

La termografía como herramienta para el análisis del comportamiento térmico de la envolvente edilicia

Thermography as a tool for the analysis of the thermal performance of the building envelope

Julio Linares¹ linaresjulio10@gmail.com
Universidad Nacional de Jujuy, Jujuy, Argentina

¹ Arquitecto egresado de la Universidad Nacional de Córdoba y Especialista en Arquitectura Sustentable por la Universidad Nacional de Tucumán.

En el ámbito laboral se ha desempeñado como proyectista e inspector de obras en la Dirección General de Arquitectura, en el Instituto de Vivienda y Urbanismo y en el Ministerio de Salud de la provincia de Jujuy. Actualmente trabaja en el área de Obras y Proyectos de la Universidad Nacional de Jujuy. En cuanto a obras de arquitectura bioclimática cabe mencionar su participación como co-proyectista e inspector de la obra Hospital Nuestra Señora de Belén en Susques, provincia de Jujuy.

Se especializó también en fotografía documental y conservación de archivos fotográficos históricos, participando en la digitalización y restauración de los archivos fotográficos del Dr. Salvador Mazza y del Ingenio La Esperanza.

De ambas líneas, la arquitectónica y la fotográfica, surge su incursión en la fotografía termográfica como un medio para evaluar el comportamiento térmico energético de los edificios.

Resumen

Por razones de mercado y evolución tecnológica, dispositivos cada vez más sofisticados resultan accesibles al gran público. Esto trae como consecuencia positiva la posibilidad de realizar tareas antes reservadas a laboratorios especializados o a costosos equipos, y como negativas, la subutilización de sus potencialidades y la obtención de resultados no siempre correctos al no contar con una base conceptual necesaria para su operación.

La termografía, entendida como la generación de imágenes “fotográficas” representativas de las temperaturas de un objeto, no escapa a esta realidad. Descubierta en 1800 la radiación infrarroja, su detección y medición encuentran aplicación práctica recién durante la Segunda Guerra Mundial en los sistemas de guiado de misiles, y su uso civil comienza a partir de la década de 1960 con el lanzamiento de las primeras cámaras. Gracias a su constante evolución y reducción de costos de producción, arribamos a nuestros días con cámaras integradas a teléfonos móviles, multímetros, drones, dispositivos médicos, sistemas de seguridad y vigilancia en una amplia gama de modelos con aplicaciones específicas para cada fin, donde solo basta “apuntar y disparar” para obtener atractivas imágenes multicolores.

Uno de sus campos de aplicación se encuentra en la evaluación del comportamiento térmico de la envolvente edilicia, concretamente en el intercambio de calor entre el interior y el exterior, y sus implicancias en términos de eficiencia energética.

Este artículo pretende ser una introducción a los conceptos necesarios para comprender el uso de esta herramienta, sus alcances y limitaciones, a fin de que la persona interesada pueda profundizar en los mismos ya sea a través del estudio o de la experimentación práctica.

Palabras clave

Termografía, arquitectura sustentable, eficiencia energética, confort térmico.

Abstract

For market reasons and technological evolution, increasingly sophisticated devices are accessible to the general public. The positive effect of this is the possibility of performing tasks previously reserved for specialized laboratories or expensive equipment; the negative consequence is the underutilization of their potential and the obtaining of results that are not always accurate due to the lack of a conceptual basis for their operation.

Thermography understood as the generation of "photographic" images representative of the temperatures of an object, does not escape this reality. Infrared radiation was

discovered in 1800, but its detection and measurement found practical application only during World War II in missile guidance systems, and its civilian use began in the 1960s with the launching of the first cameras. Thanks to its constant evolution and reduction of production costs, we have reached our days with cameras integrated into mobile phones, multimeters, drones, medical devices, security and surveillance systems, in a wide range of models with specific applications for each purpose, where it is enough to merely "point and shoot" to obtain attractive multicolour images.

One of its fields of application is to evaluate the thermal behaviour of the building envelope, specifically in the heat exchange between the interior and exterior and its implications in terms of energy efficiency.

This article intends to be an introduction to the concepts necessary to understand the use of this tool, its scope and limitations so that the interested person can delve into them through study or practical experimentation.

Key Words

Thermography, sustainable architecture, energy efficiency, thermal comfort.

¿Qué es una cámara termográfica?

A primera vista una cámara termográfica es un dispositivo similar a una cámara fotográfica, con la particularidad de ser capaz de generar imágenes radiométricas, o sea imágenes representativas de la temperatura en determinados rangos de la radiación electromagnética. Así como el producto de la fotografía es una imagen que intenta ser fiel a la realidad visible, la termografía produce también imágenes, pero con un mayor grado de abstracción al representar de manera visual la distribución de las temperaturas de los objetos fotografiados. Cada píxel de la imagen termográfica representa una medición de temperatura. Por ejemplo, una cámara termográfica con una resolución de 640 x 480 píxeles toma 307.200 mediciones de temperatura a partir de la radiación infrarroja emitida por los objetos y las representa generando una imagen en función de un código de colores (Flir Systems, 2011).



Figura N°1. Distintos modelos de cámaras termográficas. Fuente: elaboración propia.



Figura N°2. Fotografía y termografía mediante cámara Flir C3. Fuente: elaboración propia.

A fin de permitirnos “ver temperaturas”, la termografía toma prestado del espectro visible los distintos colores y/o niveles de luminosidad, generando representaciones en las que cada nivel de gris y/o de color se corresponde con un valor de temperatura. Según las prestaciones del equipo y del software de procesamiento estas representaciones pueden adquirir distintas apariencias.

