

Reflexión especular de la radiación infrarroja: grandes malentendidos

Rafael Royo
Agencia Española Certificada en Termografía Infrarroja
(AECTIR)
Valencia, España
+34 618 32 33 21, rroyo@ter.upv.es

Resumen

Existe mucha confusión sobre el concepto de reflectividad. Es normal suponer que las superficies con reflejo especular tienen una reflectividad alta, y por tanto las que no se comportan como espejo, baja. El objetivo de este trabajo es mostrar de forma práctica que es muy común la existencia de superficies con baja reflectividad pero con reflejo especular, y compararlo con el comportamiento de superficies especulares de alta reflectividad. Por otra parte, se demuestra que es posible medir temperaturas sobre superficies especulares, incluso aunque aparezcan “falsos puntos calientes”. Finalmente se propone un método para determinar la emisividad de superficies especulares con baja emisividad, hasta valores incluso inferiores a 0.1.

Introducción

Recordemos uno de nuestros mejores cursos: el curso de Nivel 1 de termografía infrarroja. Una parte importante de este curso versa sobre la radiación saliente de una superficie opaca, que está compuesta en general de dos términos, emisión y reflexión. A este segundo término le asociamos el parámetro adimensional reflectividad relacionado con la emisividad en forma complementaria ($1 - \epsilon$), y una temperatura aparente reflejada, que se mide de una forma bastante extraña para los principiantes, con un trozo de aluminio arrugado, pero que al estar certificado de acuerdo a una norma ISO, que no recuerdo muy bien... sí, la ISO 18434-1, de repente se convierte en muy riguroso. De la componente reflejada, se dice durante el curso que no calienta la superficie sobre la que se refleja, incluso puede calentar los objetos de alrededor... Y muchas otras cosas muy interesantes. De verdad, os aconsejo el curso, no es porque lo de yo...

En el capítulo sobre “Interpretación de la imagen térmica” de este maravilloso curso, se habla de cómo afectan los reflejos a la imagen infrarroja, y la conclusión parece, al menos para los principiantes, que debes de evitar los reflejos por todos los medios, y que es imposible medir temperaturas sobre un punto sobre el que detectes un reflejo, ¿verdad?

Aunque en otra parte de este mismo increíble curso hay una afirmación que dice “siempre se refleja algo”. ¿En qué quedamos, pues? ¿Se puede medir o no?

Este artículo trata de poner algo de luz en este tema tan complicado... pero de todos modos, ¡siempre es posible que no consiga explicarme y que al final os quedéis peor que al principio!

Conceptos básicos

Es importante recordar una cosa un poco extraña: la naturaleza vectorial de cualquier tipo de radiación, y por tanto también de la radiación infrarroja. Pues empezamos bien... Cuando decimos naturaleza

vectorial nos referimos a que la radiación tiene una magnitud, evidentemente, pero también una dirección y un sentido. ¿Alguien me sigue?

De verdad, si pudiera no lo haría, pero es necesario aplicar estos conceptos a la radiación reflejada, para tratar de clarificar algunas malinterpretaciones en la práctica de la termografía infrarroja.

Como todos sabemos, la reflectividad o coeficiente de reflexión se define como el cociente entre la magnitud de la radiación reflejada y la incidente. Obviamente, este parámetro para los objetos reales es siempre menor que uno, igual que la emisividad, ¿a que sí?

Cuando hablamos de reflexión especular, nos referimos a que al reflejarse, la dirección de la radiación es simétrica respecto de la incidente. El sentido es opuesto, pero la radiación incidente desde puntos diferentes de un objeto sigue trayectorias paralelas una vez se refleja, o sea para que nos entendamos se obtiene una imagen reflejada simétrica, como lo que le pasa en un espejo a la radiación visible.

