad es la sustitución de las ventanas actuales por unas mucho más eficientes, doble vidrio 4-6-4, con carpintería de aluminio lacado blanco, con rotura de puente térmico en ventanas oscilobatientes.

La Tabla 4 presenta el periodo de retorno de esta propuesta de mejora que como puede observarse es un poco alto ya que aunque es una opción idónea para disminuir el consumo en climatización las ventanas tienen un precio elevado.

Tabla 4. Ahorros y periodos de retorno de la Propuesta 1.

POTENCIA TÉRMICA CON MEJORA (kW)	MEJORA ENERGÉTICA (%)	AHORRO ENERGÉTICO (kWh/año)	AHORRO ECONÓMICO (€/año)	INVERSIÓN (€)	P.R.S. (años)
30,89	24,83	7.902,38	1.264,38	23.126,44	18,29

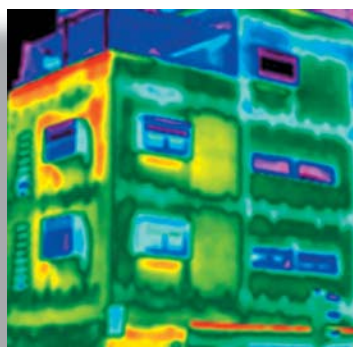
Propuesta de mejora 2:

Sustitución de ventanas por otras oscilobatientes de doble vidrio y carpintería de PVC

En este caso se propone la solución de carpintería de perfiles de PVC con refuerzos interiores de acero galvanizado en ventanas oscilobatientes con doble vidrio 6-10-6. En la Tabla 5 se puede observar el Período de Retorno Simple de esta medida.

Tabla 5. Ahorros y periodos de retorno de la Propuesta 2.

POTENCIA TÉRMICA CON MEJORA (kW)	MEJORA ENERGÉTICA (%)	AHORRO ENERGÉTICO (kWh/año)	AHORRO ECONÓMICO (€/año)	INVERSIÓN (€)	P.R.S. (años)
28,19	31,41	9.995,72	1.599,32	18.190,57	11,37



Guía de termografía infrarroja

Propuesta de mejora 3: Instalación de doble ventana

En este caso la inversión será menor pues una de las ventanas ya se encuentra instalada y únicamente debe ejecutarse una ventana con vidrio simple al exterior.

Tabla 6. Ahorros y periodos de retorno de la Propuesta 3.

POTENCIA TÉRMICA CON MEJORA (kW)	MEJORA ENERGÉTICA (%)	AHORRO ENERGÉTICO (kWh/año)	AHORRO ECONÓMICO (€/año)	INVERSIÓN (€)	P.R.S. (años)
29,08	29,26	9.308,78	1.489,41	9.473,88	6,36

Esta medida es la de menor tiempo de retorno y se amortiza en un período de tiempo aceptable ya que deberíamos considerar la larga vida útil de un edificio.

*Se ha considerado un precio medio del kWh de 0,16€ y los presupuestos de ejecución material se han calculado con la Base de Precios de la Construcción 2010 de la Junta de Extremadura.

CONCLUSIONES

Como se ha comentado anteriormente, una de las partes fundamentales en la eficiencia energética de un edificio es su envolvente, ya que es por dónde se produce el mayor número de pérdidas.

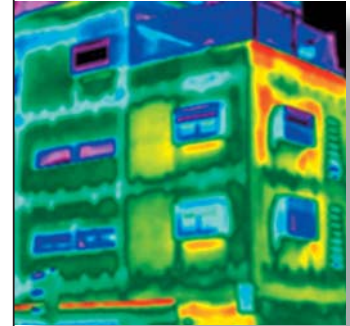
Gracias a la termografía infrarroja se han identificado los puntos críticos de la epidermis del edificio que nos ocupa: los huecos-ventanas; así como se ha calculado el área de los puentes térmicos. Posteriormente, mediante simulación dinámica se han estimado las reducciones de consumo energético anual en cada una de las propuestas de mejora planteadas y junto con la determinación del presupuesto de ejecución material se han determinado los correspondientes períodos de amortización.

Se concluye que la mejora más viable económica y energéticamente en este edificio es la instalación de doble carpintería en todos los huecos de la envolvente para reducir las pérdidas térmicas y, en consecuencia, el consumo energético y económico en un 29,26%. Esta medida se amortiza en poco más de 6 años.

11.6. EJEMPLO DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA EN EL BARRIO DE LA LUZ (AVILÉS)

Grupo Pinturas Isaval, S.L.

www.isaval.es



La Luz es un barrio situado en el extrarradio de la zona sur de Avilés (Asturias).

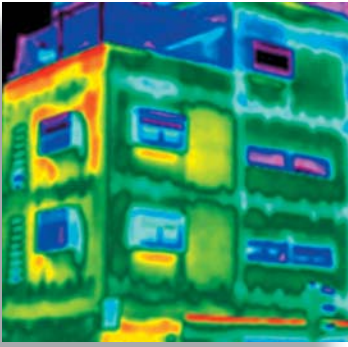
Se construyó a mediados de los años 50 del siglo pasado, y sus viviendas fueron compradas por la empresa ENSIDESA para dar alojamiento a los trabajadores que llegaban de otros puntos de España.

Se trata de un conjunto de 2.056 viviendas agrupadas en 95 bloques de edificios.

A comienzos de los años 60 empezaron a llegar los primeros habitantes del barrio, y a finales, su población alcanzaba casi las 6.000 personas.



Fotografía 1. Imagen de distintos edificios del Barrio de La Luz.



Guía de termografía infrarroja

Hoy, nuevos habitantes, en su mayoría jóvenes, llegan a La Luz rejuveneciendo este antiguo barrio que cuenta ya con más de 10.000 habitantes.

Gracias al *Programa de Ayudas a la Rehabilitación de Fachadas*, al que se han acogido la práctica totalidad de las comunidades de vecinos, el color rojo ladrillo que caracterizaba a este Barrio, ha comenzado a dar paso a una variada gama de tonos, mayoritariamente ocres.

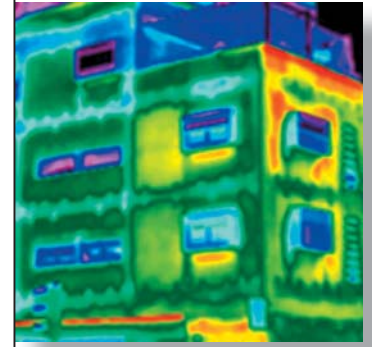


Fotografía 2. Antes y después de la rehabilitación térmica.

El proceso de renovación de fachadas comenzó en 2002, cuando el Ayuntamiento de Avilés puso en marcha la Oficina de Asesoramiento Técnico para la mejora de edificios. Tres años después, la declaración de la Luz como Barrio de Interés Social, facilitó la concesión de ayudas por parte del Principado, que cubren el 50% del presupuesto de ejecución de los trabajos.

Hay que destacar que la rehabilitación de las fachadas no es tan solo una cuestión de imagen, esta inversión está dando solución a un viejo problema que nació con el Barrio y que creció con el tiempo: la humedad y el frío; ya que La Luz forma parte de ese gran parque de edificios que fueron construidos con unas exigencias de aislamiento térmico muy bajas, o inexistentes.

La colocación de un Aislamiento Térmico por el Exterior (SATE) ha permitido solucionar fácilmente estos problemas sin emprender obras en el interior de las viviendas, que obliguen a sus ocupantes a desplazamientos temporales o a modificar su vida cotidiana.



El tiempo medio de realización de estos trabajos está siendo de alrededor de 2 meses, y haciendo la media, la rehabilitación de un edificio de La Luz, tiene un coste de unos 122.500 €, aunque los propietarios «solo» tienen que aportar la mitad gracias a las subvenciones citadas anteriormente.

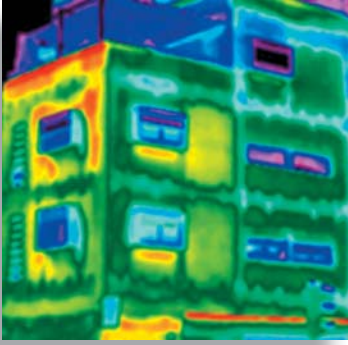


Fotografía 3. Andamios colocados por el exterior de los edificios permiten la realización rápida de los trabajos necesarios.

En la actualidad más de la mitad de los bloques de La Luz lucen nuevos revestimientos que incorporan Sistemas de Aislamiento Térmico por el Exterior a base de poliestireno expandido (EPS).



Fotografía 4. Placas de poliestireno expandido colocadas sobre la fachada original.



Guía de termografía infrarroja

Estos sistemas mejoran los niveles de aislamiento térmico del edificio por lo que reducen las emisiones y consumo de energía.

A pesar del coste inicial, el aislamiento térmico de un edificio no debe considerarse como un gasto, sino como una inversión, puesto que este desembolso se ve compensado en un plazo de tiempo breve a través del ahorro energético en la calefacción y cada vez más en la refrigeración del edificio.

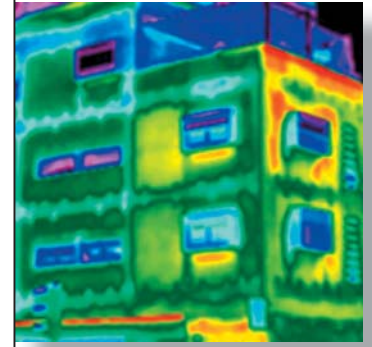


Fotografía 5. Condensaciones en el interior de las viviendas.

Aumentan el grado de bienestar térmico de las viviendas al mantener una temperatura uniforme y agradable en el interior en cualquier época del año, reduciendo el riesgo de condensaciones y el crecimiento de microorganismos que afectan negativamente a la salud.



Fotografía 6. Crecimiento de mohos en el interior de las viviendas.



La rehabilitación de La Luz es un claro ejemplo de la apuesta por la renovación energética del parque edificatorio existente.

Desde su comienzo hasta la actualidad, el sistema de aislamiento térmico **Rhonatherm** es el que se ha seleccionado para revestir más de un 10% de los bloques en los que se ha actuado sobre la envolvente térmica consiguiendo mejoras significativas.