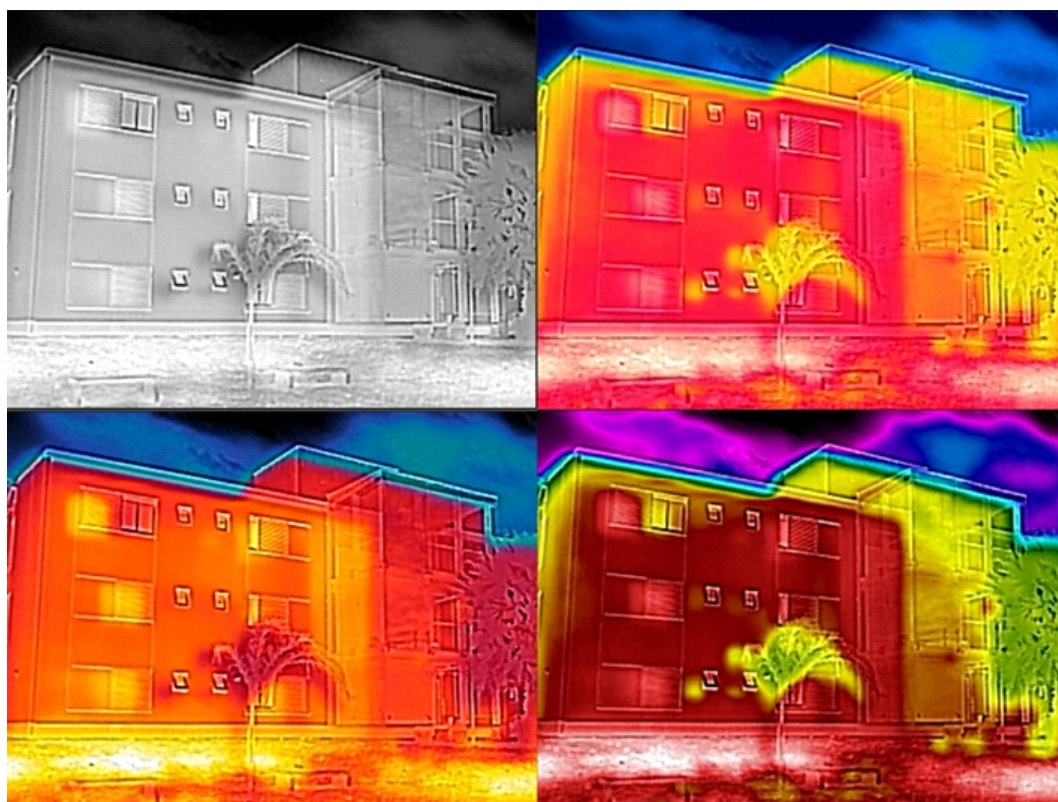


Figura N°3: Ejemplos de paletas de colores que pueden establecerse durante la toma o mediante el software de procesamiento. Fuente: elaboración propia.

Aplicaciones de la termografía

La termografía tiene aplicación en todos aquellos casos en los que interesa conocer la temperatura de los objetos que forman parte de un sistema. Como ya mencionamos, sus primeras aplicaciones prácticas se remontan a la industria bélica, para luego diversificar su utilidad en infinidad de aplicaciones y escalas, que van desde la medicina hasta la astronomía.

Por ejemplo en infraestructura industrial se utiliza para detectar fallas en instalaciones eléctricas de baja y alta tensión, al visualizar la temperatura de sus distintos componentes y dispositivos; en instalaciones mecánicas las temperaturas generadas por roce y posibles sobrecalentamientos; en sistemas de conductos la temperatura de fluidos en tuberías y válvulas, niveles de depósitos, comportamiento de aislaciones, etc. (Flir Systems, 2011).



Figura N° 4. Detección de zonas sobrecalentadas por alta resistencia eléctrica en una subestación transformadora.
Fuente: FLIR Systems, 2011.

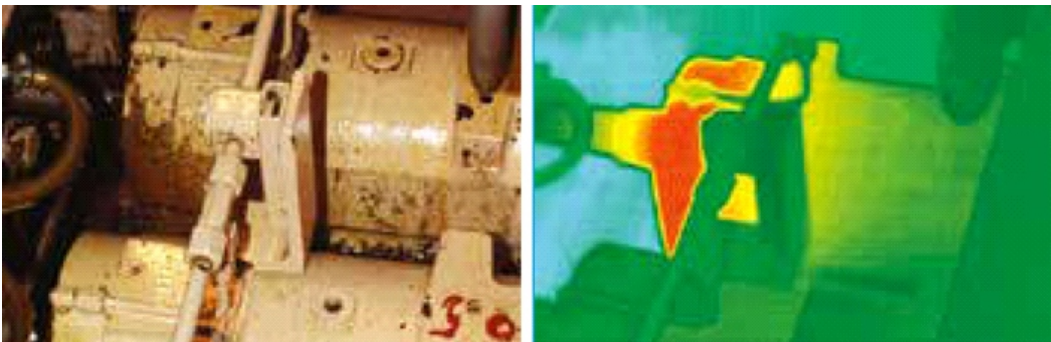


Figura N° 5: Sobrecalentamiento por fricción de un rodamiento defectuoso.
Fuente: FLIR Systems, 2011.