Este no es el caso de la reflexión difusa, en la que debido a la naturaleza de la superficie, la dirección de la radiación reflejada es aleatoria, y por tanto dicha radiación se mezcla y se superpone, eliminando por tanto completamente la posibilidad de una imagen reflejada coherente.

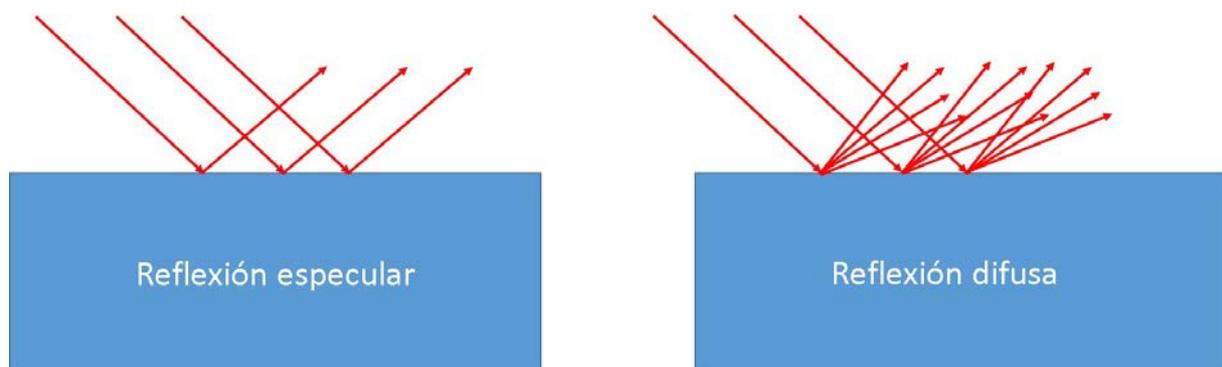


Figura 1. Reflexión especular y difusa

La naturaleza de la reflexión, especular o difusa, asociada a dirección y sentido, no tiene nada que ver con la magnitud de la reflexión, asociada con la reflectividad. Este parámetro solo compara la magnitud de la radiación reflejada e incidente, por tanto independientemente de la naturaleza de la reflexión, especular o difusa, la reflectividad puede ser muy baja o muy alta. ¿Hay alguien todavía leyendo esto?

Considere el caso del vidrio comercial de ventana. La emisividad de este material, vidrio común puede llegar a ser bastante alta, hasta 0.85, que implica como superficie opaca al infrarrojo una baja reflectividad, tan reducida como $(1 - \epsilon)$, 0.15. Pero la reflexión del vidrio normal siempre tiene naturaleza especular: somos capaces de distinguir la imagen reflejada de cualquier objeto, por ejemplo de nuestra propia cara.

¿Que la pasa a las temperaturas que medimos? La temperatura real en un punto de mi cara en este caso es de 34 °C. Parece muy razonable para piel de un individuo tan sano como yo (espero que sí) si consideramos un entorno a una temperatura normal de confort, aire en reposo y superficies de alrededor también confortables (sobre 23.5 °C).

