



Tema 7:

Radiometría de Microondas

7.1. CONCEPTOS BÁSICOS DE RADIOMETRÍA

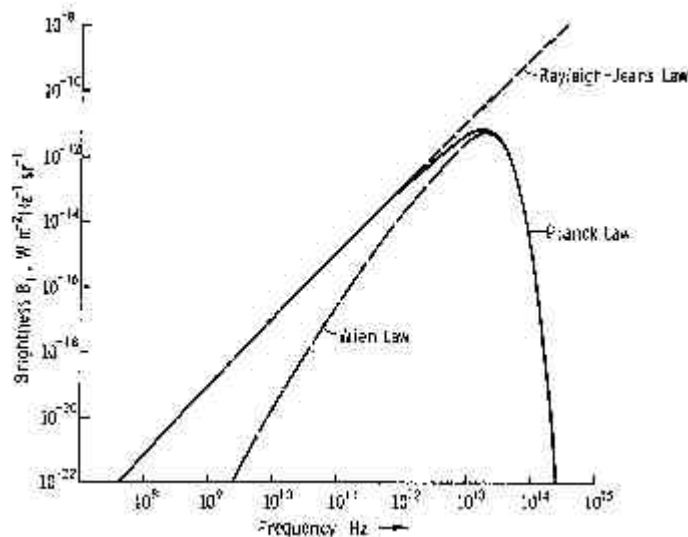
- Introducción: El *brillo* de los cuerpos. Los **gases** radían a frecuencias discretas, fijadas por la diferencia de niveles energéticos

$$f = \frac{E_2 - E_1}{h}$$

El **cuerpo negro** (*bb*: ideal) radía según la *Ley de Plank*

En equilibrio termodinámico:

- Absorbe toda la energía incidente
- Reemite toda la energía absorbida



mW

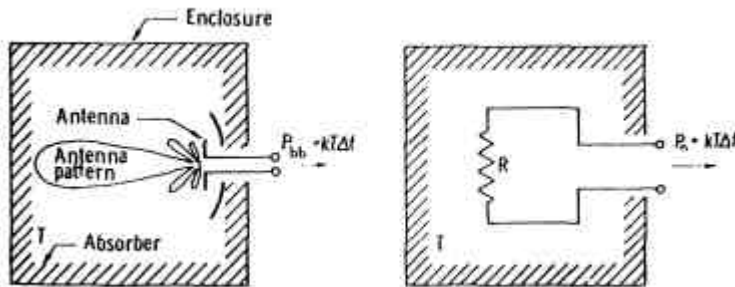
IR VIS

$$B_{bb}(f) = \frac{2hf^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{hf}{k_B T}} - 1} [W \cdot m^{-2} \cdot Sr^{-1} \cdot Hz^{-1}]$$

$$f \rightarrow 0 \rightarrow \frac{2k_B}{\lambda^2} T \quad \text{Ley Rayleigh-Jeans}$$

- Potencia captada por una antena rodeada por un *bb*

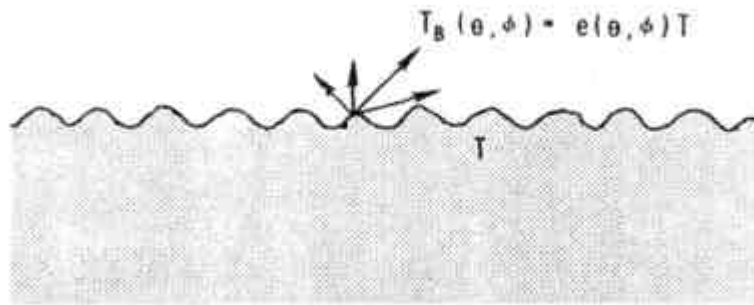
$$P_{cn} = \frac{1}{2} A_{efR} \int_{f_0 - B/2}^{f_0 + B/2} \iint_{4\pi} \frac{2k_B T}{\lambda^2} \cdot t(\theta, \varphi) \cdot d\Omega df \approx k_B T B \quad (B \ll f_0)$$