Termografías realizadas en diferentes edificios, muestran pérdidas energéticas consecuencia de las bajas exigencias de aislamiento térmico en la construcción original.

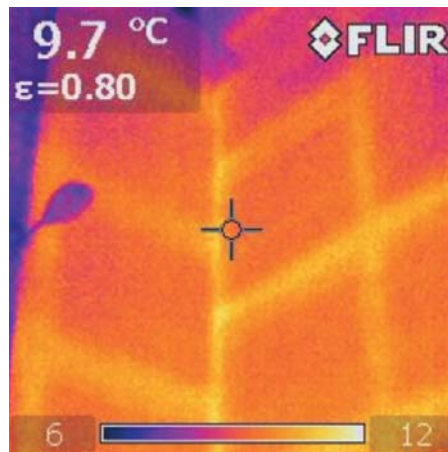
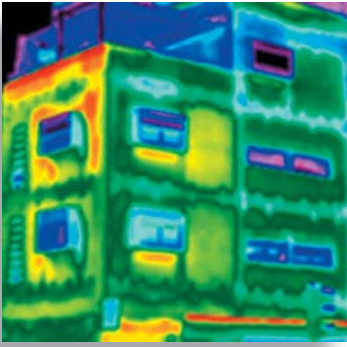


Figura 1. Edificio original no aislado.

La imagen de la Fig. 1 muestra pilares y forjados no aislados, mientras en la imagen de la Fig. 2 se aprecia como en la zona de galerías y cocinas no aisladas térmicamente, se producen pérdidas significativas de energía comparadas con el resto de la fachada aislada.



Figura 2. Edificio parcialmente aislado.



Guía de termografía infrarroja

El sistema de aislamiento elegido evita la formación de puentes térmicos, aumenta la capacidad térmica de los muros (mayor uniformidad de temperatura en paredes interiores), hace que el muro sea permeable al vapor de agua y reduce significativamente el riesgo de condensaciones y mohos.

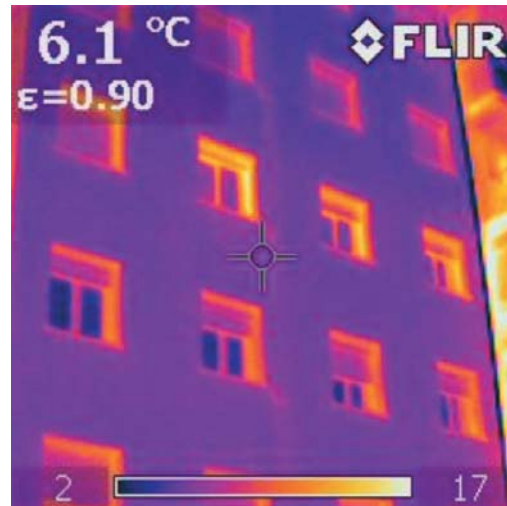


Figura 3. Rehabilitación térmica con el sistema Rhonatherm.

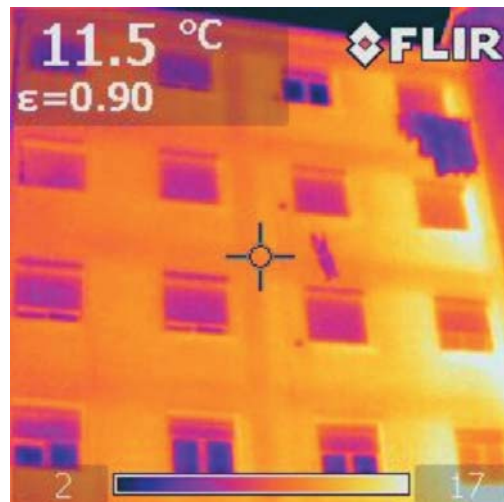
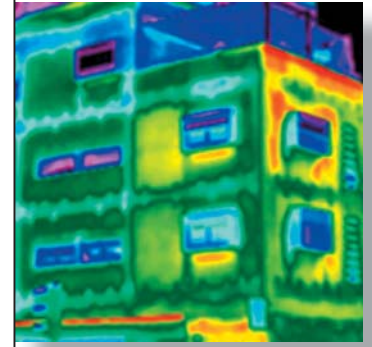


Figura 4. Rehabilitación tradicional con enfoscado.

En la imagen de la Fig. 4 vemos como en edificios rehabilitados sin tener en cuenta criterios térmicos, se mantienen los problemas de la construcción original, haciéndose visibles aún pérdidas energéticas por columnas y forjados.

Los puentes térmicos no solo muestran una pérdida de energía, sino que pueden dar lugar a condensaciones o precipitaciones de humedad.



Como consecuencia, estos puntos pueden enmohecerse, con el consiguiente riesgo para la salud de los ocupantes (ver imagen digital de la Fig. 5).

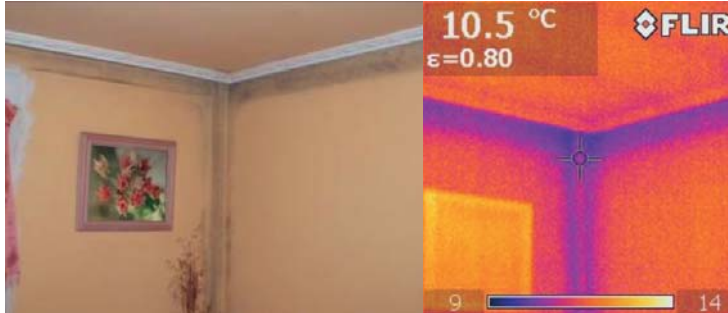


Figura 5. Imagen digital y térmica tomada en el interior de las viviendas.

La imagen térmica de la Fig. 5 muestra una diferencia de temperatura notable en la zona donde se observa crecimiento de moho.

Las esporas de los mohos tienen las mejores condiciones de crecimiento cuando la humedad del aire condensa en forma de gotas.

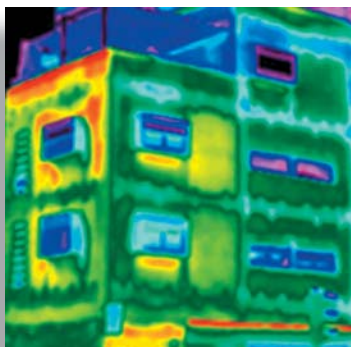
La temperatura superficial de los materiales pone de manifiesto defectos importantes que a simple vista pueden pasar desapercibidos.

La termografía infrarroja permite transformar la radiación térmica emitida por un material en una imagen visible.

Las imágenes captadas por los sensores infrarrojos indican y representan la temperatura superficial de los objetos observados, y por tanto, muestra las irregularidades térmicas debido a defectos de aislamiento, humedades, puentes térmicos, etc.

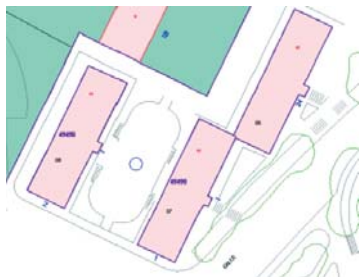


Figura 6. Imagen digital y térmica tomada en el exterior de un edificio aislado térmicamente.



Guía de termografía infrarroja

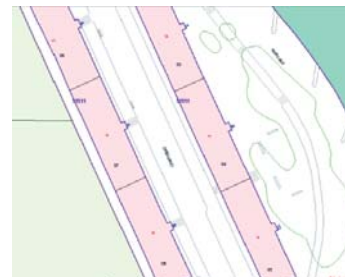
Con la finalidad de demostrar que mediante la aplicación del sistema de aislamiento térmico se pueden reducir de forma significativa el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero, se ha realizado un estudio potencial de ahorro energético y de reducción de emisiones de CO₂ en tres tipos de edificios del Barrio de La Luz rehabilitados con el sistema **Rhonatherm**:



Edificio Tipo I (Bloque aislado).



Edificio Tipo II (Bloque adosado en una de sus fachadas).



Edificio Tipo III (Bloque entre medianeras).

Figura 7. Tres tipos de edificios estudiados.

Para la realización del estudio se ha empleado la aplicación informática LIDER, ofrecida por la Secretaria de Estado de Vivienda y Actuaciones Urbanas (Antiguo Ministerio de Vivienda) y por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

Esta herramienta está diseñada para realizar la mayor parte de los cálculos recogidos en el Documento Básico HE1- CTE y para la impresión de la documentación administrativa pertinente.

La demanda energética de calefacción y refrigeración del edificio, se ha determinado a partir de los datos climáticos de la localidad en la que se ubica y sus parámetros de definición geométrica, constructiva y operacional.

Con el fin de facilitar los cálculos y poder establecer una comparativa entre las tres tipologías de edificios, se han realizado los siguientes supuestos:

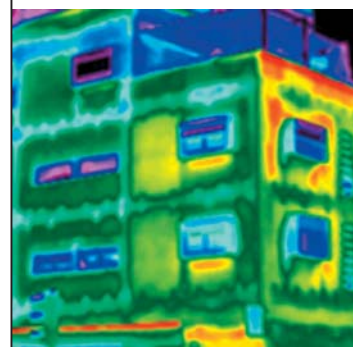


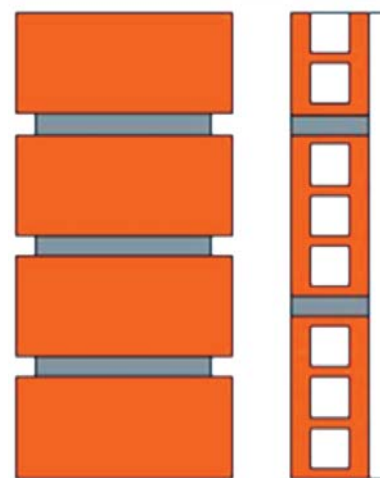
Tabla 1. Datos de los tres edificios estudiados.

