

PROCESO SELECTIVO PARA INGRESO, POR EL SISTEMA GENERAL DE ACCESO LIBRE, EN LA ESCALA DE TÉCNICOS ESPECIALIZADOS DE LOS ORGANISMOS PÚBLICOS DE INVESTIGACIÓN, CONVOCADAS POR RESOLUCIÓN DE LA SUBSECRETARÍA DEL MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES ("BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO" N°315 DE 31 DE DICIEMBRE DE 2025)

TERCER EJERCICIO

Área de especialización:

A9 T3 SISTEMAS OPTOELECTRÓNICOS

- **No abra** el **SUPUESTO PRÁCTICO** ni empiece el examen hasta que se le indique.
- Este **EJERCICIO** consistirá en la resolución por escrito de un supuesto práctico, de los dos propuestos, relacionado con las materias específicas del área de especialización.
- El tiempo de realización de este ejercicio es de **ciento veinte (120) minutos**.
- Cumplimente los datos personales y firme la **HOJA DE DATOS PERSONALES**. Esta hoja, junto al resto de la resolución del ejercicio llevada a cabo por el aspirante será introducida en un sobre que se cerrará y firmará por un miembro del tribunal y por el aspirante.
- Conteste sólo en las **HOJAS DE RESPUESTA** facilitadas por el tribunal. Utilice **tantas HOJAS DE RESPUESTA** como necesite. **NUMERE** las **HOJAS DE REPUESTA**.
- El **EJERCICIO** deberá entregarlo el opositor al finalizar el tiempo.

PÁGINA EN BLANCO

PRIMER SUPUESTO PRÁCTICO

(Total 30 puntos)

Un laboratorio de medidas infrarrojas recibe el encargo de realizar la firma infrarroja de una aeronave F-18:

1. ¿En qué rangos del infrarrojo se debería caracterizar la firma infrarroja? **(6 puntos)**
2. ¿Qué tipo de detectores deberían tener los equipos que realicen dicha caracterización? **(6 puntos)**
3. ¿Qué equipos utilizarías para caracterizar la firma infrarroja? **(6 puntos)**
4. ¿Cómo calibrarías dichos equipos? **(6 puntos)**
5. ¿Qué magnitudes radiométricas medirías y cuales darías como resultado en dicha caracterización? **(6 puntos)**

SEGUNDO SUPUESTO PRÁCTICO (Total 30 puntos)

Ejercicio 1 (15 puntos)

Se dispone de una cámara térmica como la que aparece en la Figura 1. Se pretende hacer una primera calibración y ajuste para posteriormente poder hacer una medida de sus principales figuras de mérito.



Figura 1: Cámara Térmica Telops.

- 1) Sabemos que el detector es de tipo fotovoltaico de InSb (antimoniuro de indio) refrigerado por LN2 (Temperatura de ebullición = 77°K). La energía de gap E_{gap} del InSb viene dada por la siguiente expresión:

$$E_{gap} = 0.233 - 6.489 * 10^{-5}T - 5.0826 * 10^{-7}T^2 \text{ [eV]}$$

donde T hace referencia a la temperatura del detector en Kelvins. Teniendo eso en cuenta, ¿qué rango del espectro IR de los típicamente utilizados en defensa es capaz de detectar la cámara? Dibuja de manera cualitativa la responsividad esperada de este tipo de detector vs la longitud de onda. Compara las características generales de los detectores de tipo fotovoltaico con los basados en microbolómetros.

- 2) Para hacer la calibración de la cámara, la enfrentamos a un cuerpo negro (CN) como el que aparece en la Figura 3. Sabemos que la imagen del CN llena completamente el detector, y por tanto se debería ver una imagen como la de la Figura 2b. Sin embargo, vemos que la imagen obtenida es como la de la Figura 2a. ¿Qué corrección aplicarías para conseguir tener una imagen como la de la Figura 2b? Explica qué tipos de correcciones se suelen aplicar a las imágenes de cámaras térmicas.