Coincide con la potencia disponible en *bornes de una resistencia* a la misma temperatura (Nyquist, 1928):

RUIDO TÉRMICO

- El *brillo* de los cuerpos reales: **cuerpos grises**
 - *No absorben toda la energía incidente:*
 - *Una parte la reflejan,*
 - *La fracción absorbida la reemiten después, pero direccionalmente*

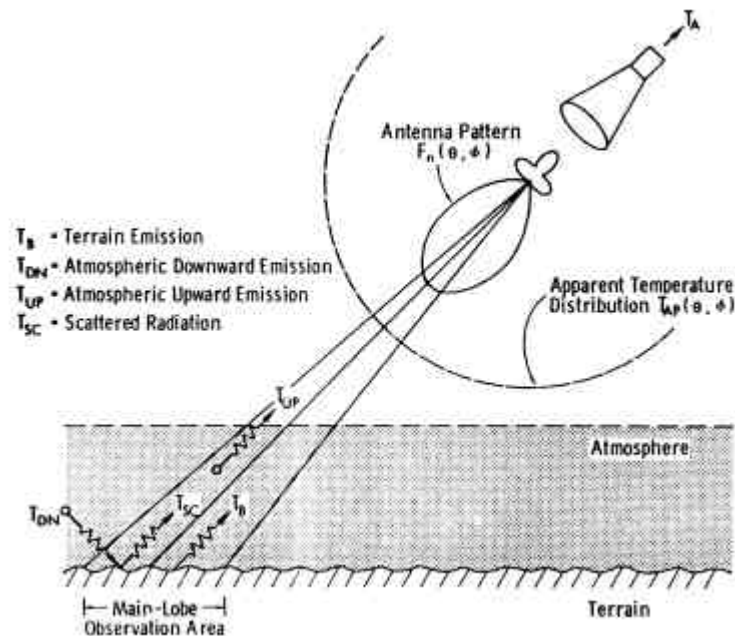


Temperatura de Brillo y Emisividad:

$$B(\theta, \varphi) = \frac{2 k_B}{\lambda^2} T_B(\theta, \varphi) \hat{=} \frac{2 k_B}{\lambda^2} e(\theta, \varphi) T$$

$$0 \leq e(\theta, \varphi) \leq 1$$

- Potencia de ruido incidente en una antena:



- **Objeto** al que apunta (T_B) atenuada por la atmósfera ($L_a(\mathbf{q})$)
- La **atmósfera** (T_{UP})
- Brillo de **otras fuentes** directas
- **Reflexiones** de otras fuentes (T_{DN}) Sol, Luna, ruido galáctico, ruido cósmico, la atmósfera ...

⇒ TEMPERATURA APARENTE DE BRILLO

$$T_{AP}^P(\theta, \phi) = \frac{1}{L_a(h, \theta, \phi)} \left(T_B^P(\theta, \phi) + T_{SC}^P(\theta, \phi) \right) + T_{UP}(\theta, \phi)$$



- Potencia de ruido captada por una antena:

$$N = k_B T_A' B$$

$$T_A' = \eta_\Omega T_A + (1 - \eta_\Omega) T_{ph\ ant.}$$

$$T_A = \frac{1}{4\pi} \iint_{4\pi} T_{AP}(\theta, \varphi) t(\theta, \varphi) d\Omega = \eta_{ML} \bar{T}_{ML} + (1 - \eta_{ML}) \bar{T}_{SL}$$