Zona climática	C1
UM Lim	0,73
Superficie construida (m ²)	1.670
Superficie suelo (m ²)	270 (30 x 9)
Tipo edificio	PB + 5
Nº viviendas	24 (4 x planta).
Superficie aislada (m ²)	Tipo I: 1.400
	Tipo II: 1.240
	Tipo III: 1.080
Huecos	Vidrio doble 4/6/4
Cubiertas	Inclinada con cámara de aire

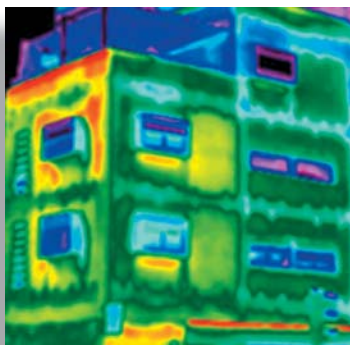
En los tres edificios el cerramiento está compuesto por los siguientes materiales:

Tabla 2. Materiales del cerramiento de los tres edificios estudiados.

MATERIAL	ESPESOR	LAMBDA	R TÉRMICA
	(m)	(W/m·K)	(m ² K/W)
1/2 pie LP métrico o catalán 60 mm < G < 80 mm	0,13	0,595	0,22
Resistencia Térmica Superficial R _{si}			0,13
Resistencia Térmica Superficial R _{se}			0,04
Cámara de aire vertical sin ventilar 2 cm			0,17
Tabique de LH sencillo [40 mm < espesor < 60 mm]	0,04	0,444	0,09
Enlucido de yeso 1.000 < d < 1.300	0,02	0,570	0,04



Como material aislante se han utilizado paneles de poliestireno expandido (EPS) de 5 cm de espesor, fabricados conforme a la norma UNE EN 13163 y la UNE EN 13499.



Guía de termografía infrarroja

Tabla 3. Características del material aislante Ronatherm de 5cm de espesor.

MATERIAL AISLANTE	ESPESOR (m)	LAMBDA (W/m·K)	R TÉRMICA (m²K/W)
Panel de EPS Rhonatherm	0,05	0,037	1,35
U (W/m²K)			
U _{M.Lim} (DB-HE del CTE)			0,73
U _M (antes de rehabilitación térmica)			1,46
U _M (después de rehabilitación térmica)			0,49

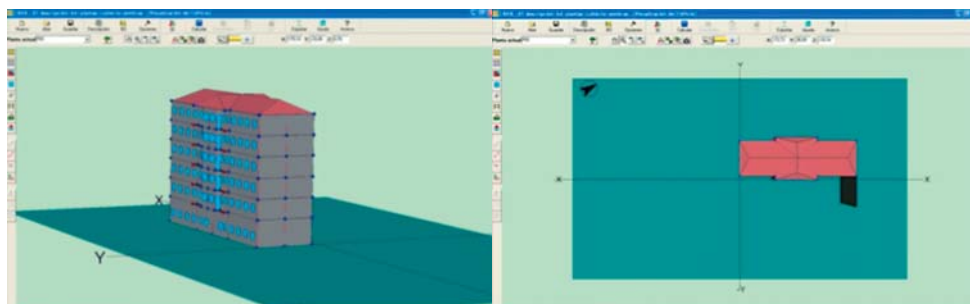


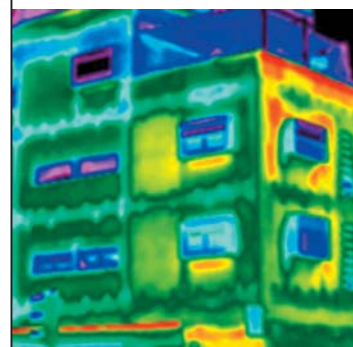
Figura 8. Modelización del edificio mediante el programa LIDER.

Debe tenerse en cuenta que las condiciones del motor de cálculo del programa de simulación pueden diferir de las condiciones reales del edificio (hábitos de los usuarios, instalaciones térmicas, etc.), de modo que los valores de las demandas de energía que se muestran en este estudio pueden diferir de las que realmente se produzcan en el edificio.

RESULTADOS

Tabla 4. Resultados con aislante de 5cm. FUENTE: Elaboración propia mediante LIDER.

ESTUDIO COMPARATIVO		DEMANDA ANUAL			AHORRO		AMORTIZACIÓN (años)
		Kg CO ₂	kWh	€			
Edificio tipo I	Original	3.963,38	8.155,11	1.345,6	35%	473,55 €	5,4
	Rhonatherm	2.568,56	5.285,10	872,04			
Edificio tipo II	Original	3.943,88	8.114,97	1.338,9	34%	456,99 €	5,6
	Rhonatherm	2.597,82	5.345,31	881,98			
Edificio tipo III	Original	3.895,11	8.014,62	1.322,4	32%	429,40 €	5,9
	Rhonatherm	2.630,33	5.412,21	893,01			
Coste medio edificio		122.500,00 €		Coste por vivienda		2.552,08 €	
Subvención Principado		50%		Coste kWh		0,17 €	
Coste final edificio		61.250 €					



Viendo la Tabla 4, aunque se consiguen mejoras significativas respecto al consumo de energía y emisiones de CO₂ siguiendo las actuales exigencias establecidas por Código Técnico de la Edificación, consideramos que estos criterios de eficiencia energética podrían mejorarse reduciendo los valores máximos permitidos de transmitancia térmica para fachadas, cubiertas, huecos, suelos y acercarnos así a niveles de países europeos de nuestro entorno.

Utilizando mayores espesores de aislamiento (Tabla 5) podríamos mejorar los valores de transmitancia térmica llegando a valores similares a los de zonas climáticas semejantes y limítrofes (p.ej. Francia), donde estos valores son inferiores a $U=0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Rehaciendo los cálculos con paneles de EPS de 8 cm los resultados obtenidos muestran mejoras significativas en ahorro energético y emisiones de CO₂, así como una reducción del periodo de amortización del coste de la rehabilitación (Tabla 5).

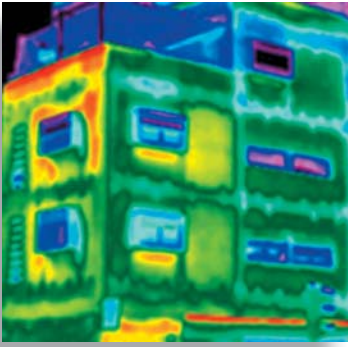
Tabla 5. Resultados con aislante de 8cm. FUENTE: Elaboración propia mediante LIDER.

ESTUDIO COMPARATIVO		DEMANDA ANUAL			AHORRO		AMORTIZACIÓN (años)
		Kg CO ₂	kWh	€			
Edificio tipo I	Original	3.963,38	8.155,11	1.345,6	40%	537,57 €	4,8
	Rhonatherm	2.379,98	4.897,08	808,02			
Edificio tipo II	Original	3.943,88	8.114,97	1.338,9	38%	513,29 €	5,1
	Rhonatherm	2.432,00	5.004,12	825,6			
Edificio tipo III	Original	3.895,11	8.014,62	1.322,4	36%	480,17 €	5,4
	Rhonatherm	2.480,77	5.104,47	842,24			
Coste medio edificio (*)		124.500 €		Coste por vivienda		2.593,75 €	
Subvención Principado		50%		Coste kWh		0,17 €	
Coste final edificio		62.250 €		U _m con panel de 8 cm		0,35 W/m ² K	

* Se ha estimado un aumento del coste de la obra de 2.000 € debido al cambio de espesor de los paneles de EPS, ya que la media del coste está calculada para paneles de 5 cm.

CONCLUSIONES

Para lograr reducciones permanentes y significativas respecto al consumo de energía y emisiones de CO₂ del sector residencial de aquí a 2020, es necesario incrementar sustancialmente el ritmo de rehabilita-



Guía de termografía infrarroja

ción del parque de viviendas y reforzar los niveles de aislamiento exigibles, así como priorizar las ayudas públicas hacia aquellas medidas que contribuyen a limitar la demanda energética de los edificios.

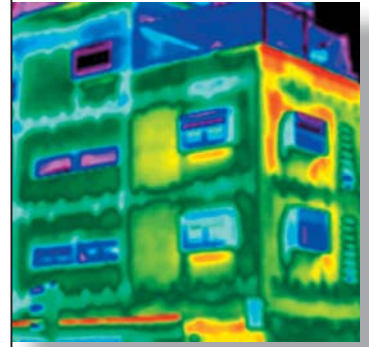
Así pues, compartimos las conclusiones del informe elaborado por ETRES Consultores para WWF España (*Potencial de ahorro energético y reducción de emisiones de CO₂ del parque residencial existente en España en 2020*) en el que se sostiene que la única fórmula realmente eficaz para reducir las emisiones y el consumo de energía del sector de la edificación es a través de la disminución de la demanda energética del parque ya edificado, mejorando los niveles de aislamiento de los edificios

Conseguir edificios mejor aislados puede ayudar a reducir nuestra dependencia energética del exterior y a disminuir las facturas energéticas de los ciudadanos, mejorando las rentas domésticas.

La rehabilitación energética de edificios es además, una oportunidad para la recuperación económica y la creación de miles de puestos de trabajo en uno de los sectores económicos más afectados por la crisis y el desempleo.



Fotografías 7. Fotografías del antes y después de algunos de los edificios rehabilitados con Rhonatherm.



REFERENCIAS

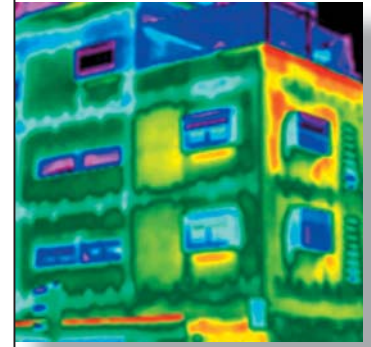
- La Nueva España. «La Luz año 50». Mayo 2007.
- La Voz de Avilés «La Luz transforma su fachada». Diciembre 2009.
- WWF España. «Potencial de ahorro energético y reducción de emisiones de CO₂ del parque residen». Diciembre 2010.

11.7. IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS DE HUMEDAD POR MEDIO DE TERMOGRAFÍA INFRARROJA

Rafael Royo, José Alonso

AECTIR (Agencia Española Certificada de Termografía Infrarroja)

www.aectir.com



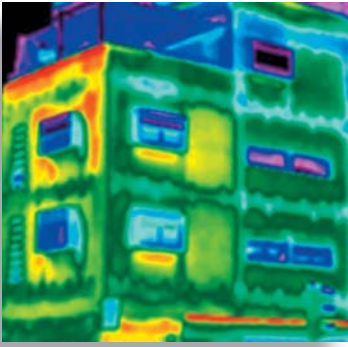
INTRODUCCIÓN

La termografía infrarroja facilita a los inspectores de edificios y a los especialistas en reparación una gran ventaja a la hora de investigar problemas de humedad. Por ejemplo, hace posible detectar inmediatamente la humedad proveniente de fuentes muy diferentes e identificar problemas relacionados con fallos de aislamiento.