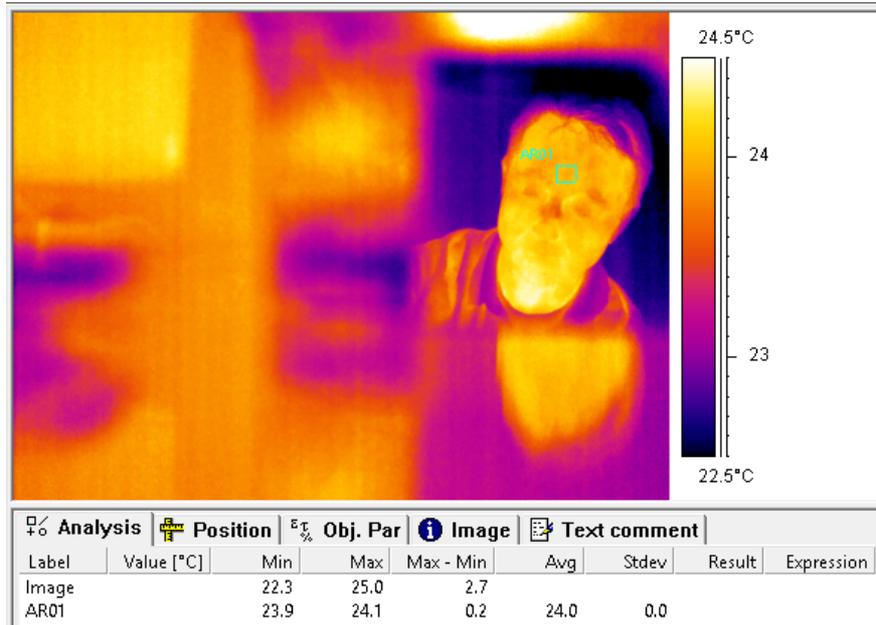


Figura 2. Reflexión del cuerpo humano sobre vidrio común.

¿Qué temperatura medimos sobre la imagen reflejada de mi frente sobre cristal común (ver figura 2)? Casi casi la temperatura ambiente: 24 °C. Aunque se puede reconocer claramente como reflejo especular, la intensidad de la radiación reflejada es muy baja, y por tanto las temperaturas que medimos sobre el reflejo son muy similares a las del entorno.

Con este ejemplo, espero que entenderemos fácilmente que podemos encontrarnos con cualquier combinación entre naturaleza de la reflexión y valor del parámetro de reflectividad. Podemos distinguir, por ejemplo entre:

- Superficies de baja reflectividad con reflexión especular (ejemplo del cristal común descrito)
- Superficies de alta reflectividad con reflexión difusa (como ejemplo el famoso aluminio arrugado que utilizamos para medir la temperatura aparente reflejada).

El primer malentendido tiene que ver con la idea de que no se puede medir temperaturas en superficies donde se pueda distinguir claramente un reflejo, es decir sobre superficies especulares. ¡Eso es mentira! En el caso del cristal común, puesto que la reflectividad es baja, la temperatura real del cristal puede determinarse perfectamente, aunque yo vea reflejos especulares claramente: en el caso de la figura 2, este cristal tiene que estar más o menos a temperatura ambiente, y puedo medir tranquilamente su temperatura, puesto que la emisividad es relativamente alta, como ya hemos dicho alrededor de 0.85.

El problema más serio podemos encontrarlo justo en el caso contrario, superficies de alta reflectividad pero con reflejo difuso. Afortunadamente este tipo de superficies no parece que sean muy habituales. El caso más sencillo que se me ocurre es de nuevo el del aluminio arrugado que se usa en el test de emisividad para medir la temperatura aparente reflejada.

Ya que estamos en esto, tenga cuidado en este test, no va a ser capaz de estimar la emisividad de cualquier superficie si su magnitud es inferior que la del aluminio arrugado que utilizamos como referencia para la temperatura aparente reflejada. Por ejemplo, considere el caso de un espejo infrarrojo de muy altas prestaciones: ¡imposible!

Superficies especulares y con elevados valores de reflectividad son comunes en el caso de las superficies reflectantes de las luminarias o en estufas infrarrojas que trabajan casi como espejos infrarrojos perfectos, como se muestra en la figura 3.



Figura 3. Estufa infrarroja.

