



Tema 6:

Sensores en el Óptico y en el Infrarrojo



Sensores en el Óptico y en el Infrarrojo

6.1. Breve historia de los sensores ópticos e infrarrojos

- 1835-1839: Primeras fotografías
- 1858: Nadar realiza las primeras fotografías desde un globo
- 1909: Wright realiza la primera fotografía desde avión
- I y II guerras mundiales: gran desarrollo de las películas sensibles al VIS/IR
-> detección de blancos camuflados
- 1959: primera foto de la Tierra desde el espacio (Explorer 6)
- 1960: primera foto color de la Tierra desde el espacio en un vuelo Mercury-Atlas no tripulado
- 1/4/60: TIROS-1 Television and InfraRed Observation Satellite
- 1969: Apollo 9: 4 cámaras con filtros diferentes
- 1972: LANDSAT-1 ('72-'78) Sensor MSS
- 1975: LANDSAT-2 ('75-'83) Sensor MSS
- 1978: LANDSAT-3 ('78-'86) Sensor MSS
NIMBUS -7 ('78-'86) Sensor CZCS
- 1982: LANDSAT-4 ('82-'92 Standby)



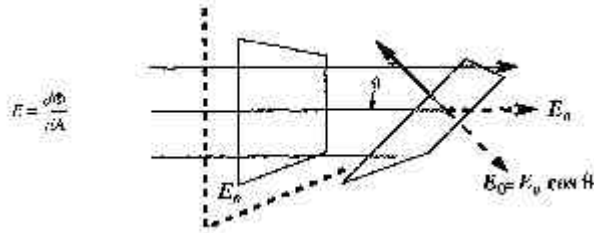
Sensores en el Óptico y en el Infrarrojo

- 1984: LANDSAT-5 (´84-operacional)
- 1988, 90, 93, 98: SPOT-1,2,3,4 Sensor HRV
- Sensor AVHRR:
 - ´78-´80 TIROS N
 - ´79-´86 NOAA-6
 - ´81-´86 NOAA-7
 - ´83-´85 NOAA-8
 - ´84-... NOAA-9
 - ´86-... NOAA-10
 - ´88-... NOAA-11
 - ´91-... NOAA-12
 - (´94) NOAA-13

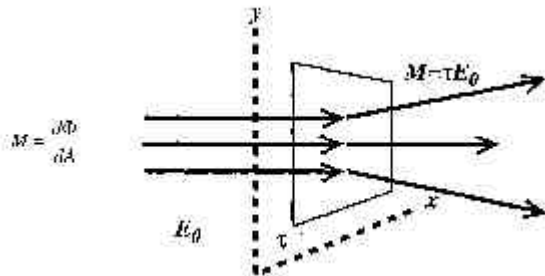
6.2. Definición de términos radiométricos

- **Flujo radiante:** Φ [W] Potencia transportada por la radiación

- **Irradiancia:** $E(x, y) = \frac{d\Phi}{dA}$ [W/m²] velocidad a la que el flujo radiante se entrega a una superficie