Asimismo la termografía es una importante herramienta de peritación para casos de litigio llevados a los tribunales.

Hay así muchas situaciones en las que la termografía puede ser de gran utilidad:

- Detección de fugas de agua y aire.
- Localización de fugas debidas a tuberías con pérdidas.
- Detección de fugas debidas a condensaciones.
- Sencilla visualización de puentes térmicos localizados en pilares, vigas, ventanas, etc.
- Localización de tuberías de agua y líneas eléctricas en el interior de las paredes.
- Detección de diferencias de materiales dentro de las paredes o en su superficie.
- Determinación de las temperaturas exteriores del edificio, lo que permite el análisis de pérdidas de calor.



Guía de termografía infrarroja

- Detección de materiales desprendidos de la fachada del edificio, tales como placas cerámicas o de distintos materiales.

LA TERMOGRAFÍA PERMITE UNA RÁPIDA INSPECCIÓN

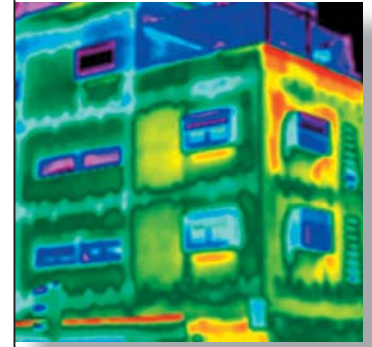
El ejemplo mostrado procede de una urbanización en un destino turístico en el Sur de España. El clima muy benigno pudo hacer pensar a los constructores que no era necesario utilizar aislamiento. A pesar de los intentos de reparación durante cerca de diez años, los problemas de humedad persistían y su fuente no estaba clara en absoluto.

Aunque es posible utilizar un medidor de humedad para encontrar la fuente del problema, puede ser un sistema muy laborioso de aplicar. Desplazar el medidor sobre una gran superficie es muy tedioso, y puede necesitar además de la instalación de andamios por la fachada o en los interiores.

La termografía infrarroja constituye una técnica sin contacto que puede ser utilizada desde el suelo. Rápidamente permite centrar la búsqueda de las fuentes de humedad, y supone así un gran ahorro de tiempo antes de utilizar un medidor de humedad.

Para localizar las fuentes de humedad en este caso particular, los autores utilizaron una cámara infrarroja para detectar las diferencias de temperatura que aparecen normalmente asociadas a la presencia de agua.

La cámara infrarroja utilizada tiene un sensor y una electrónica que permite convertir la radiación infrarroja en una imagen visible con una escala de temperaturas asociada. La precisión de la medida es de ± 2 °C, pero lo más importante es la asombrosa resolución térmica que poseen estos equipos, medida en milikelvin. Las imágenes termográficas que se muestran fueron registradas con una Thermacam S65, de Flir Systems. El equipo también posee una pequeña cámara fotográfica que produce las imágenes visibles que se muestran y que ayudan a reconocer la localización exacta mostrada en la termografía. Antes de la inspección con termografía infrarroja se conectaron potentes calefactores en las viviendas a analizar, con objeto de conseguir el máximo contraste térmico posible.



Puentes térmicos

Las paredes y las cubiertas incorporaban elementos con conductividad térmica elevada que incrementan el coeficiente global de transmisión de calor del conjunto (U W/m^2K), lo que puede resultar así en un aumento del riesgo de condensación. Una condensación persistente puede suponer el crecimiento de hongos en todas las superficies de alrededor, e incluso en el interior de la pared.

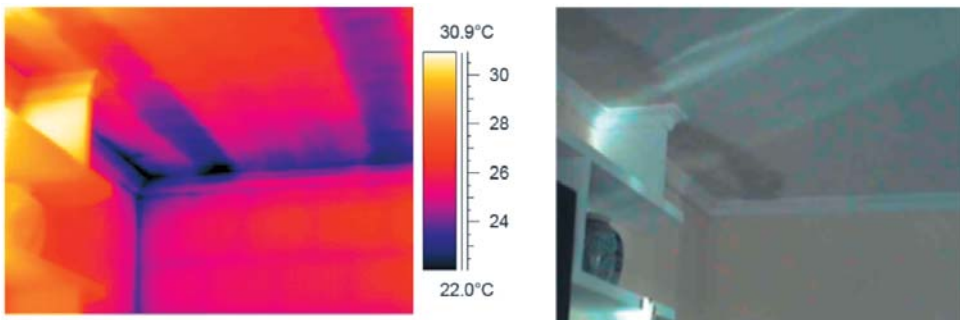


Figura 1. Imágenes infrarroja y digital de un puente térmico muy frío que provoca condensación.

La Fig. 1 ilustra el efecto de un fuerte puente térmico causado tanto por la propia estructura metálica del edificio como por una ausencia absoluta de aislamiento. La termografía muestra la posición de la estructura de metal que provoca la mancha de humedad que aparece en la imagen digital. En este caso una reparación parcial no fue posible, puesto que si ese fuera el caso, la condensación aparecería en el siguiente lugar más frío en la superficie de las paredes.

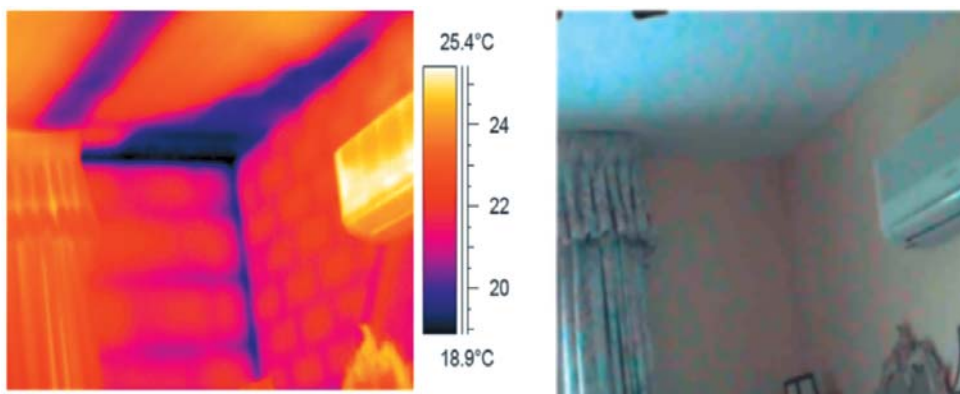
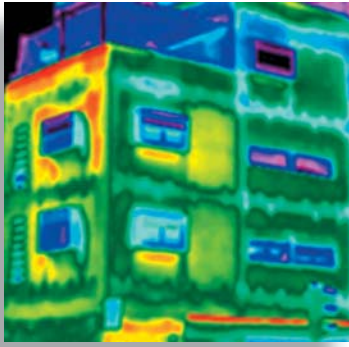


Figura 2. La termografía revela la ausencia de aislamiento como también evidencia los pilares, vigas y propios ladrillos más fríos que también están provocando condensación.



Guía de termografía infrarroja

Algunas veces el efecto visual de las condensaciones no es tan dramático, como se muestra en la Fig. 2. Sin embargo, la termografía revela que este es también un problema de condensación. La imagen de los ladrillos en la pared puede ser también síntoma de un fallo global de aislamiento, además de existir también vigas y pilares verticales cuya superficie se muestra ciertamente muy fría, seguramente por debajo de la correspondiente temperatura de rocío.

Infiltraciones de agua

La humedad debida a la infiltración de agua puede ser una significativa fuente de contaminación microbiana en el entorno de los edificios, que conducen a problemas de salud para sus ocupantes. La lluvia es normalmente la fuente más común de infiltraciones. Una vez el agua se ha infiltrado, se evapora. Durante la evaporación, una gran cantidad de energía se absorbe, lo que provoca el enfriamiento de la propia agua y de la superficie húmeda del edificio. Este fenómeno es así fácilmente visualizado con una cámara infrarroja.

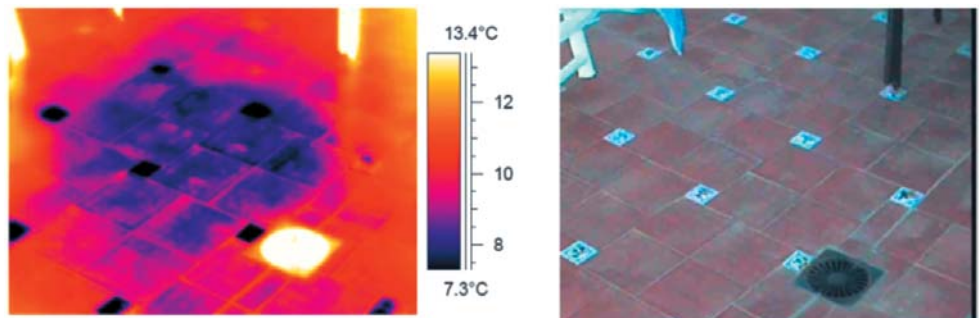
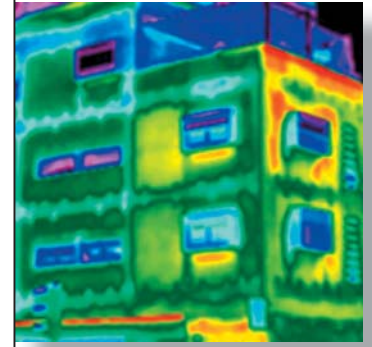


Figura 3. Zona fría en una cubierta plana, presumiblemente causada por infiltración de agua inmediatamente debajo del desagüe.

La Fig. 3 muestra una de estas zonas frías en la cubierta de un edificio. Puesto que la zona está próxima al desagüe, es razonable asumir que el enfriamiento es producido por el agua acumulada a partir de filtraciones previas. Esto puede ser la razón de muchas manchas de humedad existentes en la zona inferior de esta cubierta.