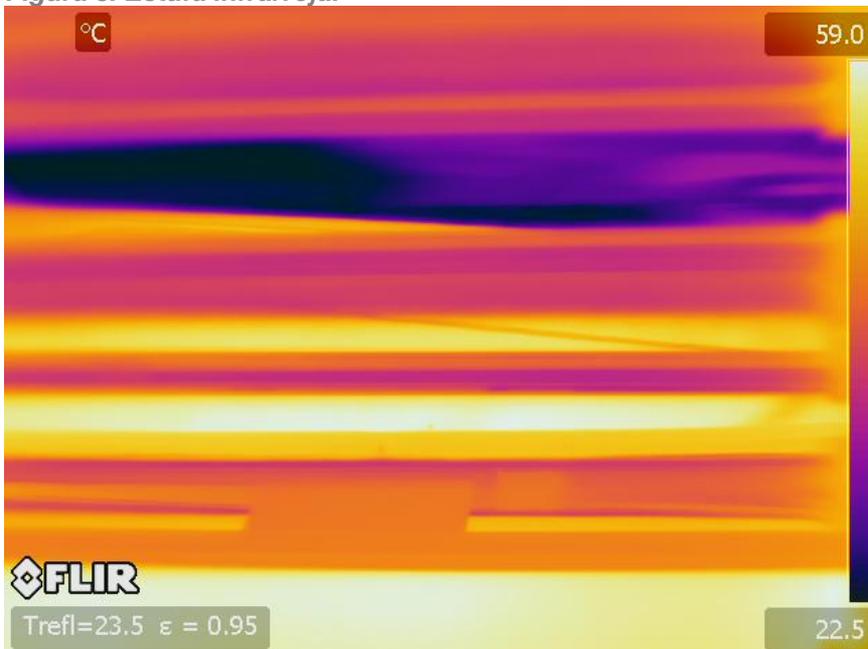


Figura 4. Imagen térmica del calentador infrarrojo anterior cuando acabamos de encenderlo.

Este es un ejemplo de un material del que es casi imposible estimar su emisividad: asumimos que será muy baja, pero de valor desconocido: todo lo que se ve en la superficie son reflejos, y encima la reflectividad es altísima.

¿Y esto es todo, amigos? ¿Es imposible medir? ¿Para esta conclusión tan triste, todo este rollo sobre termografía? A ver... Pero, ¿qué pasa si trabajamos fundamentalmente con la radiación reflejada? O sea...

¿Por qué no trabajar con radiación reflejada, en lugar de emitida, para superficies de baja emisividad?

Considere la expresión de la radiación saliente de un objeto opaco: ¿Ya estamos otra vez con estas?

$$J = E + \rho G = \varepsilon \sigma T_{\text{obj}}^4 + (1-\varepsilon) \sigma T_{\text{refl}}^4$$

El primer término es la emisión; el segundo la radiación reflejada.

Seguidme, por favor, si la emisividad del objeto que estamos intentando caracterizar es realmente muy baja, el problema ciertamente es que el segundo término de la expresión, la radiación reflejada es el que más peso tiene. (Tú, el autor, sí que eres pesado). Determinar la emisividad a partir de un término emitido es muy difícil, porque las incertidumbres en la medida se incrementan al trabajar con poca radiación, el potencial de los posibles errores es muy alto, y al final puede llegar a ocurrir que sea imposible una buena estimación de la emisividad.

Lo que proponemos en este artículo es un método alternativo para determinar la emisividad de superficies especulares pero con baja emisividad, donde según lo descrito se maximiza el término de la radiación reflejada. (Por fin, ya era hora de que llegara algo interesante).

En este caso, el objeto del que se quiere estimar la emisividad es casi preferible mantenerlo a temperatura ambiente, y sobre él hacemos que se refleje un cuerpo cuya temperatura aparente sea conocida, y que debe ser diferente a la del cuerpo cuya emisividad queremos caracterizar. La aproximación es la misma que en el test para la estimación de la emisividad: este parámetro solo tiene efecto en la fórmula anterior si la temperatura del objeto y la reflejada son diferentes. Es mejor siempre reflejar cuerpos calientes, pero no es necesario que estén ardiendo, ¿para qué quemarse?

Para realizar todas las operaciones que son necesarias, utilice la propia cámara infrarroja o el programa que más prefiera, puesto que las expresiones que intervienen en los cálculos son ciertamente las mismas que en la metodología general de estimación de la emisividad propuesta por el ITC.