\bar{T}_{ML} haz principal

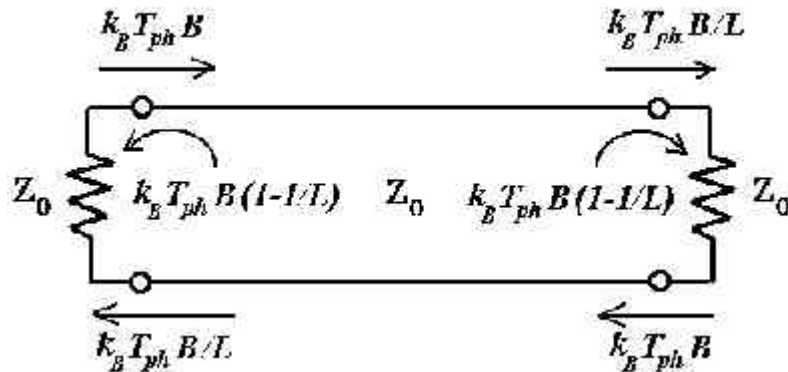
\bar{T}_{SL} lóbulos secundarios

Interesará:

- Eficiencia de haz principal elevada: $\eta_{ML} > 0.9$
- Bajas pérdidas óhmicas: $\eta_\Omega \rightarrow 1$

7.2. Comportamiento de la atmósfera :

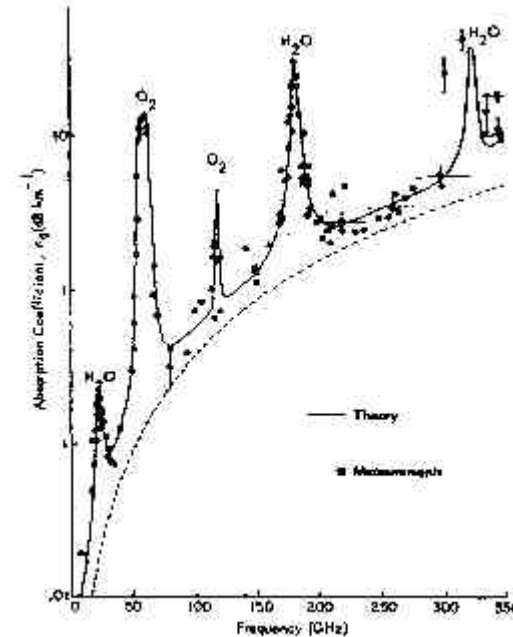
- La **atmósfera** se comporta como un **atenuador** :



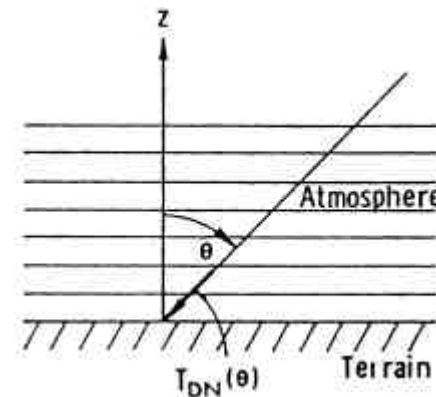
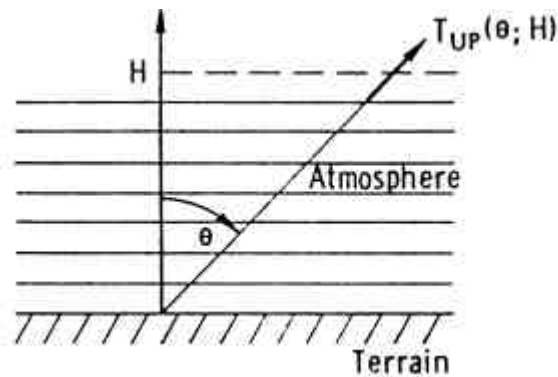
Un atenuador L :

- Atenúa la señal en un factor $1/L$
- Añade ruido térmico en cada puerto: $k_B T_{ph} B \left(1 - \frac{1}{L}\right)$

$$\Rightarrow T_{UP}^{Atm}, T_{DN}^{Atm}$$



- En primera aproximación la **atmósfera** puede modelarse como un **conjunto** estratificado de **atenuadores** cada uno a una temperatura.
- Los **idrometeoros**, especialmente **lluvia**, provocan un aumento de las pérdidas (k_a, k_s), y un **aumento** de la **emisividad**.



