PRÁCTICA Nº 3.
RADIACIÓN DE CUERPOS GRISES

1. OBJETIVOS

a) Estudiar la radiación emitida por superficies con diferentes acabados pero a la misma temperatura

b) Determinar experimentalmente la emisividad de dichas superficies

2. MATERIAL: Cubo de Leslie, pila de Moll, sonda de temperatura (termopar), interface Cassy-Lab y ordenador.

3. FUNDAMENTO TEÓRICO

Se denomina radiación térmica o radiación calorífica a la emitida por un cuerpo debido a su temperatura. Todos los cuerpos con temperatura superior a 0 K emiten radiación electromagnética, siendo su intensidad dependiente de la temperatura y de la longitud de onda considerada. En lo que respecta a la transferencia de calor, la radiación relevante es la comprendida en el rango de longitudes de onda de 0,1μ m a 100μm, abarcando por tanto parte de la región ultravioleta, la visible y la infrarroja del espectro electromagnético. En otros rangos de longitudes de onda (por ejemplo: ondas de radio o rayos X) los efectos de la radiación no son esencialmente caloríficos.

La potencia de radiación de un cuerpo depende de su temperatura y de las características de su superficie, alcanzando valores apreciables sólo para objetos "calientes". Se denomina *cuerpo negro* al objeto capaz de absorber toda la radiación que le llega; es también un emisor perfecto. La potencia total que emite un cuerpo negro por unidad de superficie (emitancia) depende de la cuarta potencia de su temperatura absoluta:

$$E_{cn} = \sigma T^4 \qquad (1)$$ ley de **Stefan-Boltzmann**

donde $\sigma = 12{,}9876\pi k^4/(c^2h^3) = 5{,}67\text{x}10^{-8}$ W $m^{-2}K^{-4}$ es la constante de Stefan-Boltzmann y E_{cn} es la emitancia del cuerpo negro (que se expresa en W m^{-2}).

La emitancia monocromática, es decir, la correspondiente a un intervalo muy estrecho de longitud de onda en λ, viene dada por la ley de **Planck**:

$$E_{\lambda,cn}(\lambda, T) = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5 (e^{hc/\lambda kT} - 1)} = \frac{C_1}{\lambda^5 (e^{C_2/\lambda T} - 1)} \qquad (2)$$

$C_1 = 2\pi hc^2 = 3.74 \text{ x } 10^8$ W$\mu m^4/m^2$

$C_2 = hc/k = 1.439 \text{ x } 10^4$ μm K

Se comprueba además que la longitud de onda a la que se produce el máximo de emisión viene dada por la ley de desplazamiento de **Wien**:

$$\lambda_{max} T = 2{,}898\text{x}10^{-3} \text{ m K} \qquad (3)$$

Las leyes anteriores son estrictamente aplicables sólo a cuerpos negros. Un cuerpo o superficie real emite menos que un cuerpo negro a la misma temperatura. Se introduce entonces un factor corrector, $\varepsilon_\lambda(\lambda, T)$, que se denomina emisividad monocromática o

espectral. La emisividad monocromática de una superficie se define como el cociente entre la emitancia de esa superficie a una longitud de onda dada y la de un cuerpo negro a la misma temperatura y a la misma longitud de onda. Por tanto, la emitancia monocromática de un cuerpo real viene dada por

$$E_\lambda(\lambda,T) = \varepsilon_\lambda E_{\lambda,cn}(\lambda,T), \text{ siendo } 0 \le \varepsilon_\lambda \le 1 \qquad (4)$$

Las superficies cuya emisividad monocromática es independiente de la longitud de onda, se denominan *superficies o cuerpos grises*. Un cuerpo gris emite por tanto menos radiación que un cuerpo negro, pero en la misma proporción respecto a éste en todas las longitudes de onda. Su emitancia total viene dada por la expresión:

$$E = \varepsilon \sigma T^4 \qquad (5)$$

donde ε es la *emisividad (total),* que es una característica de la superficie emisora y que depende en general de la temperatura. También se cumple que $\varepsilon \le 1$

La emisión y la absorción de radiación por parte de una superficie están relacionadas. Si una superficie emite mucho a determinada longitud de onda, también absorbe mucho a esa longitud de onda. Se demuestra que, en el equilibrio térmico, la emisividad total ε de una superficie es igual al coeficiente de absorción o absortividad α (ley de **Kirchhoff**).

Cuando un cuerpo con emisividad superficial ε y temperatura T está en un entorno a temperatura T_a , la potencia calorífica neta por unidad de superficie intercambiada con el entorno por radiación puede calcularse de forma aproximada a partir de la expresión:

$$E' = \varepsilon \sigma (T^4 - T_a^4) \qquad (6)$$

A partir de la ecuación (6), se concluye que cuando la temperatura de la superficie es la misma que la del entorno, no hay intercambio neto de calor, mientras que la potencia calorífica intercambiada aumenta rápidamente conforme aumenta la temperatura del cuerpo respecto a la del entorno.

4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

En esta práctica realizaremos medidas de la radiación emitida por superficies grises a temperatura conocida con objeto de determinar su emisividad. Para ello nos serviremos del cubo de Leslie, que es una caja metálica cúbica hueca cuyas caras exteriores tienen diferentes acabados (blanca, negra, metálica brillante y metálica mate). En el interior de este recipiente se introduce agua caliente que sirve para elevar por igual la temperatura de las diferentes caras. Por medio de una termopila de Moll (un detector termoeléctrico de radiación en el infrarrojo) se mide la potencia de radiación emitida por cada cara. Con un termopar introducido en el cubo se mide la temperatura del agua y por tanto de las paredes. Se tendrá la precaución de **agitar el agua continuamente** para garantizar la uniformidad de las temperaturas.