Aplicaremos este método para determinar la emisividad de un vidrio eficiente, de baja emisividad.

Este vidrio se encuentra a temperatura ambiente en el caso inicial. Como temperatura reflejada utilizaremos la de la piel humana, esto es, como en el caso anterior voy a reflejarme yo mismo (síndrome de egocentrismo y narcisismo). Así pues, para medir la temperatura aparente reflejada, mido directamente sobre mi frente con emisividad 1 y distancia 0, de forma similar al método general propuesto en el ensayo de emisividad por el ITC. (¿Pero si parece todo lo mismo, no?)

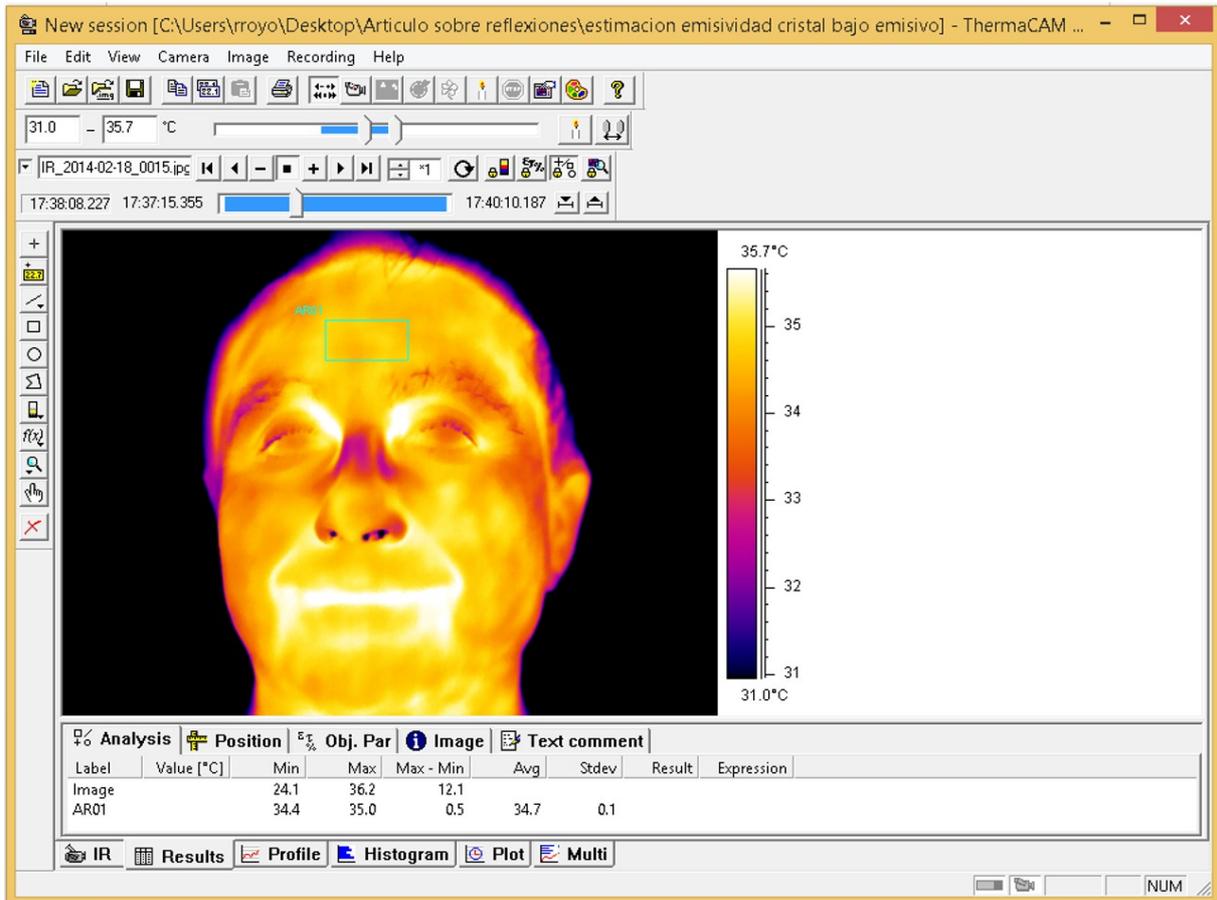


Figura 5. Determinando la temperatura aparente reflejada (yo mismo).