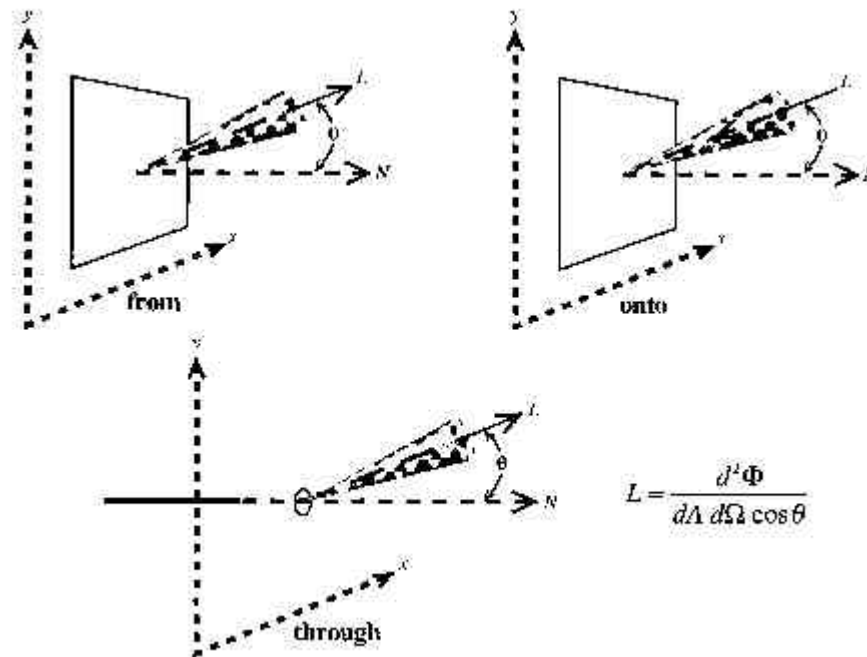


- **Emitancia (exitancia):** $M(x, y) = \frac{d\mathbf{f}}{dA}$ [W/m²] flujo por unidad de superficie radiado, transmitido o reflejado por una superficie

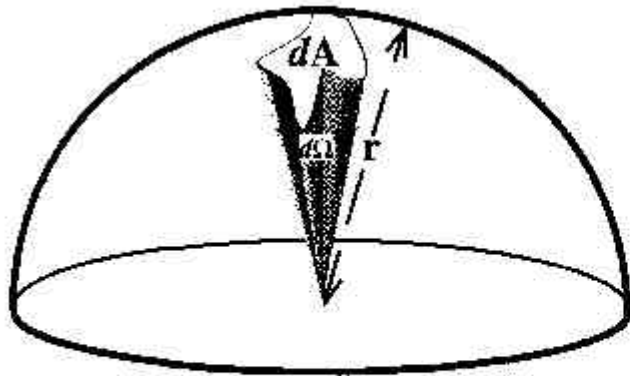


•**Radiancia:** $L(x, y, \mathbf{q}, \mathbf{j}) = \frac{d^2\Phi}{dA d\Omega \cos \mathbf{q}} = \frac{dE}{d\Omega \cos \mathbf{q}}, \frac{dM}{d\Omega \cos \mathbf{q}}$

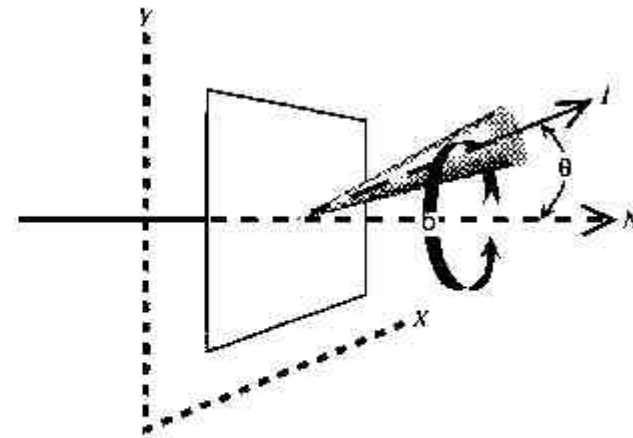
flujo por unidad de área proyectada y por unidad de ángulo sólido radiado, transmitido o reflejado por una superficie



- **Intensidad de radiación:** $I(\mathbf{q}, \mathbf{j}) = \frac{d\mathbf{f}}{d\Omega} \left[\text{W}/\text{m}^2 \right]$ variación angular del flujo emitido por una fuente puntual



