

# Aplicaciones de la radiación térmica

Iñigo González de Arrieta\*

18 de febrero de 2015

## 1. Fundamento teórico

Como es bien sabido, toda la materia por encima de los 0 K emite calor por radiación, debido al movimiento térmico de las cargas contenidas en su interior. En este artículo trataremos de explicar la teoría básica subyacente a este fenómeno y el papel que juega para el mundo de la tecnología y la industria.

El punto de partida para una explicación básica de la radiación térmica es la ley de Planck y el electromagnetismo en la materia. Por tanto, es necesario haber cursado por lo menos un curso de Física Moderna y uno o dos de Electromagnetismo para comprender verdaderamente lo aquí expuesto. No obstante, se ha intentado simplificar la exposición al máximo. Se invita a quien quiera saber más sobre el tema a consultar el libro *Thermal Radiation Heat Transfer*, de Siegel/Howell.

Procedemos a una breve exposición de las bases teóricas de la radiación térmica:

### 1.1. Ley de Planck

El asunto de la radiación térmica intrigó a la comunidad científica durante muchos años. La física estadística clásica, que había logrado explicar un gran número de fenómenos macroscópicos, era incapaz de predecir la distribución espectral<sup>1</sup> de energía irradiada por un cuerpo, conocida experimentalmente.

En 1900, Max Planck propuso su revolucionaria hipótesis cuántica, que postulaba que la emisión de energía electromagnética no era continua, sino que se realizaba en forma de muchos 'paquetes' de energía discretos (fotones). Esta sencilla premisa le permitió obtener una expresión para la potencia irradiada por un cuerpo negro, definido como un objeto que absorbe toda la energía que recibe, sin reflejar nada:

$$e_b(\lambda, T) = \frac{2\pi C_1}{\lambda^5 (e^{C_2/\lambda T} - 1)} \quad (1)$$

con  $C_1 = hc^2$  y  $C_2 = hc/k_B$ .

---

\*Iñigo González de Arrieta es estudiante de cuarto curso del Grado en Física en la UPV/EHU y miembro de la junta directiva de Zimatek.

<sup>1</sup>En función de la longitud de onda  $\lambda$ .

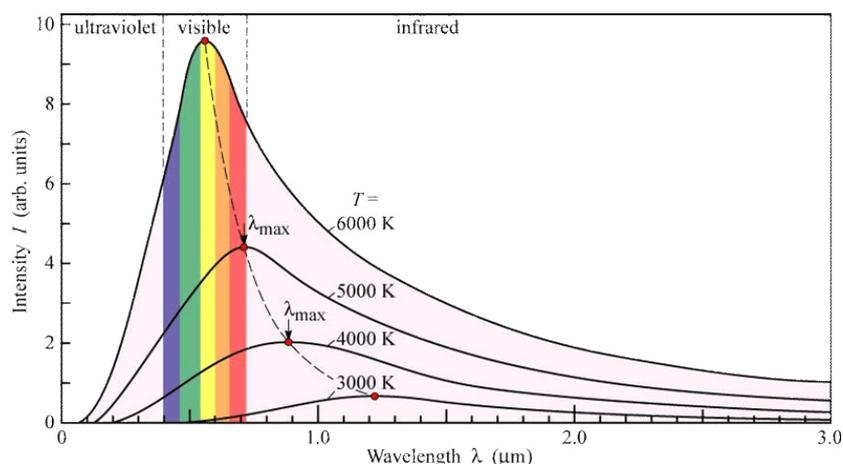


Figura 1: Distribución espectral de energías de un cuerpo negro (fuente: quantum-freak.com).

La ley de Planck es uno de los mayores hitos de la historia de la Física, y dio pie al desarrollo de la Mecánica Cuántica, base fundamental de la ciencia y la tecnología de los siglos XX y XXI. No obstante, también tiene una enorme utilidad en sí misma, ya que supone el punto de partida para el estudio de la radiación térmica de la materia. El resto del capítulo abordará el tratamiento de la radiación térmica para materiales reales, los cuales nunca cumplen la hipótesis de absorción total.

## 1.2. Caracterización de los materiales reales

Es evidente que los sistemas reales no son cuerpos negros. Si todos los cuerpos absorbieran toda la radiación que les llega, nunca podríamos ver nada que no emitiera luz propia. Sin embargo, es también evidente que hay cuerpos que absorben o reflejan mucha más luz que otros<sup>2</sup>. Es necesario, por tanto, establecer criterios para relacionar las propiedades radiativas de los materiales reales con las de un cuerpo negro (único sistema para el cual existe solución exacta), que además reflejen la enorme diversidad de comportamientos que presentan.

Definimos la absorptividad  $\alpha$  como el cociente de la energía (o potencia) absorbida por el material sobre la energía total incidente en él:

$$\alpha = \frac{e_{abs}}{e_{inc}} \quad (2)$$

<sup>2</sup>La reflexión y/o absorción de luz no es un buen indicador, ya que la luz visible sólo es una pequeñísima parte del espectro electromagnético. Un cuerpo puede ser negro en el visible y sin embargo buen reflector en el infrarrojo.