Cubo de Leslie

El registro de señales de los diferentes sensores se hace a través de la interface Cassy-Lab que envía los datos a un ordenador personal donde se registran y almacenan (ver anexo 1 con las instrucciones para su manejo y las opciones disponibles). Por medio de Cassy-Lab obtenemos los datos de temperatura y tensión a intervalos de tiempo prefijados y podemos realizar gráficos y ajustes.

4.1 PRECAUCIONES

Se debe tener cuidado para evitar quemaduras por derrame del líquido caliente o por contacto con las superficies, cuyas temperaturas pueden alcanzar valores próximos a 100 ºC.

Precauciones al medir: Las intensidades a medir son pequeñas y por tanto el experimento es muy sensible frente perturbaciones externas: evitar el movimiento de personas cerca del montaje mientras se mide, pues son fuentes térmicas en el infrarrojo que afectan a la medida.

Manejar la termopila con cuidado, evitando cualquier golpe; no tocar el tubo de la termopila con la mano pues esto varía la temperatura de la carcasa y puede falsear las medidas.

La pila de Moll tiene en su extremo una tapa protectora de cristal que se debe quitar para realizar las medidas. El protector deberá volverse a colocar al finalizar la práctica.

4.2 MONTAJE

a) Se coloca el cubo de Leslie sobre la plataforma del banco óptico tal y como se indica en la figura adjunta. **Comenzando con la cara negra**.

b) Se sitúa la termopila de Moll sobre el banco óptico enfrente y próxima a una de las caras (a unos 5 cm), para medir directamente la radiación procedente de ella y evitar otras fuentes térmicas cercanas. La termopila se conecta a la interface Cassy-Lab que nos permitirá registrar las medidas por medio del ordenador.

c) Se conecta también el termopar de Ni-NiCr a dicha interface.

- Activamos en el ordenador el programa Cassy-Lab y las pantallas correspondientes para medir las señales procedentes del termopar (T_1) y de la termopila (tensión, UB_1).
- Se elige la opción 0ºC-120ºC para el rango de medidas de T_1
- Para el rango de UB_1, con el origen a la izquierda, elegimos 0-10mV **para la cara negra y la blanca, y cambiamos a** 0-3mV para las otras dos).

También se elige la opción de valores instantáneos, con un intervalo de medida de 30 s.

Se calienta el agua en un recipiente aparte (cazo con resistencia eléctrica) hasta la ebullición y se echa después dentro del cubo de Leslie con ayuda de un embudo. Se deben limpiar los posibles derrames con papel absorbente y retirar el recipiente caliente de la zona de medida.

d) Se introduce el termopar por el orificio existente en uno de los vértices de la cara superior del cubo de Leslie. En el orificio central se introduce el agitador para remover el agua..

e) Se pone en marcha sobre el ordenador el registro de los datos (temperatura y tensión). Estas variables se toman a intervalos de 30 segundos durante 20 minutos.

f) Finalizadas las medidas sobre una de las caras, se vuelve a calentar el agua del cubo de Leslie en el cazo con resistencia eléctrica hasta la ebullición., y se vuelve a realizar el proceso para cada una de las caras restantes, (2º blanca, 3º metálica mate y 4º metálica brillante). La distancia a la que se sitúa la termopila debe ser la misma en todos los casos.

g) Una vez finalizada la práctica, colocar la tapa protectora de la termopila y desconectar todos los aparatos, incluido el transformador que alimenta la Interface Cassy-Lab.

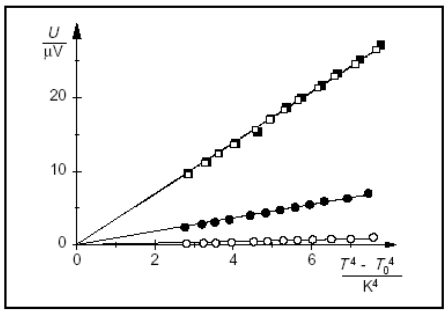
5. RESULTADOS

a) Con los datos registrados con el ordenador, construir una tabla como la siguiente para cada una de la caras:

Cara:			T_a(ºC)=	T_a(K)=
t(s)	T(ºC)	T(K)	$(T^4-T_a^4)$ (K^4)	U (mV)

b) Representar la temperatura T frente al tiempo t, la tensión U frente al tiempo t y la tensión U frente a la temperatura T para las diferentes caras. Realizar una comparación entre ellas. Ordenar las superficies en orden decreciente de radiación emitida.

c) Representar la tensión U frente a (T^4-T_a^4) para las distintas caras. Ajustar por mínimos cuadrados los puntos obtenidos en cada caso a sendas rectas. Sabiendo que la tensión es proporcional a la potencia de radiación emitida y asumiendo que la emisividad para la cara negra es ε=1, determinar la emisividad del resto de las caras (blanca, metálica mate y metálica brillante).



d) Comparar estas emisividades determinadas experimentalmente con las encontradas en la bibliografía para superficies blancas, de aluminio mate y de aluminio pulido respectivamente.

e) Discutir cuál de las superficies se espera que absorba más radiación y si los resultados son compatibles con la ley de Kirchhoff.