$$d\Omega = \frac{dA}{r^2}$$

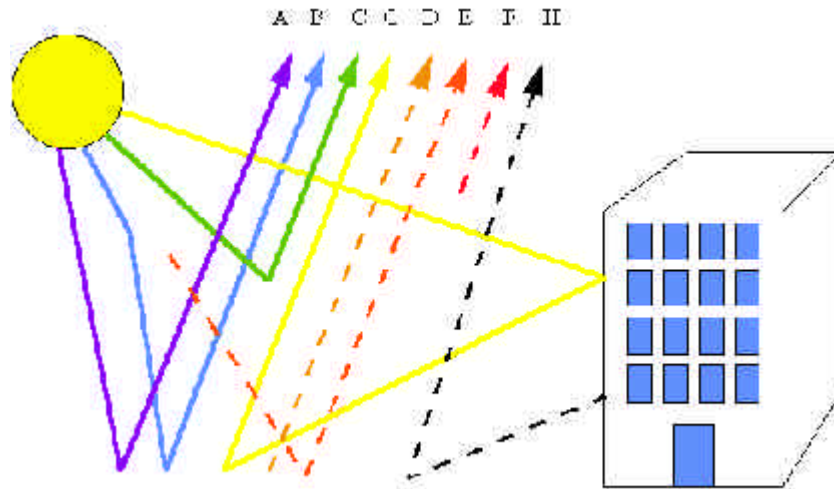


$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$$

Todos dependen de λ (E_λ , M_λ , L_λ)

6.3. Radiancia captada por una sensor

6.3.1. introducción



J.R. Schott [<http://www.cis.rit.edu/~edh7623/radiometry/radiometry.htm>]

- (A) **irradiancia solar**
atraviesa la atmósfera, se refleja y vuelve a atravesar la atmósfera
- (B) **radiación difusa**
- (C) **irradiancia solar dispersada en sentido ascendente**
- (D) **emisión espontánea**
- (E) **radiancia atmosférica descendente reflejada en el suelo**
- (F) **radiancia atmosférica ascendente**
- (G) **radiancia solar reflejada por el entorno**
- (H) **radiancia del entorno reflejada**



Sensores en el Óptico y en el Infrarrojo

Simplificaciones de la ecuación de la radiancia captada por un sensor

VIS/NIR: $L \approx L_A + L_B + L_C + L_G$

LWIR: $L \approx L_D + L_E + L_F + L_H$

MWIR: $L = L_A + L_B + L_C + L_D + L_E + L_F + L_G + L_H$

Microwaves: $L \approx L_A + L_D + L_E + L_F$

A frecuencias de microondas, $L \propto T$ de los cuerpos:

$$T \approx T_A + T_D + T_E + T_F$$

$$T_{AP} \approx T_{sun} + T_B + T_{DN} + T_{UP}$$



Sensores en el Óptico y en el Infrarrojo

- (A) y (D) todo cuerpo a una temperatura diferente de 0 Kelvin emite radiación según la **Ley de Plank**
- **Cuerpo negro:** absorbe toda la energía incidente sobre él, y en equilibrio termodinámico la reemite isotrópicamente según la **Ley de Plank**

$$M_{IBB} = \frac{2phc^2}{l^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{lKT}} - 1} \quad [W/m^2 \text{ mm}]$$

- **Ley de Rayleigh-Jeans** (aprox. Ley Plank a frecuencias de microondas):