Las diferencias en los materiales utilizados en la cubierta pueden conducir a patrones térmicos de radiación diferenciados. El operador de la cámara debe ser capaz de interpretarlos correctamente, por lo que la formación en termografía infrarroja es fundamental para conseguir inspecciones suficientemente rigurosas.



Problemas causados por tuberías

La termografía puede también ayudar a localizar fugas de agua en tuberías o las mismas tuberías a la hora por ejemplo de realizar una perforación en la pared. En uno de los edificios inspeccionados, el propietario se quejaba de que cada vez que pintaba una zona de la pared del comedor, mostrada en la Fig. 4, la pintura se desprendía siempre al final, y vuelta a comenzar.

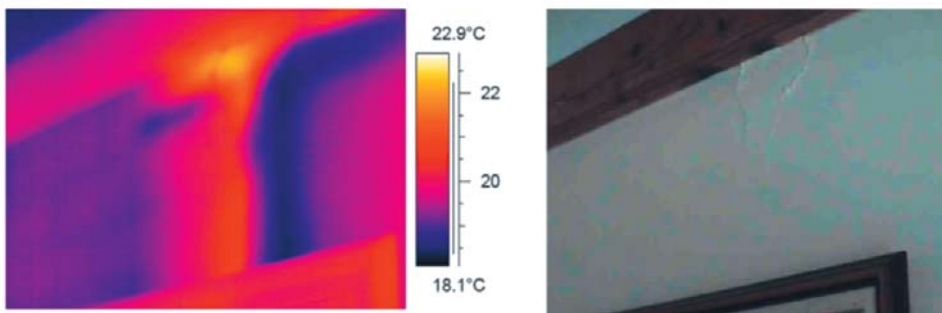


Figura 4. Termograma e imagen digital donde se visualiza un problema aparente de humedad.

Los problemas aparecían en la parte superior del marco de una puerta; la termografía muestra un característico patrón vertical anaranjado y azulado exactamente en la misma zona de la pared.

A continuación, si entramos a través de la puerta nos encontramos en el lavadero, según se muestra en la Fig. 5. La razón para el problema de humedad es evidente cuando enfocamos la cámara sobre el lado opuesto de la pared. Como se puede ver en la Fig. 5, corresponde a la localización de las tuberías de agua fría y caliente.

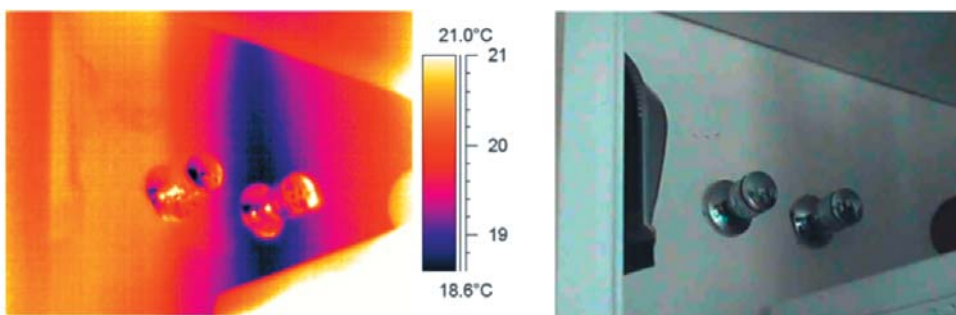
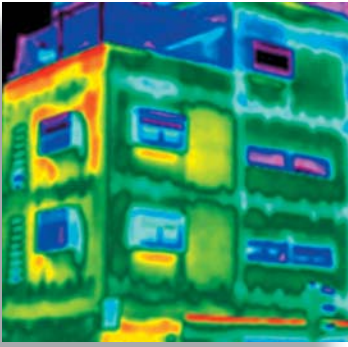


Figura 5. La solución al problema.



Guía de termografía infrarroja

Obsérvese que la zona fría alrededor de la válvula es más pronunciada, hay un fuerte gradiente térmico provocado por la misma presencia del grifo. Esto también podría suponer un efecto añadido de una pequeña pérdida de agua. Sin embargo, el propio efecto de superficie fría provocado en la pared, puede llevar a la condensación y por tanto al desprendimiento de la pintura ya por sí mismo. También habría que aislar la tubería de agua fría, no sólo la caliente como cabría esperar desde un punto de vista simple de ahorro energético.

CONCLUSIONES

Mucho más a menudo de lo que pensamos, los problemas de humedad que se observan se deben a condensaciones asociadas con superficies frías, por debajo de la correspondiente temperatura de rocío. Frecuentemente, estos problemas son causados por puentes térmicos pronunciados en la propia estructura interna de la pared, tales como pilares y vigas de conductividad elevada.

En otras ocasiones, la causa puede ser mal aislamiento o simplemente su total ausencia. Como forma de reparación sería necesario añadir aislamiento en el lado externo o interno de la pared. En la práctica esto último parece más sencillo. Además, es mandatorio la utilización de una barrera de vapor para prevenir el paso de este a través de las capas permeables de la pared, hasta llegar así a capas más frías donde si no se detiene adecuadamente, tendría lugar su condensación.

En otros casos, los problemas de humedad pueden ser causados por infiltraciones de agua de lluvia o rotura de tuberías. En algunos casos el problema puede ser diferenciado a partir del análisis de los patrones térmicos y gradientes existentes, aunque la aparición de superficies frías exteriores puede complicar el problema superponiendo así una humedad debida de nuevo a la condensación.

11.8. TERMOGRAFÍA E INFILTROMETRÍA, DOS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA ANALIZAR EL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE LOS EDIFICIOS

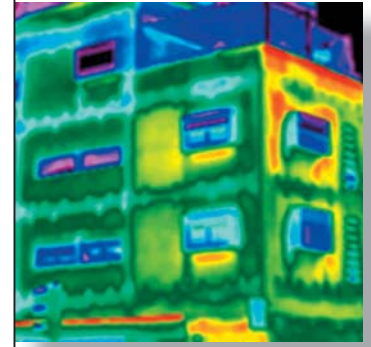
Raphael Danjoux

ITC (Science and R&D section)

FLIR Systems Advanced Thermal Solutions

www.flir.fr

Traducción autorizada: Rafael Royo, AECTIR

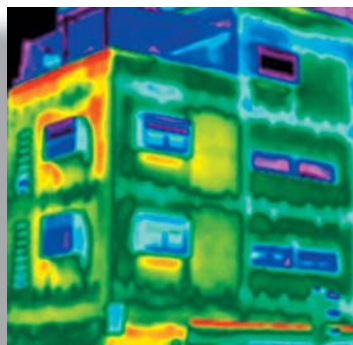


INTRODUCCIÓN

El blower door es una herramienta común de diagnóstico para medir la hermeticidad de un edificio. Ha sido utilizada durante más de 30 años para asesorar acerca de la permeabilidad al aire de cualquier construcción (infiltrometría). Se desarrolló en primer lugar en Suecia como una respuesta al dramático incremento de los costes de la energía después de la crisis del petróleo a mediados de los años setenta del siglo pasado.

En principio se genera una diferencia de presión estable entre el exterior y el interior con un ventilador calibrado, y se mide el caudal de aire necesario. Se introduce aire en el caso de presurización, y se extrae en el caso de despresurización. Posteriormente se dibuja un gráfico de caudal de aire en función de la diferencia de presiones, y se extraen los datos pertinentes del mismo. El protocolo pertinente se define en dos estándares casi idénticos: ISO 9972 y EN 13839.

Se utiliza de forma tradicional termografía infrarroja pasiva como complemento del *blower door*, para localizar las fugas. El posicionado preciso de la fuga permite a posteriori la cuantificación de su velocidad con un anemómetro de hilo caliente, y su posterior clasificación.



TESTS DE INFILTROMETRÍA



Fotografías 1 y 2. Ejemplos de equipos de infiltrometría manufacturados por los fabricantes más reconocidos.

De acuerdo al estándar EN 13839, el test debe ser llevado a cabo para al menos cinco diferencias de presiones. De estas medidas, se puede construir una curva de caudal en función de la diferencia de presiones. En el gráfico 1 se muestra un ejemplo de gráfico real.

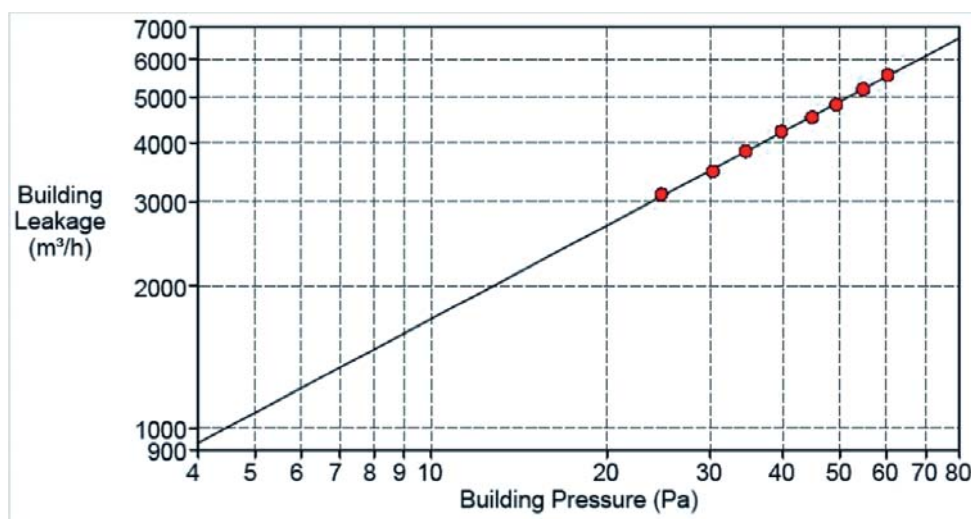


Gráfico 1. Caudal de las fugas de aire en función de las presiones.

Cuando se dibuja en escala bilogarítmica, todos los puntos deberían encontrarse sobre una recta, al ser la función matemática de esta curva:

$$V = C \cdot \Delta P^n$$

- Donde **C** es el coeficiente de flujo. Corresponde al flujo nominal de aire extrapolado a una diferencia de presión en el edificio de 1 Pa.
- Y **n** es el exponente. Es la pendiente de la curva logarítmica. Normalmente se encuentra en valores entre 0,5 y 1.