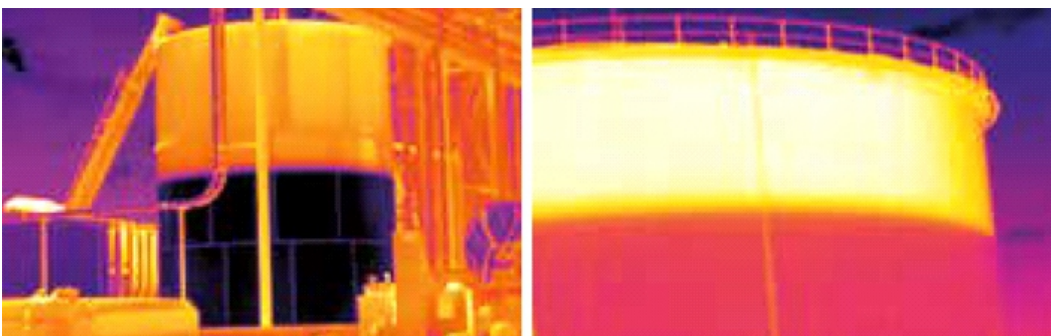


Figura N° 6. Determinación del nivel de líquidos en depósitos de almacenamiento.
Fuente: FLIR Systems, 2011.

Operación de una cámara termográfica

Además de conocer las prestaciones y el funcionamiento de la cámara y del software de edición, para una correcta toma e interpretación de las imágenes resulta imprescindible comprender las propiedades térmicas de los objetos a fotografiar desde el punto de vista de la física y como se presentan esos fenómenos en el caso de la envolvente arquitectónica. Partiendo del hecho de que todos los objetos emiten radiación infrarroja, la cámara

termográfica detecta ciertos rangos de esa radiación y calcula su temperatura. En ese proceso intervienen infinidad de aspectos, algunos son propiedades físicas de los materiales a medir como la emisividad y la reflectividad, y otros corresponden al medio o entorno de medición como la temperatura ambiente y la humedad relativa. (Flir Systems, 2011).

En tal sentido resulta fundamental comprender conceptualmente el fenómeno de la radiación electromagnética y su relación con la emisividad y reflectividad de los materiales.

Radiación electromagnética

La física define a la radiación electromagnética como al fenómeno consistente en la emisión de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas materiales por parte de algunos cuerpos, con la particularidad de poderse propagar tanto a través de un medio material como del vacío. (Melgosa Revillas et al, 2011).

Tres son los parámetros principales que caracterizan una onda:

Período: tiempo que tarda una onda en recorrer un ciclo.

Frecuencia: número de ciclos por segundo.

Longitud de onda: espacio recorrido por una onda en un tiempo igual al período.

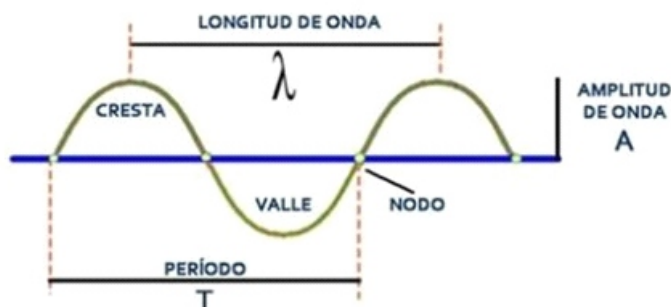


Figura N°7. Representación y componentes de una onda.

Fuente: <https://cronicaseguridad.com/2017/08/24/onda-electromagnetica-oem-transmisiones-emergencias/>

El espectro electromagnético y la radiación infrarroja

Llamamos espectro electromagnético a la clasificación de la radiación electromagnética en regiones delimitadas por un determinado rango de longitudes de onda.

De entre las regiones que conforman el espectro electromagnético cabe destacar por familiaridad el de la luz visible, comprendido en un rango de longitudes de onda que van desde los 750nm hasta los 380nm.

En el año 1800 el astrónomo inglés William Herschel observa que al descomponer la luz visible en sus distintos colores y medir la temperatura de cada uno de ellos la misma crece

de manera progresiva desde el violeta hacia el rojo, con la particularidad de que, en la región adyacente a la porción roja, fuera del espectro visible, la temperatura alcanza su valor más alto. De esta manera se descubre la existencia de la radiación infrarroja, la que se manifiesta en forma de calor. (Melgosa Revillas et al, 2011).

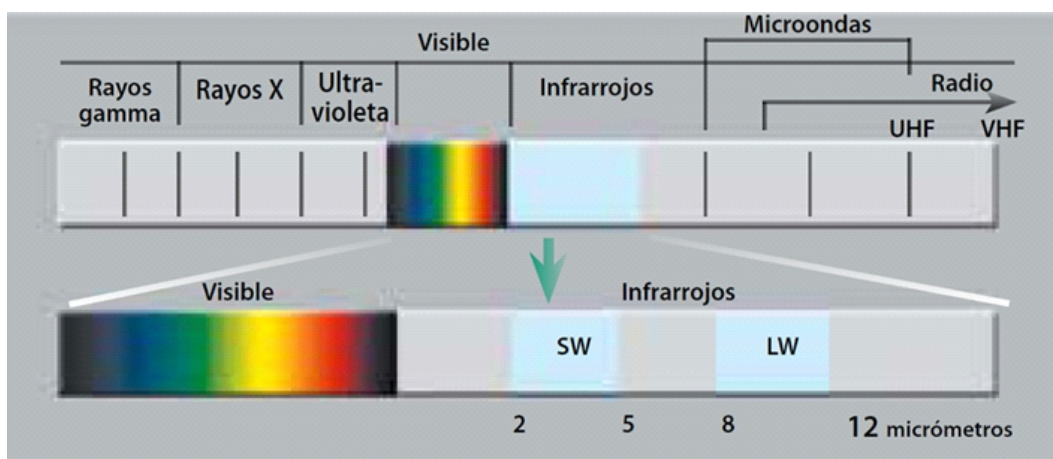


Figura N°8. Representación del espectro electromagnético y el rango correspondiente a la luz visible y la radiación infrarroja. Fuente: FLIR Systems, 2011.