$$M_{IBB} \approx 2p \frac{c}{l^4} k T$$

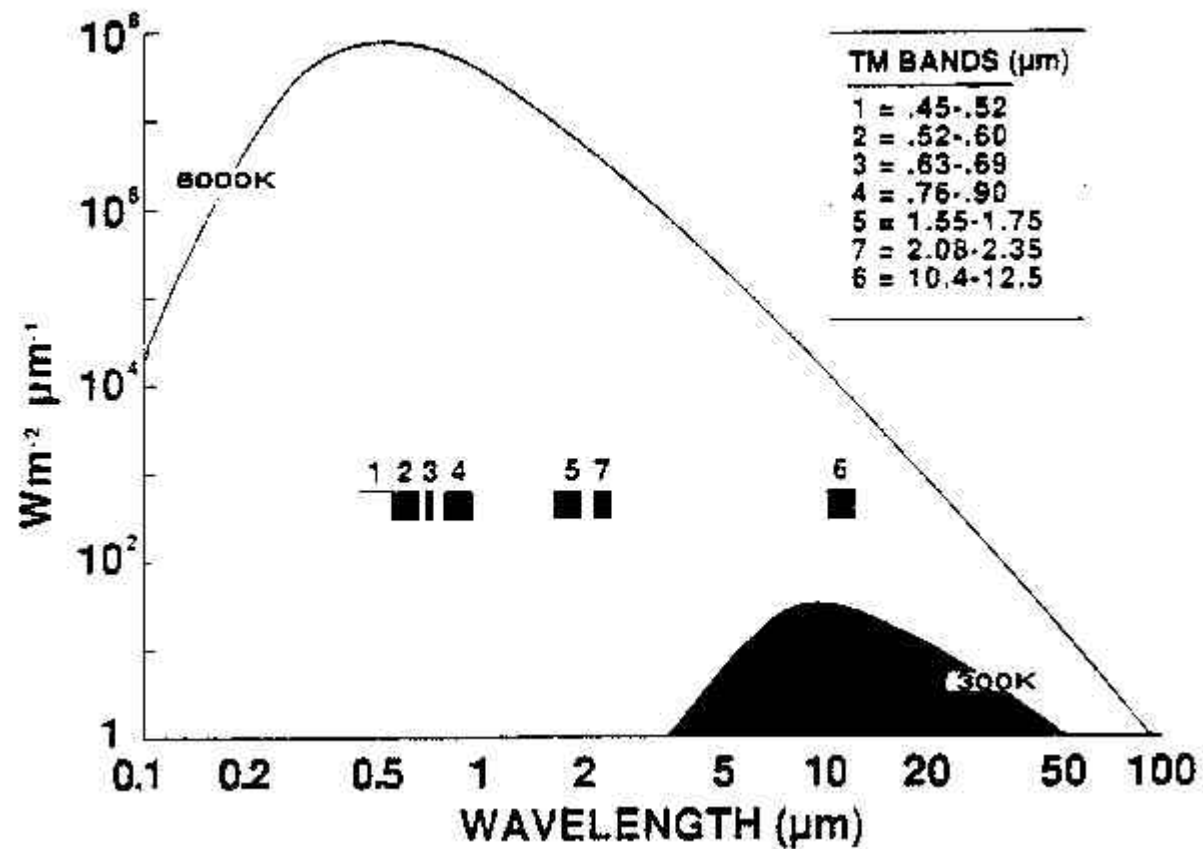
- **Ley de Stephan-Boltzmann:**

$$M_{BB} = \frac{2p^5 k^4}{15c^2 h^3} T^4 = s T^4; \quad s = 5.6698 \cdot 10^{-8} [W/m^2 K^4]$$

- **Ley del desplazamiento de Wien:**

$$l_{MAX} T = 2898 [mm K]$$

La Ley de Plank y las bandas del LANDSAT TM





Sensores en el Óptico y en el Infrarrojo

- **Cuerpo gris:** los cuerpos reales no absorben toda la energía incidente por lo que en equilibrio termodinámico re-radiarán menos

$$0 \leq e(\mathbf{q}, \mathbf{j}, \mathbf{l}) = \frac{M_I(\mathbf{q}, \mathbf{j}, T)}{M_{IBB}(T)} \leq 1$$

$e(\mathbf{q}, \mathbf{j}, \mathbf{l})$ emisividad

$e(\mathbf{q}, \mathbf{j}, \mathbf{l}) = e(\mathbf{l})$ radiador Lambertiano

- **Transmitancia:** $t(\mathbf{l}) = \frac{M_t}{E_i}$ Por la **Ley de Kirchhoff:** $\mathbf{a} = e$
- **Reflectividad:** $r(\mathbf{l}) = \frac{M_r}{E_i}$ y: $e + \mathbf{t} + r = 1$ (conservación energía)
- **Absortividad:** $\mathbf{a}(\mathbf{l}) = \frac{M_1}{E_i}$