Definimos así mismo la reflectividad  $\rho$  como el cociente de la potencia reflejada sobre la potencia total incidente:

$$\rho = \frac{e_{ref}}{e_{inc}} \quad (3)$$

Por conservación de la energía,  $e_{abs} + e_{ref}$  debe ser igual a  $e_{inc}$ . Por tanto,

$$\rho = 1 - \alpha \quad (4)$$

En general, las cantidades  $\alpha$  y  $\rho$  serán funciones de  $\lambda$  y  $T$ .

Una tercera cantidad, la emisividad  $\epsilon$ , se define como el cociente entre la potencia emitida por un cuerpo real y la emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura en la misma longitud de onda:

$$\epsilon(\lambda, T) = \frac{e(\lambda, T)}{e_b(\lambda, T)} \quad (5)$$

La relación entre esta magnitud y las anteriores es muy simple: para un cuerpo en equilibrio térmico, *la emisividad y la absorptividad deben ser iguales*, a fin de que el balance de energía intercambiada con el exterior sea 0.

## 2. Aplicaciones de la radiación térmica

### 2.1. Energía solar

El grueso de la investigación actual en energía es el desarrollo de métodos y tecnologías más eficientes y baratas para transformar, transportar y almacenar la energía. En el caso concreto de la energía solar, las características radiativas de los materiales usados en los colectores son de una importancia capital en la mejora de su rendimiento. Los colectores absorben la energía del sol, con lo que interesa que su absorptividad (y, por tanto, emisividad) sea máxima en la región del espectro electromagnético ocupada por la radiación solar. A su vez, el colector solar radia y pierde energía, con lo que interesa que su emisividad sea mínima en la región ocupada por su propio espectro. Mientras que el sol (a  $5000K$ ) emite en el visible y ultravioleta, el colector solar, con una temperatura de unos  $200 - 300^\circ C$ , emite en el infrarrojo. Por tanto, un material con una emisividad selectiva como la indicada abajo optimiza el aprovechamiento de la energía solar.

Los materiales empleados para esto suelen ser compuestos multicapa con una estructura muy compleja. La investigación en este tipo de materiales es hoy día un campo muy activo, con ingentes cantidades de trabajo para optimizar cada vez más las propiedades de los colectores solares.

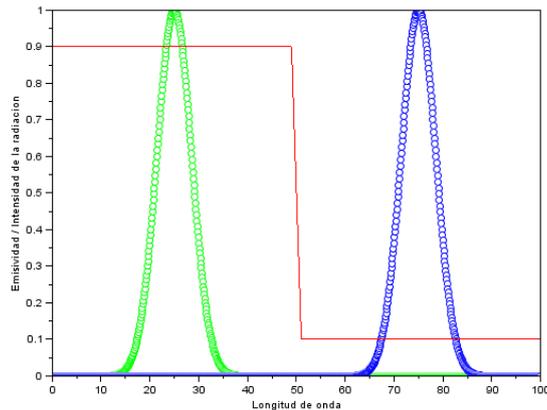


Figura 2: Distribución espectral de la emisividad de un colector solar (en rojo). Las intensidades del Sol (verde) y el colector (azul) no están a escala y su forma es sólo aproximada. Se observa cómo la figura maximiza la absorción del Sol y minimiza las pérdidas del colector. (fuente: elaboración propia).

## 2.2. Recubrimientos térmicos

La investigación en materiales para la energía no acaba con la búsqueda de compuestos que maximicen el rendimiento de la producción de energía en las plantas solares, sino que también es muy importante el aprovechamiento de energía en el lugar en el que se vaya a usar. En este aspecto, la búsqueda de aislantes térmicos lo suficientemente buenos y baratos como para ser producidos en masa es vital.

Para ver el papel que juega la radiación térmica en los aislamientos basta con recurrir a los invernaderos. Un invernadero funciona de forma muy similar a una placa solar: tiene una emisividad selectiva que permite absorber el máximo de energía solar y emitir la menor posible, teniendo en cuenta que el sol y las plantas del invernadero están a temperaturas muy diferentes, con lo que emiten en regiones distintas del espectro electromagnético.

El principal escollo en la investigación de materiales para aislamiento térmico es el coste, ya que se conocen en la actualidad materiales extremadamente eficientes, pero que no se pueden producir en cantidades suficientes para aislar millones de casas y miles de millones de ventanas.

Hemos hablado de aislamientos térmicos, pero hay otros tipos de recubrimientos térmicos cuyo objetivo no es aislar el interior para ahorrar energía. Un ejemplo claro y muy vistoso son los satélites artificiales. En este caso, el papel del recubrimiento térmico es proteger el equipo electrónico del interior de una excesiva insolación, pero también refrigerar dicho equipo, que se calienta a sí mismo por efecto Joule. Teniendo en cuenta que en el espacio no hay apenas materia, la única forma de liberar calor es mediante

radiación. Por tanto, la búsqueda de materiales con propiedades radiativas óptimas es absolutamente crucial para la investigación espacial.

### 2.3. Pirometría

La pirometría es la medición de temperaturas mediante métodos ópticos. El pirómetro recibe una señal electromagnética, lo que permite, conociendo la emisividad del material, deducir su temperatura.