La envolvente arquitectónica

Entendida como la barrera física que media entre el espacio exterior y el espacio interior de un edificio, la envolvente arquitectónica cumple múltiples funciones, integrando en un mismo objeto aspectos de distinta naturaleza como los estructurales haciendo frente a cargas internas y o externas, y los simbólicos como representación de los valores de una determinada cultura, por citar algunos.

Brindar protección ante las condiciones hostiles del medio es tal vez la primera necesidad que le dio origen. En el caso que nos ocupa la mayor o menor hostilidad está representada por las características climáticas del sitio de implantación, entendido estas como el conjunto de condiciones atmosféricas conformadas por la radiación solar, temperatura, humedad, precipitaciones, etc. En tal sentido y a diferencia con otras especies, la expansión humana desde tiempos prehistóricos lo ha llevado a colonizar y habitar prácticamente todas las regiones del planeta, enfrentándose a la necesidad de generar condiciones de habitabilidad adecuadas frente a climas diversos y a veces extremos. Es a partir de este hecho que surgen recursos como la vestimenta, el aprovechamiento del fuego y la envolvente arquitectónica.

Forman parte de esas condiciones de habitabilidad las condiciones higrotérmicas, determinadas básicamente por la temperatura, velocidad del aire, humedad y radiación térmica. Estas condiciones son específicas para cada organismo vivo y fuera de estas se

presenta el disconfort y hasta la muerte (Gonzalo, 2004).

Para el caso humano, estas condiciones están representadas en distintos modelos de climogramas que relacionan variables del clima con condiciones de confort. Uno de los más difundidos es la carta bioclimática de Givoni, en el que sobre un diagrama psicrométrico que relaciona parámetros climáticos como temperatura de bulbo seco y humedad relativa se representan áreas correspondientes a situaciones de confort y los recursos de arquitectura pasiva sugeridos para alcanzar dicho confort.

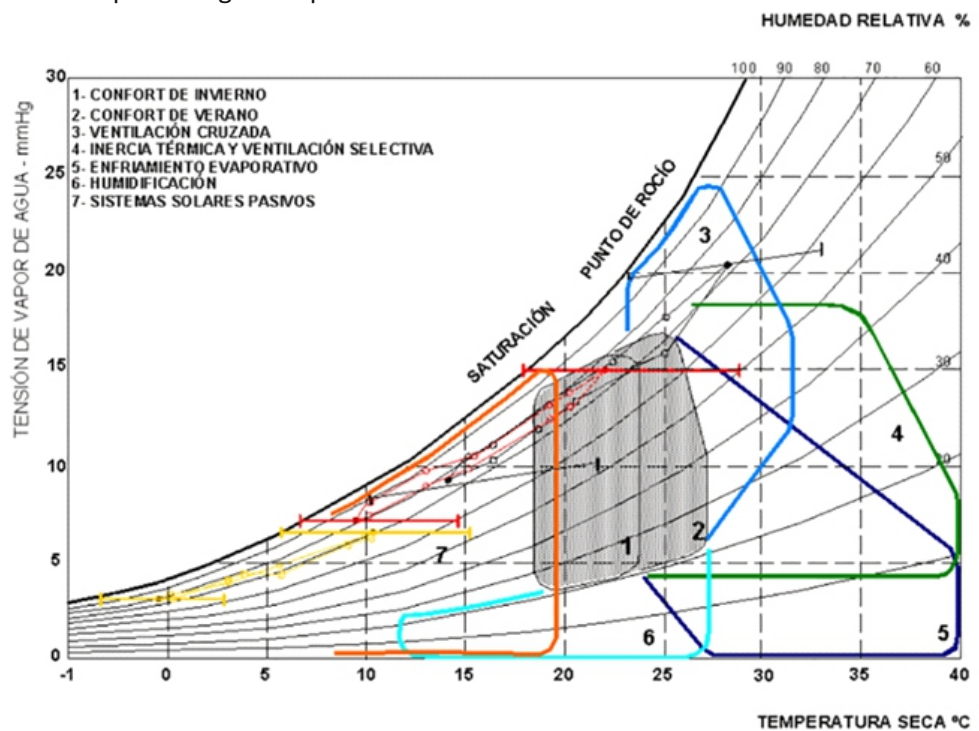


Figura N°9: Carta bioclimática de Givoni.

Fuente: <https://blog.deltoroantunez.com/2018/12/los-diagramas-bioclimaticos.html>



Figura N°10. Ejemplos de arquitectura vernácula y la adaptación de su envoltente a distintos climas y recursos.

Fuente: elaboración propia.

Rol mediador de la envolvente arquitectónica

La envolvente media entre dos realidades a veces extremas. Paredes, techos, pisos, puertas y ventanas en todas sus formas definen espacios interiores que para ser habitables deben contar con las condiciones de habitabilidad ya mencionadas.

Antes de abordar su materialización, en una primera instancia son la forma y proporciones, compacidad, relación entre llenos y vacíos y disposición u orientación con respecto a fenómenos atmosféricos como el asoleamiento, la lluvia y el viento, los aspectos que inciden en mejores condiciones de confort en su interior a partir de las condiciones exteriores (Gonzalo, 2000).