$$T_{UP}^{Atm}(\theta, H) = \sec\theta \int_0^H k_a(z') T(z') e^{-\tau(z', H) \sec\theta} dz', \quad T_{DN}^{Atm}(\theta, H) = \sec\theta \int_0^\infty k_a(z') T(z') e^{-\tau(0, z') \sec\theta} dz'$$

↓

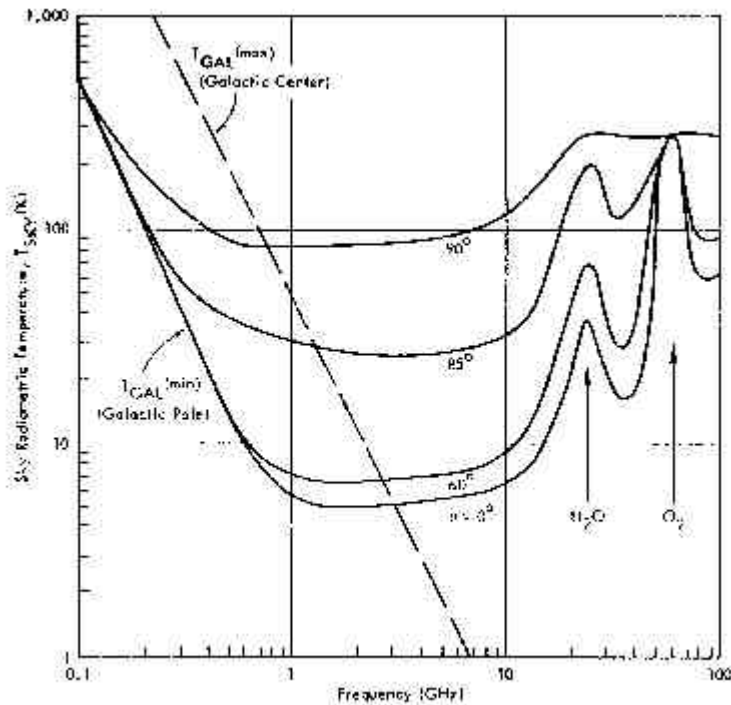
$$e(z') = k_a(z')$$

↓

$$e(z') = k_a(z')$$

$$\tau(z', H) = \int_0^H k_a(z) dz \quad \text{"opacidad"}$$

- La **atmósfera atenúa** a las **fuentes externas de ruido**



- **Ruido alctico:**

Imposibilita las observaciones pasivas a $f < 1GHz$

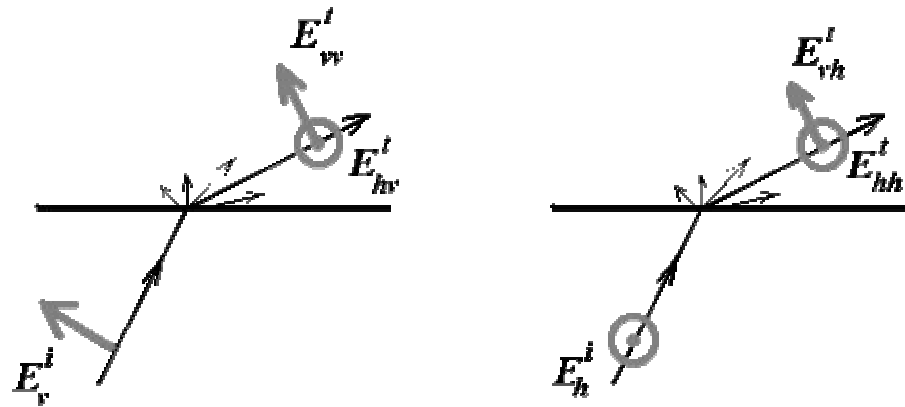
- **Ruido C3smico:** $T_{cos} = 2.7 K$

- Reflexiones del **sol** y de la **Luna** (si son visibles)

$$T_{DN} = T_{DN}^{Atm} + (T_{Gal} + T_{Cos} + T_{Sun} + T_{Moon}) e^{-\tau(0,\infty) \sec \theta}$$