La pirometría es una herramienta crucial en la industria pesada, donde las altas temperaturas y complicadas disposiciones de máquinas y materiales hacen muy difícil la utilización de termómetros convencionales, que requieren contacto directo con la muestra. También es útil para medir la temperatura de objetos móviles, o en general de cualquier cuerpo que presente dificultades de manejo. A menudo es también empleado en situaciones más corrientes debido a su sencillez y alta funcionalidad.

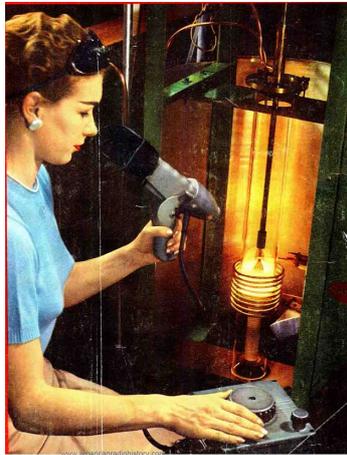


Figura 3: Medición de temperaturas por pirometría (fuente: Wikipedia).

El principal inconveniente de la pirometría es precisamente la necesidad de conocer la emisividad del material a estudiar, no sólo en condiciones de laboratorio, sino en las de trabajo (p.e.  $T > 1000^{\circ}C$ , oxidación, impurezas, desgaste de la superficie...). Por ello es tan importante para la industria contar con equipos de investigación en radiación térmica.

### 2.4. Corrosión de materiales

Las mediciones de emisividad de un material en contacto con el oxígeno u otros agentes corrosivos pueden servir para analizar el mecanismo de corrosión de ese material. Esto se debe a que se crea una capa de óxido, que actúa fundamentalmente como un dieléctrico entre el aire y el sustrato emisor. Como sabemos del electromagnetismo, en las interfaces entre materiales se producen reflexiones de las ondas incidentes. Si las ondas reflejadas en la frontera óxido-aire están en contrafase con las emitidas desde el

sustrato, se anularán. Por el contrario, si están en fase se amplificarán. De esta forma, la introducción de un agente oxidante puede modificar sustancialmente la cantidad de energía que abandona la muestra, modificando así la emisividad. Como el parámetro fundamental que gobierna el mecanismo de interferencia es el grosor de la capa de óxido, midiendo la emisividad en función del tiempo podemos observar picos y valles que nos darán información sobre la velocidad de oxidación de la muestra.

No existen imágenes de dominio público que ilustren este fenómeno, así que se remite a las personas interesadas a un artículo publicado por investigadores de la UPV/EHU sobre el tema:

- del Campo, L., Pérez-Sáez, R.B., Tello, M.J. (2008), Iron oxidation kinetics study by using infrared spectral emissivity measurements below 570°C, *Corrosion Science*, 50 (1), 194-199

## 2.5. Aplicaciones militares: aviones furtivos

La radiación térmica juega un importante papel en la tecnología militar, fundamentalmente en dos aspectos: detección y reconocimiento de señales térmicas, y tecnologías furtivas. Por su bajo coste y ligereza, la localización pasiva por infrarrojos se ha convertido en el estándar de tecnología de guiado de misiles antiaéreos. Estos misiles tienen un detector de radiación térmica que busca señales de temperatura alta (motores de avión) y se dirige automáticamente a ellos. Para engañar a estos misiles se emplean recubrimientos con materiales de emisividad selectiva, que emitan mal en la región espectral correspondiente al máximo de emisión del avión. De esta forma, el avión emite menos radiación y es más probable que su señal térmica quede camuflada entre el ruido atmosférico. La razón de usar materiales con emisividad selectiva y no simplemente emisividad baja para todas las longitudes de onda es que, a grandes alturas, el aire es tan poco denso que los motores se refrigeran mal (situación análoga a la del satélite mencionado arriba). Por tanto, es necesario tener una alta emisividad en longitudes de onda 'no sospechosas' para evitar que se fundan los componentes del propio avión.



Figura 4: Avión furtivo Lockheed F-117 Nighthawk del ejército de los Estados Unidos de América, empleado en la Primera Guerra del Golfo (fuente: Wikipedia).

### 3. Conclusión

Como hemos visto a lo largo de este artículo, la radiación térmica es un fenómeno de gran importancia industrial y tecnológica, que, a pesar de tener detrás una teoría bien asentada y perfectamente funcional (aunque bastante más complicada de lo aquí expuesto), no por ello ha dejado de formar parte activa de la investigación en ciencia de materiales. Como esperamos haya quedado patente en la sección de aplicaciones, casi cualquier proceso o mecanismo que requiera transferencias de calor depende crucialmente de las propiedades radiativas de los materiales empleados. Es por esto que el estudio de la radiación térmica es realmente un híbrido entre la ciencia y la tecnología, debido a la inmediata aplicación de toda la investigación en dicho campo. A su vez, las necesidades tecnológicas a menudo fuerzan a menudo a buscar materiales con propiedades muy específicas, lo cual a su vez redundará en una mejor caracterización y un mayor conocimiento de las propiedades de numerosos compuestos.