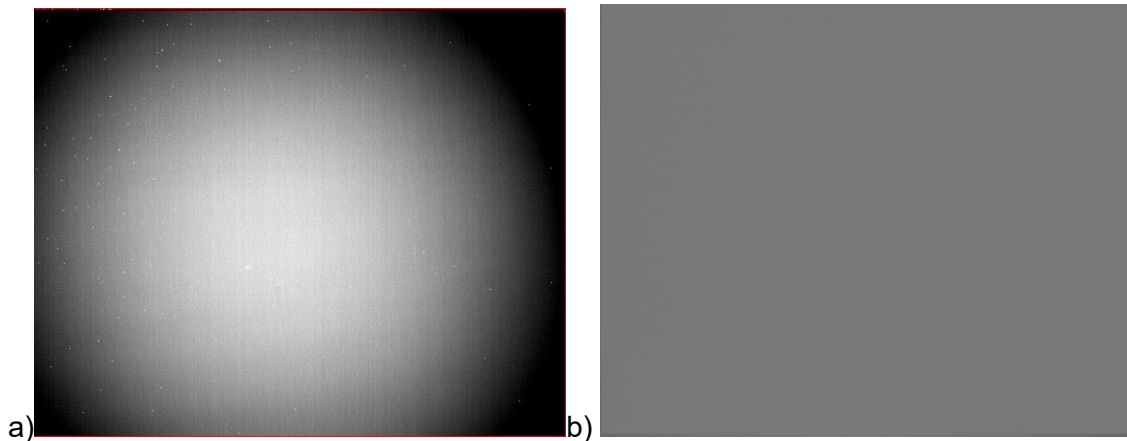


Figura 2: Imágenes de la cámara térmica.

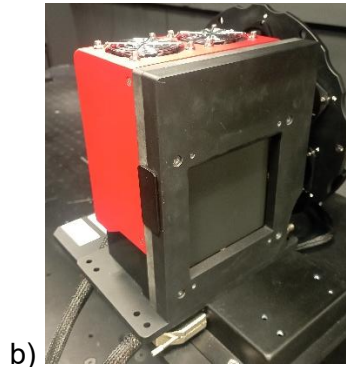
- 3) Tras aplicar la corrección anterior, se procede a calibrar la cámara. Para ello, se enfrenta la cámara al CN, que se encuentra situado a 1m aproximadamente. Si se sabe que el coeficiente de extinción atmosférica es de 0.15Km^{-1} , calcula la transmitancia atmosférica.
- 4) Durante la caracterización se obtiene un valor de NETD de 30 mK (milikelvins). ¿Qué información proporciona la NETD?
- 5) Una de las principales figuras de mérito en sistemas ópticos es la MTF. ¿Qué mide la MTF?. ¿Por qué es tan importante en óptica?. **Puntos extra:** Sabemos que la MTF del objetivo de una cámara es A, y la MTF del detector es B, ¿cuál sería la MTF del sistema completo (objetivo+detector)?
- 6) Se descubre que, debido a las aberraciones, la MTF de la óptica es inferior a la esperada. Enumera y describe brevemente los tipos de aberraciones ópticas que existen. Para cuantificarlas, ¿qué instrumento óptico utilizarías?

Ejercicio 2 (15 puntos)

Los cuerpos negros (CN) son fuentes radiativas ampliamente utilizadas en laboratorios de sistemas IR que reproducen de manera quasi-perfecta la radiación emitida por un cuerpo negro ideal. Como se puede observar en la Figura 3 el cuerpo negro cuenta con 2 elementos: el controlador y la cabeza emisora. En el controlador el usuario ajusta y controla la temperatura aparente (ver **Nota 1**) de la cabeza emisora y de leer la sonda de temperatura. De manera simplificada, la cabeza emisora consta de; una placa de metal de alta conductividad térmica en contacto térmico con una matriz de elementos termoelectrónicos (células Peltier), y que se encuentra pintada por la cara externa con una pintura negra de muy alta emisividad ($\varepsilon > 0.98$); una sonda en contacto térmico con la placa encargada de medir su temperatura; y un sistema de refrigeración.



a)



b)

Figura 3: Cuerpo negro: a) esquema simplificado de los elementos, b) ejemplo de la cabeza emisora del cuerpo negro.