Sensores en el Óptico y en el Infrarrojo

6.3.2. Comportamiento de la atmósfera

- **Dispersión:**

- **Dispersión Rayleigh:** $\lambda \gg$ tamaño partículas \longrightarrow Responsable del color azul del cielo

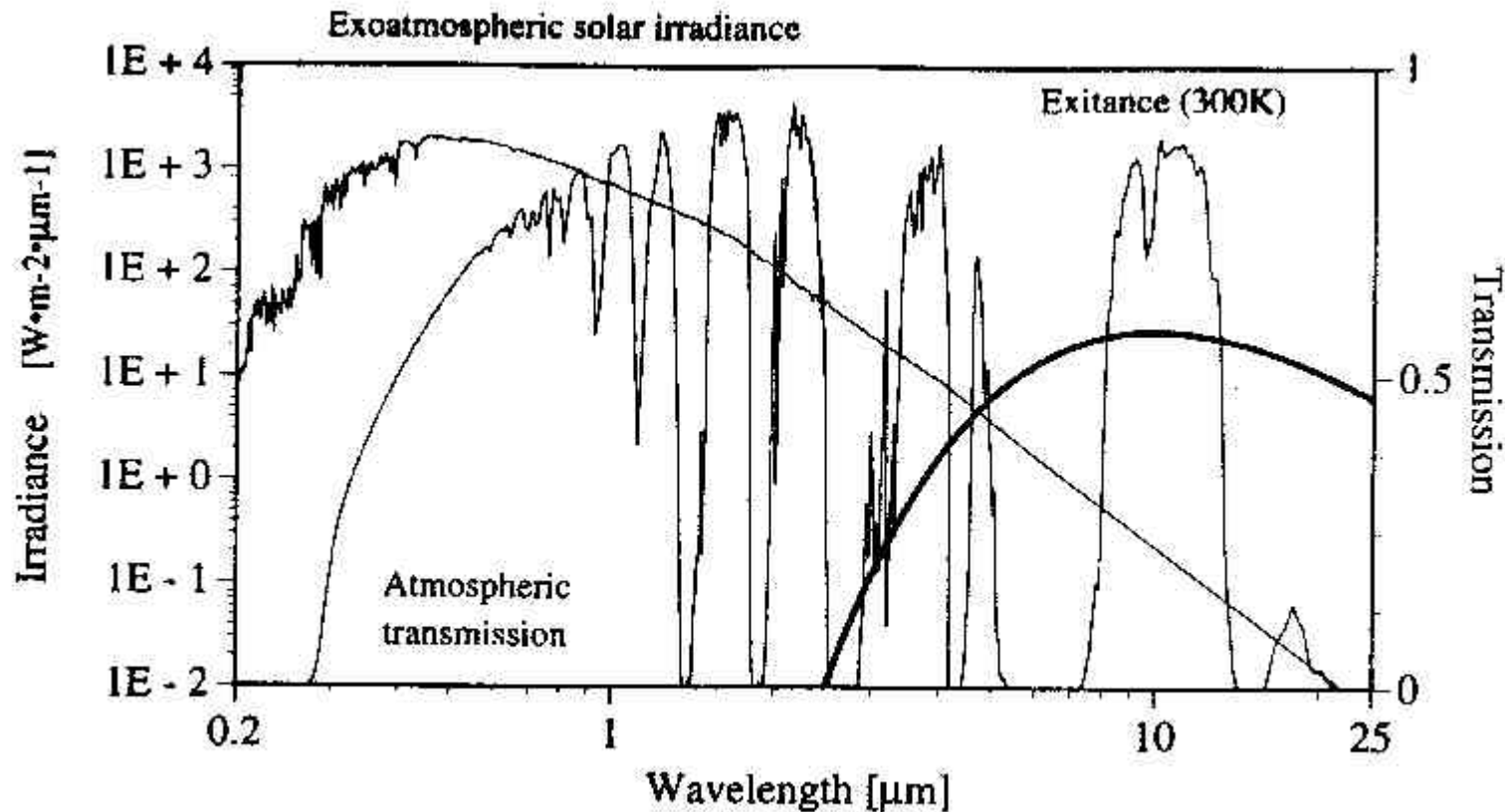
$$b_r(\mathbf{q}, I) \propto \frac{1}{I^4} (1 + \cos^2 \mathbf{q})$$

- **Dispersión Mie:** $\lambda \sim$ tamaño partículas (nubes, niebla...)