Puntos importantes a partir de los datos que normalmente se extrapolan son para presiones de 4 Pa y 50 Pa. Se utilizan diferentes unidades a través de toda Europa, aunque las magnitudes medidas son siempre las mismas:

Fugas de aire totales divididas por la superficie del edificio	Favorece los edificios de pequeña altura
Fugas de aire totales divididas por la superficie del cerramiento	Favorece los edificios de gran superficie
Fugas de aire totales dividido por el volumen del edificio	Favorece los edificios compactos y estructuras de edificios sencillos

Este método da una rápida respuesta sobre la hermeticidad total del edificio, de acuerdo a las regulaciones locales. No es muy adecuado para edificios muy grandes. En combinación con la termografía infrarroja puede permitir fácilmente la localización del origen de las fugas.

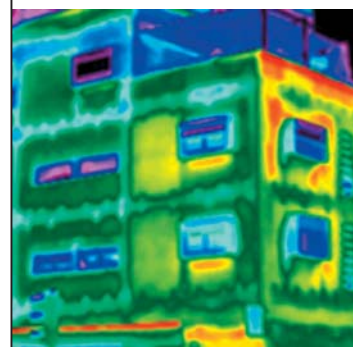
Una vez las fugas han sido localizadas, se determina la velocidad del aire asociada con un anemómetro de hilo caliente (Fotografía 3) (no se recomiendan los modelos de turbina). Un generador de humo puede ayudar a trazar el recorrido seguido por el aire (Fotografía 4).

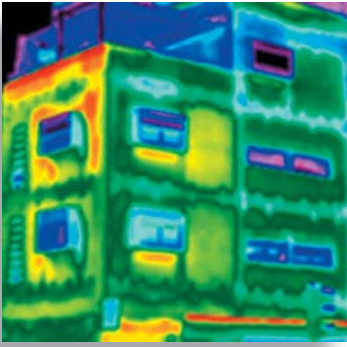


Fotografía 3. Anemómetro.



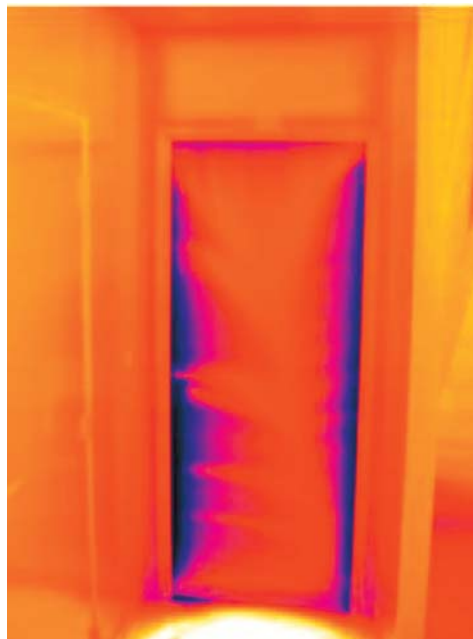
Fotografía 4. Generador de humo.



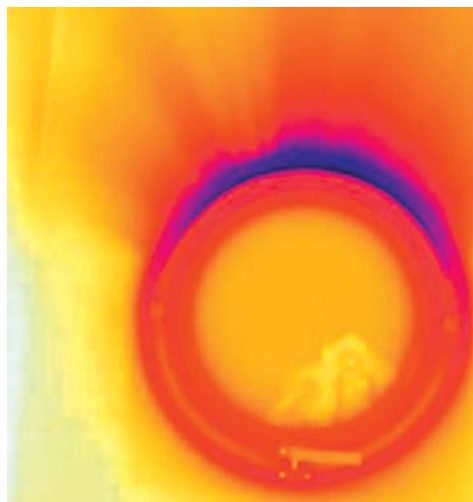


TERMOGRAFÍA E INFILTROMETRÍA

Seguidamente se muestran algunas imágenes térmicas bastante espectaculares para ilustrar fugas de aire. Puesto que en este caso la termográfica se utiliza de forma cualitativa, no tiene ninguna utilidad la escala de temperatura. Lo más importante es escoger una paleta de colores adecuada y representarlo con la escala más correcta, de cara a incrementar el contraste en la imagen a interpretar.



Puerta del garaje al pasillo.
Es típico de una puerta mal ajustada. Es un error de fabricación. Hay una junta de hermeticidad pero no presiona suficientemente contra el marco de la puerta.



Ventana pivotante del cuarto de baño.
Ventana de mala calidad o falta de planicidad del marco.
Hay junta, pero como en el caso anterior no presiona correctamente cuando se cierra la ventana.
Se puede tratar tanto de un error de fabricación (diseño), como de instalación.

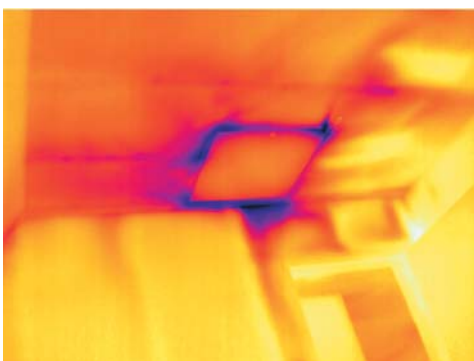
Casos prácticos



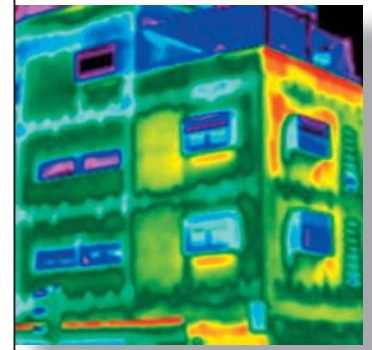
Caja de conexiones eléctricas.
Error de construcción.

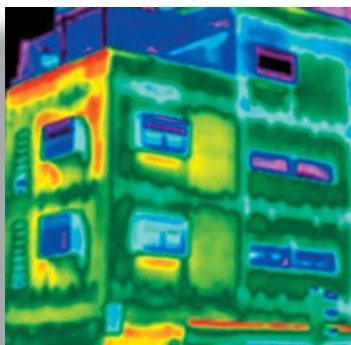


Estructural.
Esto es un fallo de diseño, de fabricación o de construcción. La reparación, una vez la construcción se ha finalizado, es prácticamente imposible.



Error de instalación. La puerta de acceso no sella correctamente. Observe que el termograma también muestra la presencia de fallos de aislamiento.





TENDENCIAS FUTURAS

La evolución reciente en los requerimientos de los edificios y los estándares están siendo cada vez más estrictos teniendo como consecuencia el diseño y construcción de edificios cada vez más herméticos, con una mejor monitorización de la ventilación. Considerese, por ejemplo una casa unifamiliar de 150 m². Los estilos de construcción son distintos dependiendo del país o incluso de la región, y por tanto el volumen no habitado puede diferir. Sin embargo, un valor de superficie calefactada de 400 m² constituye un promedio adecuado.

Para una casa de estas características, la superficie total máxima de fugas varía en función del código utilizado. Aquí hay una lista de valores típicos en Europa:

- Alrededor de 920 cm² en un caso normal.
- Sobre 570 cm² en el caso de una casa con etiqueta energética A.
- Alrededor de 420 cm² para una casa con un consumo energético ciertamente reducido.
- Casi 75 cm² en el caso de una casa siguiendo el estándar Passivhaus.

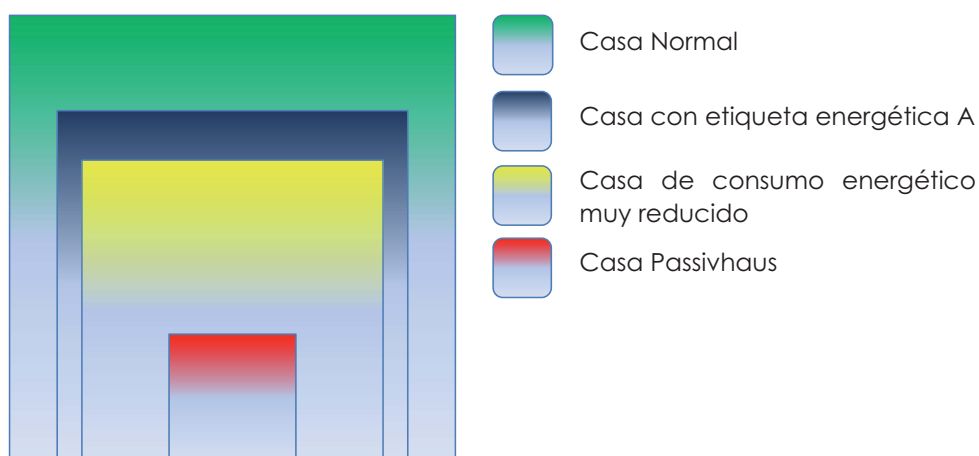
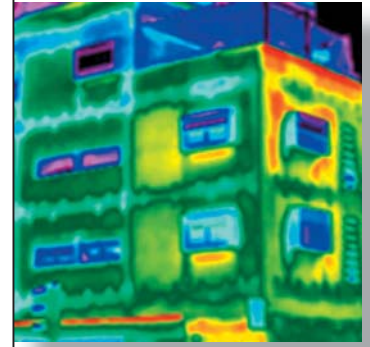


Figura 1. Superficie de fugas acumulada para una casa estándar. La escala es idéntica para todas ellas.

La evolución es ciertamente impresionante, y la tendencia seguramente no terminará a corto plazo. Desde un punto de vista prác-



tico, esto significa que el valor de fugas admitido para un nuevo edificio debe seguir disminuyendo. ¿Qué consecuencia tiene para la termografía? Menores fugas significan patrones térmicos más difíciles de interpretar, tanto en área como en contraste. Una solución sería utilizar cámaras con una sensibilidad térmica ciertamente muy pequeña, por ejemplo con detectores fotónicos refrigerados. Hay severos inconvenientes en la utilización de equipos como estos para la monitorización de edificios y la inspección de construcciones en general:

- Tienen costes de adquisición y de mantenimiento muy elevados comparados con los detectores comunes de tipo bolómetro.
- Son relativamente grandes, y en algunos casos pesados.
- Aunque algunos modelos pueden ser suministrados con baterías externas, no son realmente portátiles.