7.3. Comportamiento de las superficies naturales :

- Por la Ley de Kirchhoff, la **emisividad** está relacionada con los **coeficientes de dispersión** (Peake, 1959)



$$e^p(\theta_s, \varphi_s) = 1 - \frac{1}{4\pi \cos \theta_s} \iint_{2\pi} [\sigma_{pp}^0(\theta_i, \varphi_i, \theta_s, \varphi_s) + \sigma_{pq}^0(\theta_i, \varphi_i, \theta_s, \varphi_s)] d\Omega_i$$

$$\rightarrow 1 - \Gamma^p(\theta_s, \epsilon_r) \text{ (superficies especulares)}$$



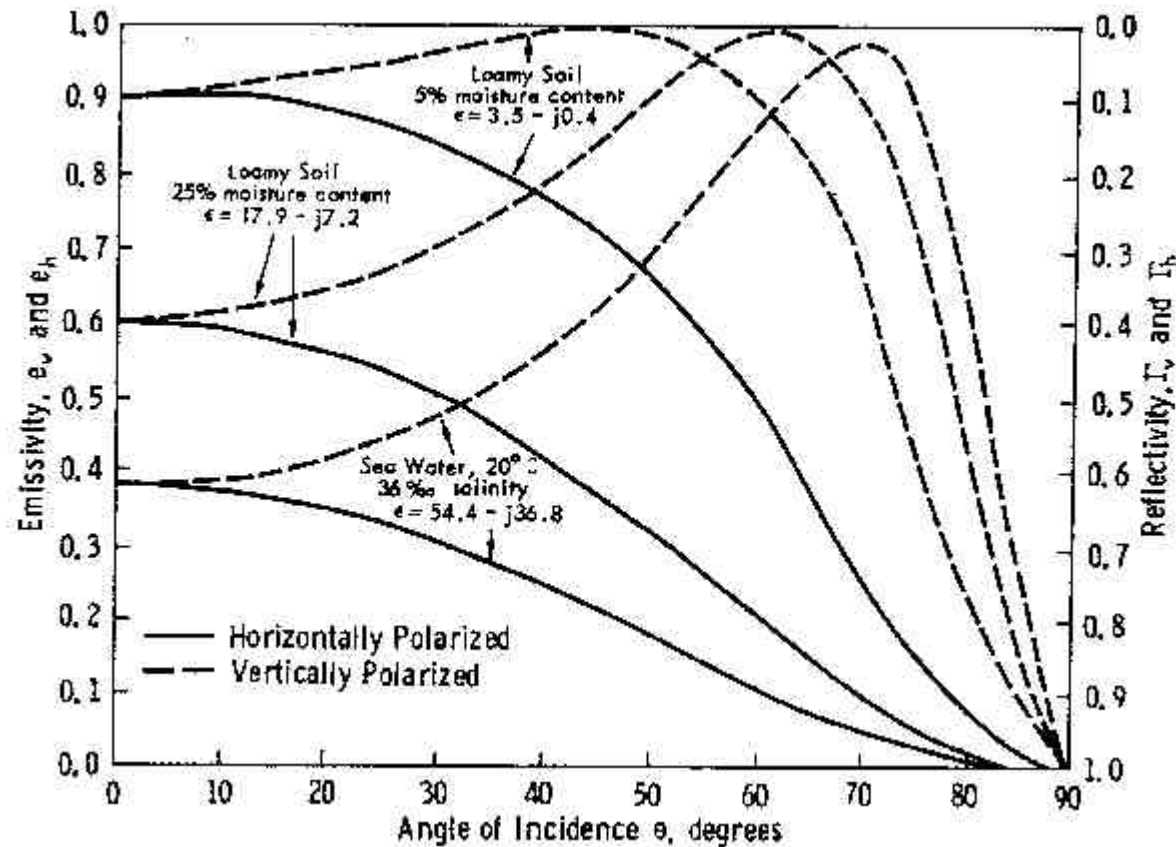
- La **emisividad** depende de:
 - El ángulo de observación
 - Las propiedades eléctricas del medio (ϵ_r)
 - La rugosidad de la superficie del medio en términos de λ