La temperatura medida es de 34.7 °C en la zona escogida de mi frente, esta será pues la temperatura aparente reflejada para el vidrio que quiero caracterizar.

Colocamos sobre esta superficie una cinta de PVC con emisividad conocida de 0.95. Sobre ella mediremos la temperatura real, que resulta ser de 23.8 °C.

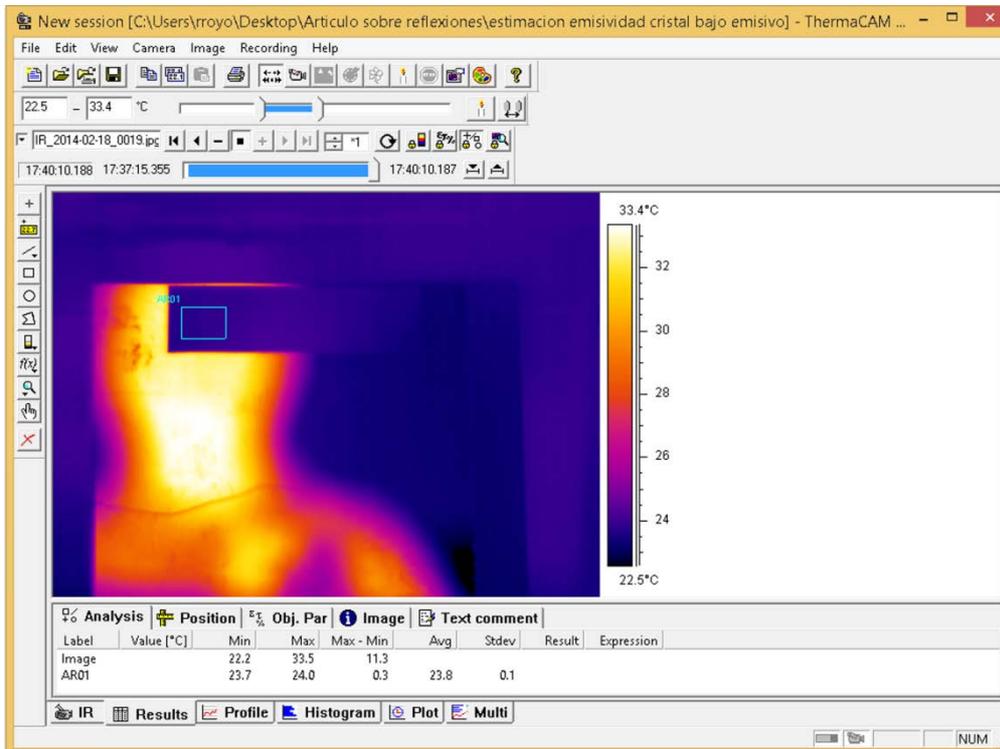


Figura 6. Medida de la temperatura real del vidrio con ayuda de una cinta de PVC (que sea buena, eh?).

Llevamos a cabo la medida de temperatura en el cristal en el lugar donde aparece reflejada mi frente.