En una segunda instancia de análisis se encuentra la materialización de esa envolvente, las propiedades térmicas de los materiales y cómo estos actúan frente a la variación de energía entre el exterior y el interior, principalmente en forma de calor y luz para el caso que nos ocupa. Surge así la clasificación general de los materiales en masivos, con capacidad de transmitir y acumular calor, y aislantes, con capacidad de retardar la transferencia de calor. Básicamente es la transferencia de calor a través de la envolvente, ya sea en forma de pérdidas o ganancias, una de las principales cuestiones a evaluar mediante la termografía como herramienta.

Aspectos a tener en cuenta al realizar termografía en la envolvente arquitectónica

Condición básica.

La particularidad que tiene la evaluación de una envolvente mediante termografía, a diferencia con otras aplicaciones, es la presencia de dos realidades térmicas: una interior delimitada por la envolvente y una exterior propia del medio donde se inserta el edificio. En tal sentido y a fin de que a través de la misma se produzca un flujo de energía térmica es condición de que exista una diferencia de temperatura de al menos 10°C entre el interior y el exterior, en cualquiera de los dos sentidos.

Algunos de estos aspectos son propios de la materialidad de los objetos a fotografiar y otros del medio en el que se realiza la medición como el caso de los meteorológicos.

Aspectos propios del objeto

Emisividad y compensación de la temperatura reflejada.

Según su complejidad las cámaras termográficas cuentan con la posibilidad de configurar ciertos parámetros a partir de los cuales realiza las correcciones necesarias a fin de obtener resultados confiables, siendo los valores de emisividad y temperatura reflejada los más importantes para tal fin.

La emisividad es la propiedad de un material que determina la cantidad de energía que este

emite en forma de radiación térmica (infrarroja), o dicho de otro modo es la eficacia con la cual un objeto emite radiación térmica (Gonzalo, 2004). Su valor se encuentra comprendido entre 0 y 1 y depende del material en sí y principalmente de las características de su superficie. Por ejemplo, si tomamos un mismo material como el acero, su emisividad presentaría valores distintos y hasta extremos según cómo se presente su superficie: $e=0.25$ si estuviese pulida o $e=0.85$ en caso de estar oxidada.

Una configuración incorrecta de la emisividad nos devolvería temperaturas incorrectas. Para comprender mejor este hecho tomamos el caso de la piel humana, cuyo rango de temperatura para el caso de una persona sana y emisividad son conocidos con bastante precisión: temperaturas entre 36.5°C y 37.5°C y emisividad igual a $0,98$.

En la imagen de la figura 21 se obtiene un valor máximo de 36.6°C , mínimo de 32.1°C y promedio de 34.9°C , valores aceptables para el caso del rostro, pudiendo considerar que la medición es correcta; mientras que en la imagen siguiente, con una configuración incorrecta de emisividad se obtiene un valor máximo de $62,2^{\circ}\text{C}$, mínimo de $48,7^{\circ}\text{C}$ y promedio de $57,4^{\circ}\text{C}$, temperaturas significativamente superiores a los normales, por lo que resulta evidente que la medición es incorrecta.



Figura N°11: Termografía de rostro humano con emisividad establecida en 0,98.
Fuente: elaboración propia.



Figura N°12. Toma consecutiva a la anterior pero con emisividad establecida en 0,28.
Fuente: elaboración propia.

A diferencia con la piel humana, la envolvente arquitectónica está conformada por distintos materiales que pueden presentar además para un mismo material distintas características superficiales, y en consecuencia valores heterogéneos de emisividad y temperatura reflejada (Flir Systems, 2011).

Para conocer la emisividad de una superficie existen diferentes métodos:

1. Adoptar los valores orientativos especificados en tablas de emisividad.
2. Medición comparativa mediante termómetro de contacto y cámara termográfica. Se mide la temperatura de la superficie de referencia con un termómetro de contacto y luego con la cámara termográfica ajustando la emisividad a 1 y reduciendo gradualmente este valor hasta que coincidan ambas mediciones.
3. Medición comparativa mediante cinta adhesiva para emisividad y cámara termográfica. Se adhiere un trozo de cinta adhesiva de emisividad conocida sobre el objeto a medir, esperar un par de minutos a que se iguale la temperatura de la cinta con la del objeto, ajustar el valor de emisividad en la cámara igualándolo con el de la cinta y tomar la lectura sobre el área cubierta.

Existen en el mercado cintas específicas para tal fin como la de la marca Testo con una emisividad de 0.95. Otros fabricantes como Flir sugieren el uso de materiales de bajo costo con el fin de aumentar y unificar la emisividad.

Para aumentar o unificar la emisividad de un material existen diferentes recursos que consisten básicamente en aplicar o adherir un material superficial de emisividad conocida sobre el objeto a medir, que puede o no ser provisorio (Flir Systems, s.f.).

La corrección de la temperatura o RTC (Reflective Temperature Correction) es otro de los parámetros a configurar en la cámara a fin de obtener una medición correcta de temperatura. Este valor depende del tipo de material, su temperatura y principalmente las características de su superficie. En un mismo material superficies pulidas suelen reflejar más que en el caso de no estarlo.