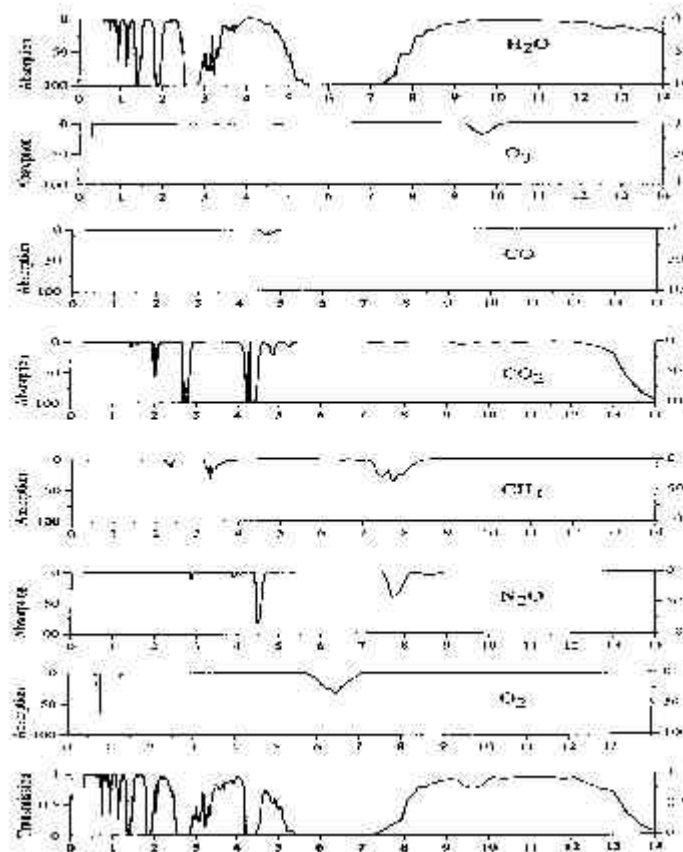
$$b_r(\mathbf{q}, I) \propto I^{0.6} \dots I^{-2} f(\mathbf{q}) \longrightarrow \text{Domina forward scattering}$$

- **Dispersión no selectiva:** $\lambda \ll$ tamaño partículas \longrightarrow **Isotrópica**
(gotas lluvia, polvo, cristales hielo...)