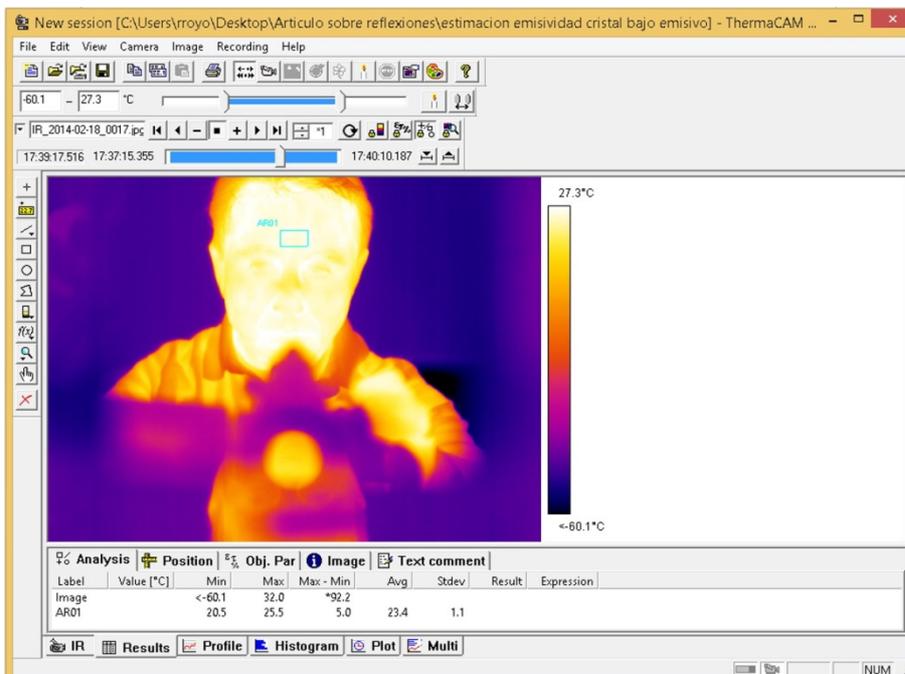


Figura 7. Medida de temperatura sobre el reflejo especular sobre el cristal. (Yo pero reflejado).

Modificamos finalmente la emisividad hasta que la temperatura medida sobre este lugar sea la misma que la obtenemos con la cinta de PVC de alta emisividad, es decir la temperatura ambiente. El valor

final obtenido es de 0.13, en el rango de emisividad normal para este tipo de cristales eficientes, de bajas pérdidas de radiación y de acuerdo a las expectativas del fabricante.

Como puede verse, externamente el método es similar al propuesto por el ITC, pero internamente estamos utilizando el término reflejado que en este caso tiene una magnitud elevada, con lo que la estimación final de emisividad, creemos que es bastante más precisa. (¿Os he vendido la moto?)

Conclusiones

- Se ha llevado a cabo un análisis en el que se ha tratado de explicar la magnitud de la reflectividad y la naturaleza de la reflexión, intentando clarificar estos conceptos fundamentales.
- Es posible trabajar sin problemas con superficies de alta emisividad pero con reflexión especular, tales como el vidrio común, aunque se observen claramente reflejos.
- Se propone un método alternativo para determinar la emisividad de superficies especulares con bajos valores de emisividad, que utiliza las mismas expresiones propuestas por el ITC.
- Los resultados son altamente satisfactorios, y reducen las posibles incertidumbres que pueden llevar a grandes errores con la aplicación de la metodología general.

Acerca del autor

Rafael Royo Pastor es Doctor Ingeniero Industrial y trabajar como Profesor en el Instituto de Ingeniería Energética - Universidad Politécnica de Valencia (UPV) - España. Es Nivel III, especialista en radiación infrarroja y transmisión de calor, habiéndose especializado en tres campos de aplicación: motores de combustión interna de automoción, optimización y eficiencia energética y edificios de alta eficiencia. Ha colaborado con el Departamento de Estudios de Renault España, durante casi diez años, y con empresas como ACCIONA.

Finalmente, Rafael es un colaborador activo del ITC en el desarrollo de materiales de formación, liderando el conjunto de instructores en España, y dando cursos tanto en España como en Latinoamérica.