A fin de visualizar la incidencia de la emisividad y la temperatura reflejada en el resultado obtenido se presenta una toma termográfica de un grupo de chapas del tipo sinusoidal galvanizadas que presentan zonas con el galvanizado original (brillante), zonas pintadas y zonas oxidadas y sucias. La toma fue realizada al anochecer, luego de haber recibido sol directo durante la tarde. La temperatura ambiente es de 12°C y la cámara se configuró con una emisividad de 0.95. A excepción de la zona galvanizada podemos afirmar que las temperaturas son confiables, teniendo en cuenta la mayor inercia térmica de la mampostería de fondo y la menor inercia de la chapa que se aproxima a la temperatura ambiente. El hecho a destacar es el de la zona galvanizada, que presenta una temperatura errónea de -10°C por interferencias ópticas y térmicas propias de una baja emisividad y una alta reflectividad. Las tonalidades azules corresponden a reflexiones de la llamada “radiación celestial fría difusa” y las amarillas a reflexiones del entorno y del propio

operador, mientras que por su baja emisividad la radiación infrarroja propia es mínima. Esta situación debe tenerse en cuenta por ejemplo al evaluar desde el exterior una envolvente conformada por mampostería pintada de alta emisividad y cubierta de chapas galvanizadas, siendo necesario aplicar al menos sobre un sector representativo de estas últimas polvos suspendidos que igualen su emisividad con la de la mampostería y eliminen la reflectividad. Para el caso en el que las diferencias no son tan marcadas, con emisividades por encima de 0.6, la corrección de lecturas puede realizarse por áreas mediante software.

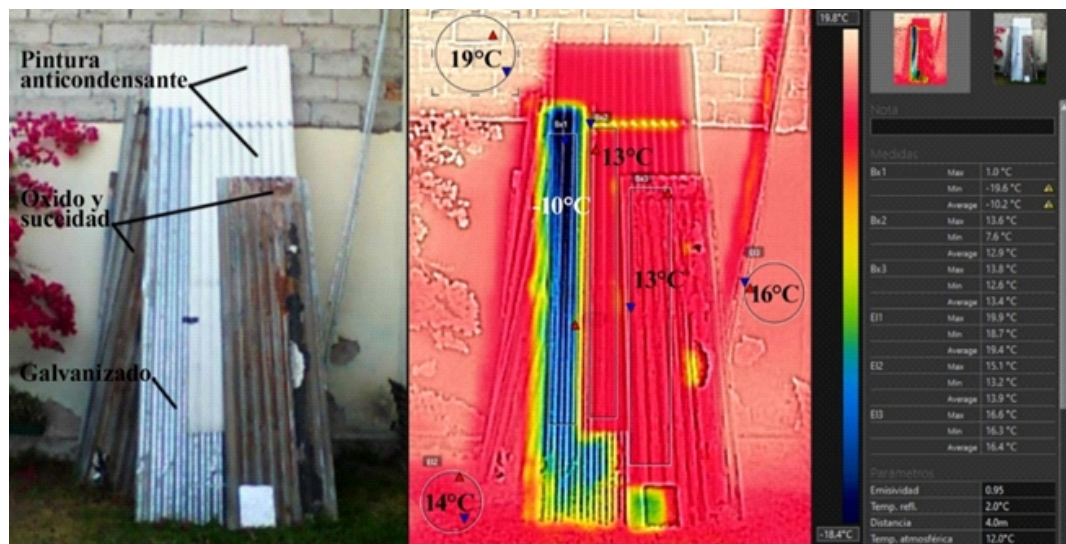


Figura N°13. Imagen de chapas diferentes y termografía de un grupo de chapas del tipo sinusoidal galvanizadas en distinto estado de conservación. Fuente: elaboración propia.

Una manera práctica de conocer la temperatura reflejada es mediante un radiador Lambert. Básicamente un radiador Lambert es un dispositivo conformado por una superficie que refleja la radiación incidente con una difusión homogénea, o sea con la misma intensidad en cualquier dirección. De manera casera se puede construir uno arrugando y alisando una lámina de papel de aluminio (como el utilizado en cocina), se lo coloca próximo a la superficie a medir y se mide su temperatura con la cámara ajustando la emisividad en 1. El valor de temperatura obtenido sobre el radiador es el que se puede utilizar para configurar la temperatura reflejada de la cámara. El ajuste de la emisividad en 1 es solo a los fines de obtener la temperatura reflejada, previo a realizar la toma definitiva esta debe ajustarse a su valor correcto (Flir Systems, 2013).

Color del objeto.

Si bien una superficie oscura se calienta con más velocidad que una clara al absorber la primera más radiación infrarroja de onda corta, el color no incide en la radiación infrarroja de onda larga emitida, por lo que no es un aspecto que considerar al momento de realizar una termografía. Dos objetos a una misma temperatura pero de distintos colores emiten

igual cantidad de radiación infrarroja y por lo tanto se expresan de igual manera en una termografía. Al margen de su color la emisividad en la mayoría de las pinturas es alta, en un rango que va de 0.90 a 0.95, a excepción de las pinturas con base metálica cuya emisividad es baja y sobre las que valen las consideraciones expresadas para este tipo de materiales.

Suciedad.

La suciedad adherida como polvo y hollín por lo general incrementa la emisividad, no presentando mayores problemas. Se debe tener en cuenta que se está tomando la temperatura de la suciedad y no la del objeto sobre la que esta está, ya que puede diferir por ejemplo si la capa de suciedad es de un espesor considerable. Mención especial merece el caso de la suciedad suelta, la que debe evitarse debido a las bolsas de aire entre esta y el objeto, que seguramente generarían lecturas erróneas.

Aspectos propios del medio

Temperatura ambiente.