Una solución recientemente publicada sería la infiltrometría lockin. El lockin constituye un método de análisis de la señal que permite la extracción de una señal con una onda portadora conocida a partir de un entorno extremadamente ruidoso. En termografía se ha utilizado durante muchos años para extraer patrones de ensayos de tensión/deformación. En el caso de la infiltrometría, el equipo necesario se muestra en el croquis de la Fig. 2.

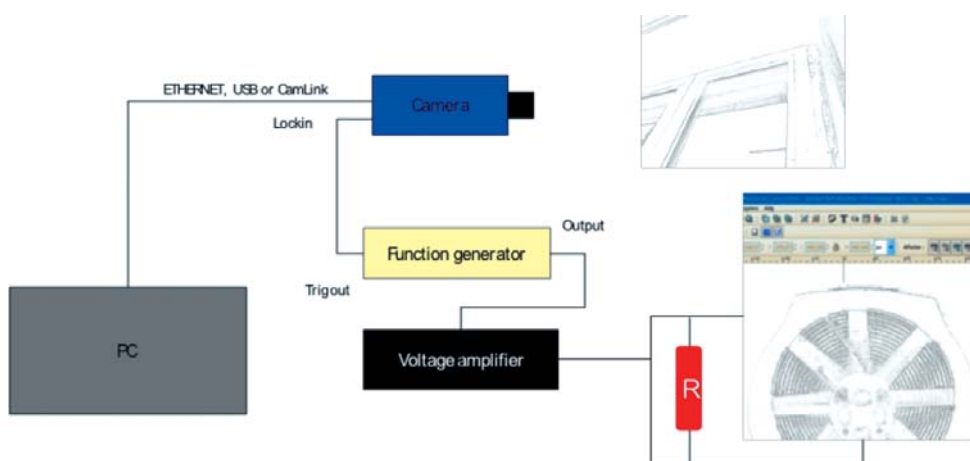
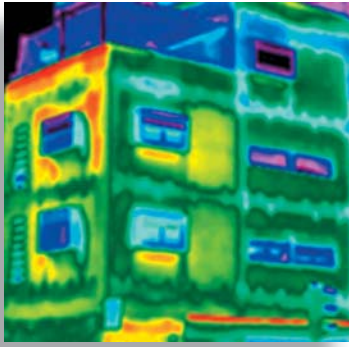


Figura 2. Equipo necesario para infiltrometría lockin.

Dado el tipo de modulación de energía —evidentemente lento— y el volumen bombeado —centenares de m^3 por hora en su máximo— la



Guía de termografía infrarroja

modulación en frecuencia es con mucho lenta, por ejemplo fracciones de Hz.

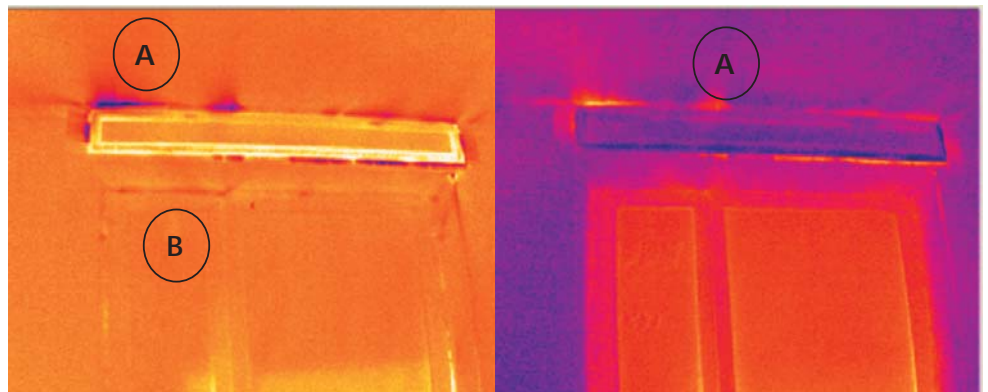
Los ejemplos siguientes de imágenes fueron tomadas en una habitación extremadamente hermética, y corresponden a la parte de arriba de una ventana equipada con caja de persianas (Fotografía 5) y una pequeña ventana que da acceso al registro de tuberías de agua y conexiones (Fotografía 6).



Fotografía 5. Ventana con caja de persiana.

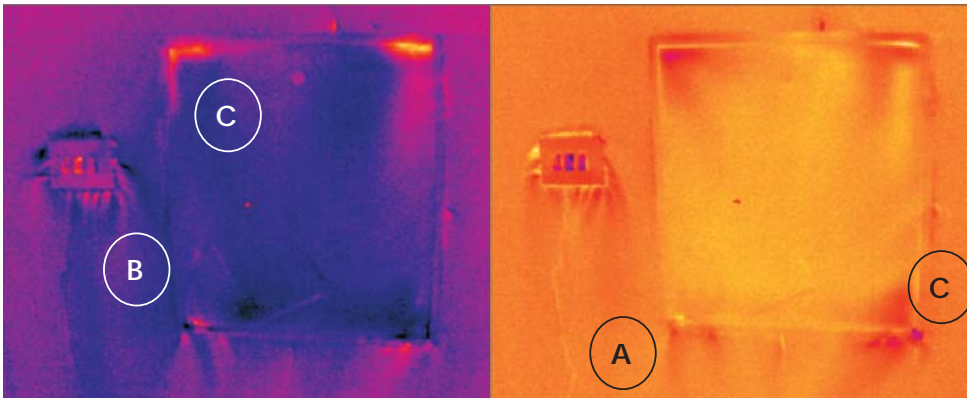
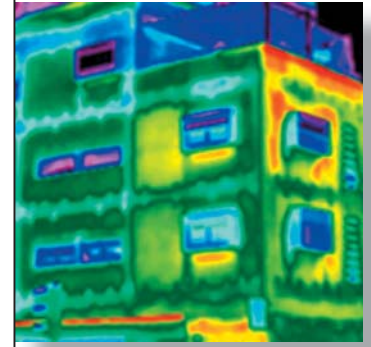
Fotografía 6. Registro de tuberías.

Se debe observar que se obtuvo un resultado nulo utilizando el método convencional de infiltrometría; las fugas que se muestran a continuación (Figuras 3 y 4) son pues ciertamente muy pequeñas.



- A. Fugas supuestas alrededor de la caja de persiana.
- B. Posible fuga en la junta de la ventana.

Figura 3. La ventana. Imágenes de fase y de amplitud.



- A. Grieta en la pared.
- B. Fugas de aire en los interruptores.
- C. Fugas de aire en el registro.

Figura 4. El registro. Imágenes de fase y de amplitud.

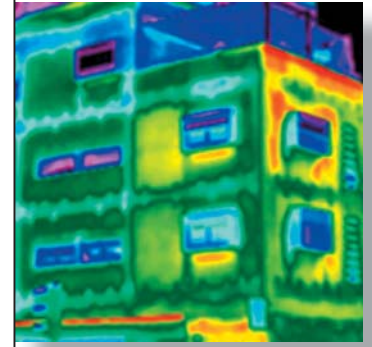
CONCLUSIONES

La infiltrimetría y la termografía infrarroja son dos técnicas que se complementan de forma excelente.

La primera es global y los ensayos pueden ser realizados en cualquier fase de la construcción. Se aconseja su utilización antes de que se finalice el edificio, cuando aún se pueden reparar los fallos.

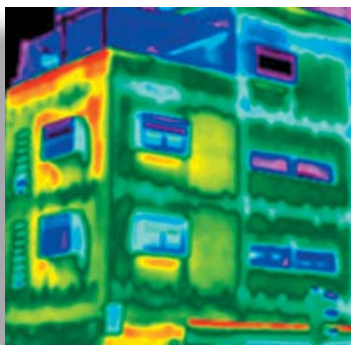
La segunda es ideal cuando se sospecha la presencia de problemas, y o cuando se va a llevar a cabo la renovación, reforma o restauración del edificio.

Aunque su uso todavía no es obligado por los legisladores, ambas son técnicas clave en la aplicación de la Directiva European Energy Performance of Building.



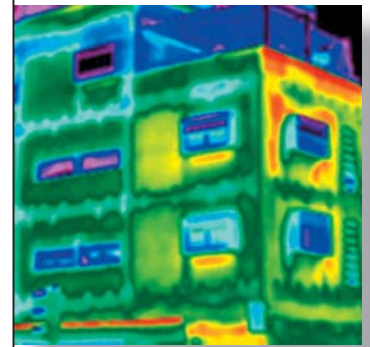
12 GLOSARIO

TÉRMINO O EXPRESIÓN	EXPLICACIÓN
Absorción	Cantidad de radiación absorbida por un objeto con respecto a la radiación recibida. Se expresa mediante un número comprendido entre 0 y 1.
Ajuste automático	Función que permite a la cámara realizar una corrección interna de la imagen.
Ajuste continuo	Función que se encarga de ajustar la imagen. Esta función opera permanentemente para ajustar continuamente el brillo y el contraste de acuerdo con el contenido de la imagen.
Ajuste manual	Método para ajustar la imagen mediante el cambio manual de ciertos parámetros.
Atmósfera	Gases presentes entre el objeto que se está midiendo y la cámara. Normalmente, se trata de aire.
Autopaleta	La imagen de infrarrojos se representa mediante diversos colores, mostrando los objetos fríos y los calientes de forma simultánea.
Campo	Intervalo de la escala de temperatura expresado normalmente como valor de una señal.
Cavidad isotérmica	Radiador con forma de botella con una temperatura uniforme y que puede verse a través del cuello de la botella.
Color de saturación	Las áreas con temperaturas situadas fuera de la configuración de nivel/campo aparecen coloreadas mediante colores de saturación. Entre los colores de saturación hay un color de «exceso» y un color de «defecto». También existe un tercer color rojo de saturación que marca todo como saturado y que indica que el rango debe cambiarse.
Conducción	Fenómeno que hace que el calor se propague por un material.
Convección	La convección es un modo de transferencia de calor que consiste en un fluido en movimiento (a causa de la gravedad u otra fuerza), que transfiere el calor de un lugar a otro.