Transmisión atmosférica, irradiancia exoatmosférica y emisión espontánea a 300 K

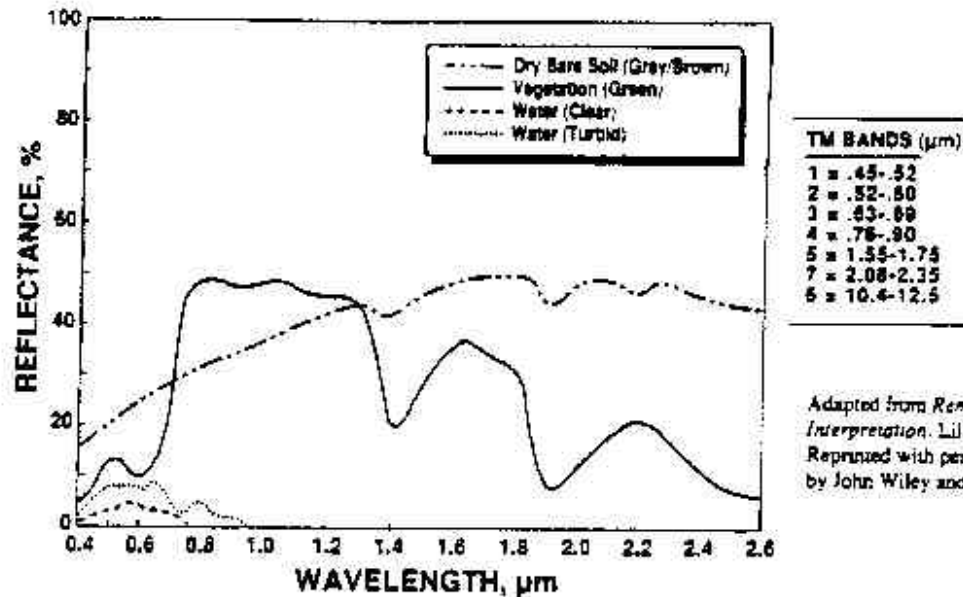


Absorción espectral de los diferentes constituyentes atmosféricos y transmisión atmosférica global:



6.4. Firmas espectrales de los materiales

- En general, interesará conocer las propiedades de los materiales a partir de la reflectividad $r(\lambda)$
- La **firma espectral** es la manera característica en que un material absorbe, emite o refleja la radiación en función de λ .



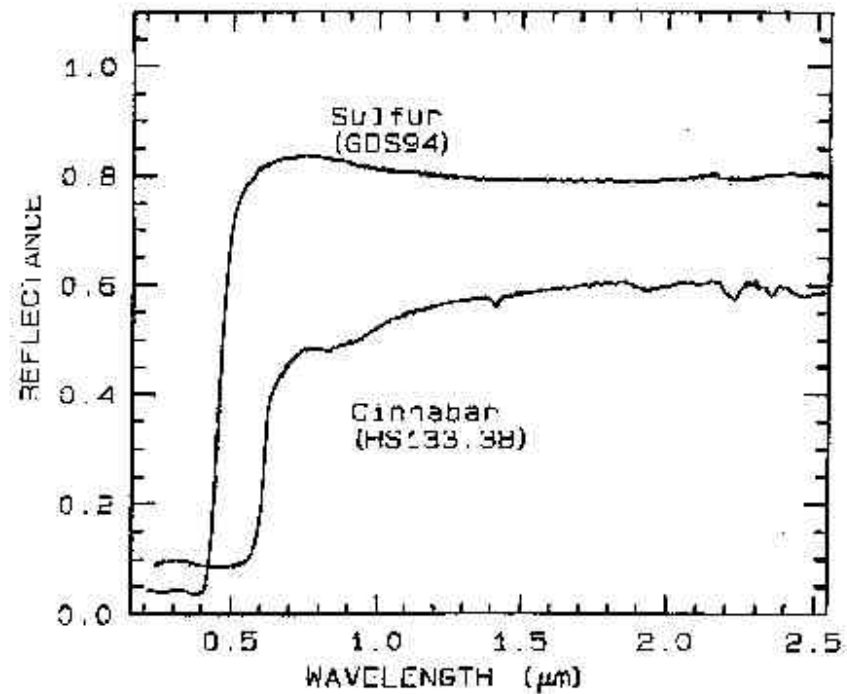


Sensores en el Óptico y en el Infrarrojo

- La **reflectividad** depende de los mecanismos de absorción y dispersión que tienen lugar dentro del material.
- **Absorción:**
 - Procesos electrónicos: Absorción de un fotón y reemisión a mayor longitud de onda (=> calentamiento material)
 - Efectos cristalinos: Desdoblamiento de niveles energéticos atómicos en presencia de la red cristalina.
También depende de la concentración de un determinado tipo de ión.
 - Absorciones por transferencia de carga: Transiciones interelemento cuando un fotón absorbido provoca el movimiento de un electrón entre iones

Sensores en el Óptico y en el Infrarrojo

- Bandas de conducción: Metales: no hay separación BC-BV
 Dieléctricos: gran separación BC-BV
 Semiconductores: separación media BC-BV
 $r(\lambda)$ tipo escalón a una λ



Firmas espectrales de algunos minerales (Hunt, 1977)