La temperatura ambiente es otro parámetro por establecer en la configuración de la cámara durante la toma o en el software de análisis durante el análisis de las imágenes. Cuando la diferencia entre esta y la temperatura del objeto es grande se debe prestar especial atención al ajuste preciso de la emisividad.

Viento y movimiento de aire en general.

Debido al intercambio de calor por convección, la capa de aire inmediata a la superficie a medir tiene la misma temperatura que esta. Al producirse corrientes de aire esta capa es sustituida por otra cuya temperatura aún no se ha igualado con la del objeto. En el caso de evaluarse una envolvente desde el exterior esto puede transformarse en un inconveniente mientras que desde el interior puede ser útil al poder detectar pérdidas o ganancias de temperaturas por ejemplo por infiltraciones. Igual consideración merecen las corrientes de aire forzado o convectivas producidas por ejemplo por sistemas de acondicionamiento de aire y/o calefacción.

Luz.

Considerando que la cámara termográfica mide radiación infrarroja de onda larga, la parte del espectro correspondiente a la luz visible no incidiría en los resultados e inclusive podríamos medir en la oscuridad. Mención especial merecen las fuentes de luz caliente como una lámpara incandescente o el sol, que emiten radiación infrarroja y deben ser evitadas inclusive tiempo después de haber cesado. En tal sentido las mediciones en exteriores deben realizarse preferentemente con cielo nublado, durante y desde unas horas antes a realizar la toma, siendo las primeras horas de la mañana las más indicadas.

² Se entiende por temperatura ambiente, a la temperatura del aire tomada mediante un termómetro de bulbo seco al momento de la toma termográfica.

Lluvia y presencia de agua en general.

El agua en estado líquido y sólido tienen una elevada emisividad y su evaporación produce el enfriamiento de la superficie del objeto a medir, a lo que se suma el hecho de que en estado de nieve tiene propiedades aislantes y en estado de escarcha no, razones por las cuales debe evitarse su presencia al no asegurar una medición correcta. (Testo A.G. 2008).

Mención especial merece el caso en el que el objetivo de la medición es la detección de áreas húmedas en la envolvente, caso de humedad ascendente, pérdidas en instalaciones, etc. donde la presencia “anormal” de agua es lo que se está buscando determinar.

Humedad ambiente.

La elevada humedad ambiente es significativa en la toma de imágenes termográficas cuando esta produce neblina o empañamiento del objetivo de la cámara, al bloquear el paso de la radiación infrarroja. Suele ser un parámetro para establecer en cámara o en software de edición.

Ejemplo de aplicación

A modo de ejemplo, tomamos el caso de un edificio construido hacia fines de la década de 1920 por la Universidad de Buenos Aires en la ciudad de San Salvador de Jujuy, como parte de la Misión de Estudios de Patología Regional Argentina (MEPRA). Su función original fue la de depósito y actualmente es utilizado como oficinas.

El mismo está conformado por un prisma rectangular en dos plantas, de orientación este oeste y techo a dos aguas.

El sistema constructivo utilizado es el tradicional, con mampostería de ladrillo macizo “común” de 30cm de espesor revocado y pintado en ambos paramentos, cubierta de tejas asentadas con mortero sobre tejas cerámicas y estructura de vigas y tirantes de madera. Las aberturas son de madera y metálicas con vidrio simple de 4mm de espesor.

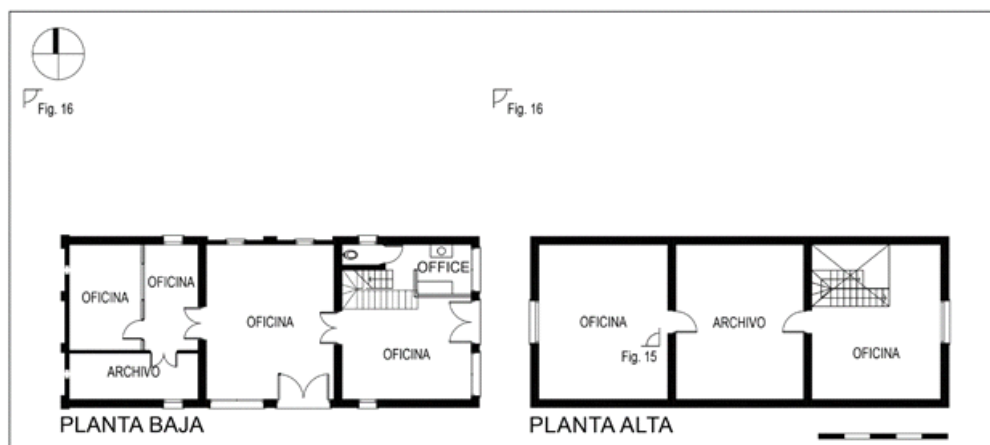


Figura N°14. Plantas. Fuente: elaboración propia.

En este caso recurrimos a la fotografía termográfica para visualizar comparativamente el desempeño térmico de muro y cubierta sobre la cara orientada al norte, por ser la que recibe la mayor exposición solar. Se toman simultáneamente imágenes desde el exterior y el interior.

Temperatura exterior 9°C e interior 19°C. Sobre mampostería se indican 18.6°C, debido a la inercia propia de su masa y espesor se mantiene aún casi en equilibrio con la temperatura interior y en pérdida con la exterior. Sobre cubierta de techo se indican 12°C, lo que evidencia que el local pierde calor a través de esta parte de la envolvente cuya temperatura en el interior e encuentra próxima a la exterior. La escala cromática hace evidente la situación expuesta. Si bien tanto la mampostería como la cubierta están conformados por materiales masivos sin aislación, en el caso de la mampostería se produce cierta acumulación de calor que es cedido al ambiente durante la noche, esto debido a su espesor, mientras que en el de la cubierta por su reducido espesor la acumulación es mínima, situación que se suma a su baja capacidad aislante.