Los cuerpos negros utilizados en laboratorios necesitan calibraciones periódicas. Como resultado de estas calibraciones se generan unas tablas (ver Tabla 1) que relacionan la temperatura medida por la sonda y la temperatura aparente del CN.

Temperatura aparente emitida en banda MWIR [°C]	Temperatura de la sonda [°C]	Diferencia
1,1	0	1,1
20,2	20	0,2
49,6	50	-0,4
109,1	110	-0,9
148,9	150	-1,1

Tabla 1: Tabla de calibración de cuerpo negro.

Nota 1: La **temperatura aparente** (T_{app}) se define como la temperatura de un cuerpo negro ideal que proporcionaría la misma radiancia que la fuente de cuerpo negro de laboratorio.

- 1) Establecemos en el controlador de nuestra fuente de cuerpo negro del laboratorio una temperatura $T_{app} = 100^{\circ}\text{C}$. ¿Cuál sería la expresión de la radiancia espectral emitida en función de la longitud de onda?. Determine también la expresión para calcular la radiancia emitida en la banda MWIR (3-5 μm).
- 2) Basándose en la tabla de calibración del cuerpo negro, ¿cómo estimaría la temperatura que de la sonda cuando la temperatura aparente sea de 75°C ?. Justifique cualquier tipo de asunción que haga. **Puntos extra: calcúlela.**

- 3) Existen factores que hacen que exista una diferencia de temperatura (ΔT) entre la temperatura real de la placa (T_{placa}) y la de la sonda. Asumiendo que la emisividad (ε) de la placa es conocida, obtén la expresión analítica de la radiancia espectral emitida por la placa. Utilizando dicha expresión y asumiendo que $\varepsilon = 0.98$, $T_{app} = 75^\circ\text{C}$, $\lambda = 4 \mu\text{m}$, ¿cuál sería la temperatura de la placa?
- 4) El cuerpo negro se encuentra en equilibrio termodinámico ($\alpha = \varepsilon$). Teniendo en cuenta eso, y aplicando el principio de conservación de energía, demuestra que la reflectancia (ρ) de la superficie del cuerpo negro es $\rho = 1 - \varepsilon$.
- 5) La reflectancia, en este caso, se puede definir como el cociente entre la radiancia espectral reflejada y la radiancia espectral incidente en la superficie. Obtenga la expresión de la radiancia emitida por el CN en función de los siguientes parámetros: T_{placa} , λ , ε y la radiancia espectral incidente en la superficie.

Formulario (No todas las fórmulas puede que sean necesarias)

Ley de Stefan-Boltzmann:

$$M = \sigma T^4$$

Donde M es la exitancia en W/m^2 , σ es la constante de Boltzman $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$ y T es la temperatura en Kelvins.

Ley de Planck:

$$L_\lambda = \frac{c_1}{\lambda[\mu m]^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda \cdot T}\right) - 1} \quad \left[\frac{W}{m^2 \cdot sr \cdot \mu m} \right]$$

donde $c_1 = 1,19 \times 10^8$, y $c_2 = 1,44 \times 10^4 \mu m \cdot K$

Frecuencia de corte:

$$\lambda[\mu m] = 1.24/E[eV]$$

Ley de Beer-Lambert:

$$\tau = e^{-\alpha L}$$

Siendo τ la transmitancia.

Ley de Wien

$$\lambda_{max} T = 2898 \mu m \cdot K$$

Responsividad detector:

$$R = \eta \lambda \left(\frac{q}{hc} \right) \quad [A/W]$$

Donde η es la eficiencia cuántica del detector, λ es la longitud de onda, q es la carga elemental del electrón ($q = 1.602 \times 10^{-19} C$), h es la constante de Plank $h = 6.626 \times 10^{-34} J \cdot s$ y c es la velocidad de la luz $c = 3 \times 10^8 m/s$