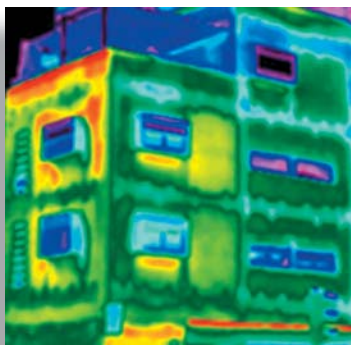


Guía de termografía infrarroja

TÉRMINO O EXPRESIÓN	EXPLICACIÓN
Corrección de imagen (interna o externa)	Método para compensar las diferencias de sensibilidad en las distintas partes de las imágenes en vivo, así como para estabilizar la cámara.
Cuerpo gris	Objeto que emite una fracción fija de la cantidad de energía correspondiente a un cuerpo negro en cada longitud de onda.
Cuerpo negro	Objeto que no refleja ninguna radiación. Toda la radiación que emite se debe a su propia temperatura.
Diferencia de temperatura	Resultado de restar dos valores de temperatura.
Emisión espectral	Cantidad de energía emitida por un objeto por unidad de tiempo, área y longitud de onda ($W/m^2/\mu m$).
Emisividad	Cantidad de radiación procedente de un objeto con respecto a la de un cuerpo negro. Se expresa mediante un número comprendido entre 0 y 1.
Emitancia	Cantidad de energía emitida por un objeto por unidad de tiempo y área (W/m^2).
Energía de radiación	Cantidad de energía emitida por un objeto por unidad de tiempo (w).
Energía radiada	Cantidad de energía emitida por un objeto por unidad de tiempo, área y ángulo ($W/m^2/sr$).
Entorno	Objetos y gases que emiten radiación hacia el objeto que se está midiendo.
Escala de temperatura	Forma en que se muestra una imagen de infrarrojos. Se expresa mediante dos valores de temperatura que limitan los colores.
Filtro	Material transparente sólo en algunas longitudes de onda infrarrojas.
FOV	Del inglés Field Of View (campo de visión). Ángulo horizontal visible a través de una lente de infrarrojos.
FPA	Del inglés Focal Plane Array (matriz de plano focal). Es un tipo de detector de infrarrojos.
Humedad relativa	La humedad relativa representa la relación entre la masa de agua actual en el aire y el máximo que puede contener en condiciones de saturación.

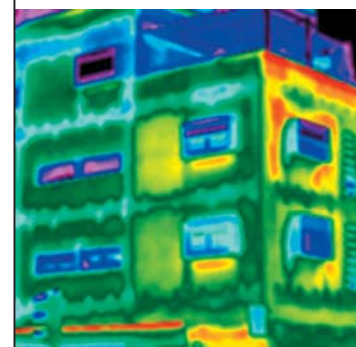


TÉRMINO O EXPRESIÓN	EXPLICACIÓN
IFOV	<p>Del inglés Instantaneous Field Of View (campo de visión instantáneo). Medida de la resolución geométrica de una cámara de infrarrojos.</p> <p>¿No se está seguro de que la cámara esté midiendo correctamente a la distancia real? Una regla general para la lente es multiplicar el valor IFOV por 3. Ejemplo: 25 grados corresponden a aprox. 437 mrad. Si la cámara tiene una imagen de 120×120 píxeles, el valor IFOV pasa a ser de $437/120 = 3,6$ mrad (3,6 mm/m) y la relación de tamaño del punto es de aproximadamente $1.000/(3 \times 3,6) = 92:1$. Eso significa que a una distancia de 9,2 metros, el objeto debe ser de al menos 0,1 metro o 100 mm de ancho. Se deben intentar asegurar los resultados acercándose más de 9 metros. A 7–8 metros, las mediciones deben ser correctas.</p>
Índice de reflexión	Cantidad de radiación reflejada por un objeto con respecto a la radiación recibida. Se expresa mediante un número comprendido entre 0 y 1.
Infrarrojo	Radiación invisible con una longitud de onda de entre 2 y 13 μm .
IR	Infrarrojo.
Isotherma	Función que resalta las partes de una imagen situadas por encima o por debajo de una temperatura, o bien entre uno o varios intervalos de temperatura.
Isotherma doble	Isotherma con dos bandas de color en lugar de una.
Isotherma transparente	Isotherma que muestra una propagación lineal de colores en lugar de cubrir las partes resaltadas de la imagen.
Láser Locatir	Fuente de luz con alimentación eléctrica presente en la cámara que emite radiación láser mediante un haz fino y concentrado mediante el cual se puede apuntar a ciertas partes del objeto situado delante de la cámara.
NETD	Del inglés Noise Equivalent Temperature Difference (diferencia de temperatura equivalente al ruido). Medida del nivel de ruido de la imagen en una cámara de infrarrojos.
Nivel	Valor central de la escala de temperatura expresado normalmente como valor de una señal.
Óptica externa	Lentes, filtros, escudos térmicos, etc. adicionales que se pueden colocar entre la cámara y el objeto que se está midiendo.
Paleta	Conjunto de colores utilizados para mostrar una imagen de infrarrojos.
Parámetros de objeto	Conjunto de valores que describen las circunstancias en las que se ha realizado la medición de un objeto y el objeto en sí (como la emisividad, la temperatura aparente reflejada, la distancia, etc.).
Píxel	Del inglés picture element (elemento de imagen). Se trata de un punto individual perteneciente a una imagen.



Guía de termografía infrarroja

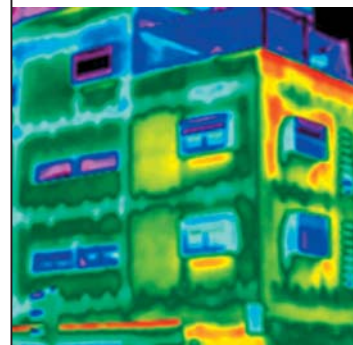
TÉRMINO O EXPRESIÓN	EXPLICACIÓN
Puntero láser	Fuente de luz con alimentación eléctrica presente en la cámara que emite radiación láser mediante un haz fino y concentrado mediante el cual se puede apuntar a ciertas partes del objeto situado delante de la cámara.
Radiación	Fenómeno por el cual un objeto o un gas emite energía electromagnética.
Radiador	Equipo de radiación infrarroja.
Radiador de cavidad	Radiador con forma de botella cuyo interior es absorbente y que puede verse a través del cuello de la botella.
Radiador de cuerpo negro	Equipo de radiación de infrarrojos con las propiedades de un cuerpo negro utilizado para calibrar las cámaras de infrarrojos.
Rango	Límite de medida de temperatura global de una cámara de infrarrojos. Las cámaras pueden tener diversos rangos. Se expresa mediante dos temperaturas de cuerpo negro que limitan la calibración.
Rango de temperaturas	Límite de medida de temperatura global de una cámara de infrarrojos. Las cámaras pueden tener diversos rangos. Se expresa mediante dos temperaturas de cuerpo negro que limitan la calibración.
Ruido	Pequeña interferencia superflua de la imagen de infrarrojos.
Señal de objeto	Valor sin calibrar relacionado con la cantidad de radiación recibida por la cámara desde el objeto.
Temperatura del color	Temperatura en la que el color de un cuerpo negro coincide con un color concreto.
Temperatura de referencia	Temperatura con la que pueden compararse los valores medidos.
Termograma	Imagen de infrarrojos.
Transmisión	Los gases y otros materiales pueden ser más o menos transparentes. La transmisión es la cantidad de radiación infrarroja que pasa a través de ellos. Se expresa mediante un número comprendido entre 0 y 1.
Transmisión estimada	Valor de transmisión proporcionado por el usuario que reemplaza al calculado.
Transmisión procesada	Valor de transmisión calculado a partir de la temperatura, la humedad relativa del aire y la distancia al objeto.
Visual	Hace referencia al modo de vídeo de una cámara de infrarrojos por oposición al modo termográfico, que es el normal. Cuando una cámara se encuentra en el modo de vídeo, captura imágenes de vídeo normales, mientras que en el modo de infrarrojos se capturan imágenes termográficas.



13

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

- Manual de Nivel I del Infrared Training Center (ITC).
- Guía de Termografía para Mantenimiento Predictivo, de FLIR Systems.
- Manual de Infrarrojos para aplicaciones de la construcción, de FLIR Systems.
- Thermography, a practical approach. Editorial NORBO Kraft Teknik AB, de Reidar Gustavsson.
- Nondestructive Testing Handbook, Third Edition: Volume 3, Infrared and Thermal Testing. De Maldague, Xavier P.V. (tech. ed.); Moore, Patrick O. (ed.).

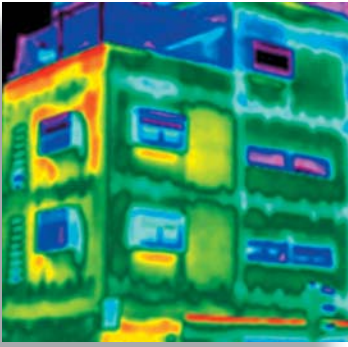


14 LINKS DE INTERÉS

- Asociación Española de Termografía Infrarroja
www.aetir.es
- Infrared Training Center (centro de formación especializado)
www.infraredtraining.com
- European Association of Thermology
www.eurothermology.com
- American Society for Nondestructive Testing
www.asnt.org

FABRICANTES DE CÁMARAS TERMOGRÁFICAS

- Electrophysics
www.electrophysics.com
- FLIR Systems
www.flir.com
- Fluke
www.fluke.com
- ICI Infrared Cameras Inc.
www.infraredcamerasinc.com
- IRISYS
www.irisys.com.uk
- ISG



Guía de termografía infrarroja

- Jenoptik
www.jenoptik.com
- Land Instruments
www.landist.es
- Mikron
www.mikron.com
- NEC
www.nec.es
- Process Sensors Corporation
www.processsensorscorp.com
- Raytheon
www.raytheon.com
- SATIR
www.satir-eu.com
- Sensors Unlimited
www.sensorsinc.com
- Testo
www.testo.es
- Thermal Wave Imaging
www.thermalwave.com
- Thermoteknix
www.thermoteknix.com
- Xenics
www.xenics.com