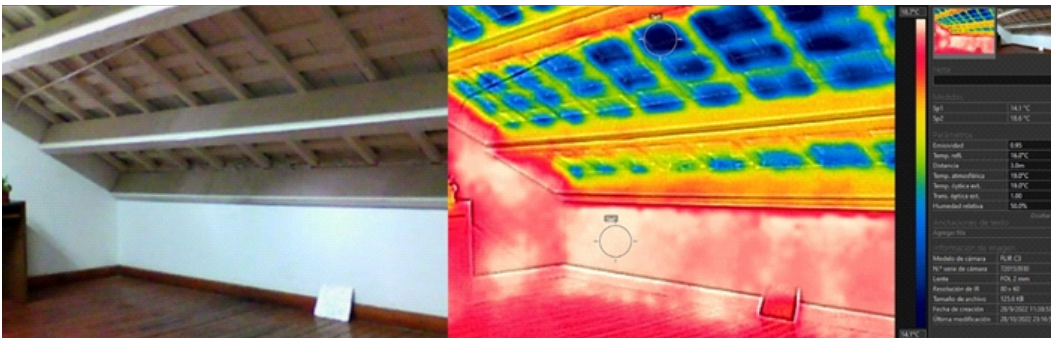


Figura N°15. Termografía interior tomada hacia el ángulo nor-oeste de la planta alta.
Fuente: elaboración propia.



Figuras N°16. Vista exterior simultánea y termografía del frente norte.
Fuente: elaboración propia.

Se colocó la imagen de la vista exterior a modo de referencia ya que el edificio se encontraba mojado por la lluvia nocturna. Sobre mampostería se indican 10.5°C, temperatura aceptable si consideramos el gradiente interior-exterior, mientras que sobre cubierta se

indican 6.1°C, temperatura seguramente influenciada por la presencia de agua. Cabe destacar la deficiencia de la cubierta con respecto a la mampostería en cuanto a capacidad aislante se refiere. Los pasos a seguir comprenderían la verificación numérica de la transmitancia térmica (k) con respecto a normas y el diseño y ejecución de las obras de mejoras a fin de lograr un comportamiento eficiente de la envolvente con respecto a la transferencia de energía térmica, minimizando así el uso de sistemas de acondicionamiento de aire frío/calor.

Conclusión

El estudio del comportamiento térmico de la envolvente arquitectónica mediante termografía requiere un análisis previo a la realización de la toma, para lo cual es necesario comprender el comportamiento físico del edificio frente a las distintas formas de transmisión del calor. En tal sentido y como punto de partida debemos contar con una diferencia de temperatura interior/exterior o exterior/interior de al menos 10°C, que garantice un flujo de calor a través de la envolvente y comprender como ese calor se expresa ante la cámara según sus propiedades superficiales, y según un gran número de factores que nos pueden llevar a resultados erróneos.

Es importante comprender que la exactitud de las mediciones, las cuales permitirán tomar luego las medidas necesarias para mejorar la eficiencia energética de las envolventes, no dependerá sólo de la sofisticación de los equipos utilizados, sino de los conocimientos teóricos del profesional, en cuanto a temas como materialidad del objeto y reflexión de los materiales, formas de transmisión de calor, reflexión de los materiales, entre otros, ya que estos conocimientos le permitirán hacer una correcta toma de datos y una posterior lectura de los resultados precisa

Bibliografía

Flir Systems (2011). Guía de termografía para mantenimiento predictivo. Guía informativa del uso de cámaras termográficas en aplicaciones industriales. Extraído el 23 de Mayo de 2019 de https://saedelta.com.mx/pdf/flir_termografia.pdf

Flir Systems (2013). Manual del usuario Flir Tools/Tools+. Extraído el 23 de Mayo de 2019 de [http://allgemein.ace-tec.org/0001%20WBK%20FLIR/CD%2007-2013/User%20documentation/Spanish/Manual%20Flir%20Tools%203.1%20\(Spanish\).pdf](http://allgemein.ace-tec.org/0001%20WBK%20FLIR/CD%2007-2013/User%20documentation/Spanish/Manual%20Flir%20Tools%203.1%20(Spanish).pdf)

Flir Systems (2017). Manual del usuario. Serie FLIR Cx. Extraído el 23 de Mayo de 2019 de <https://docplayer.es/169446003-Manual-del-usuario-serie-flir-cx.html>

Flir Systems (s.f.). Utilice materiales de bajo coste para aumentar la emisividad de los objetos. Extraído el 22 de Junio de 2019 de http://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/RND_044/RND_044_ES.pdf

Gonzalo, G. (2008). Manual de Arquitectura Bioclimática. Editorial Nobuko. Buenos Aires.

Gonzalo, G. (2000). Metodología para el bioclimático y uso de energía no convencional en edificios -Vol.11. Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Tucumán. San Miguel de Tucumán.

Melgosa Revillas S. et al (2011). Guía de la termografía infrarroja. Aplicaciones en ahorro y eficiencia energética. Extraído el 5 de Abril de 2020 de <http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM015258.pdf>

Testo A.G. (2008). Termografía, guía de bolsillo. Extraído el 23 de Mayo de 2019 de http://www.ait-orseñor.com/testo_guia.pdf