$$T_B^p(\theta_s, \varphi_s) = e^p(\theta_s, \varphi_s) T_{ph}$$

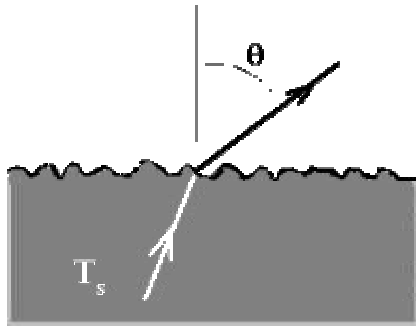
$$T_{SC}^p(\theta_s, \varphi_s) = \frac{1}{4\pi \cos\theta_0} \iint_{2\pi} [\sigma_{pp}^0(\theta_i, \varphi_i, \theta_s, \varphi_s) + \sigma_{pq}^0(\theta_i, \varphi_i, \theta_s, \varphi_s)] T_{DN}^p(\theta_i, \varphi_i) d\Omega_i$$

- Estudiaremos el comportamiento emisivo del:
 - Suelo:
 - descubierto
 - cubierto por vegetación
 - cubierto por nieve
 - Mar:
 - agitado por el viento
 - cubierto por manchas de aceite
 - helado

Emisividad para diferentes tipos de materiales lisos vs. ángulo de incidencia:



- Comportamiento emisivo del **suelo descubierto**:



$$T_{B,bare}^p(\theta) = [1 - \Gamma_{bare}^p(\theta)] T_{soil}$$

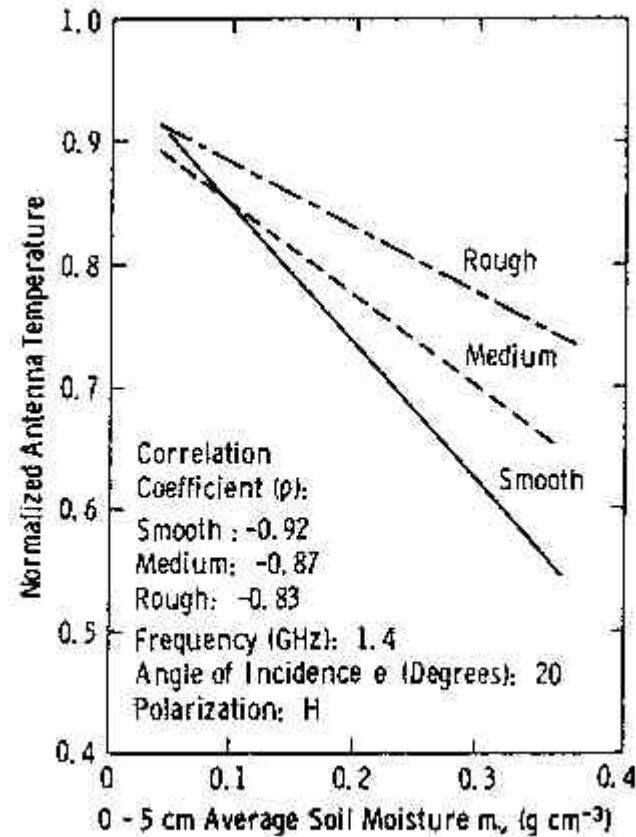
$$\Gamma_{bare}^p(\theta) = [(1 - Q)\Gamma_{spec}^p(\theta) + Q\Gamma_{spec}^q(\theta)] e^{-4k^2 \sigma^2 \cos^2 \theta}$$

$$Q = 0.35 \left(1 - e^{-0.6 \sigma_{cm}^2 f_{GHz}} \right) \text{ Parámetro de mezcla de polarización}$$

El **coeficiente de reflexión** en la interfaz aire-suelo depende del **contenido volumétrico de humedad en el suelo (SM)**

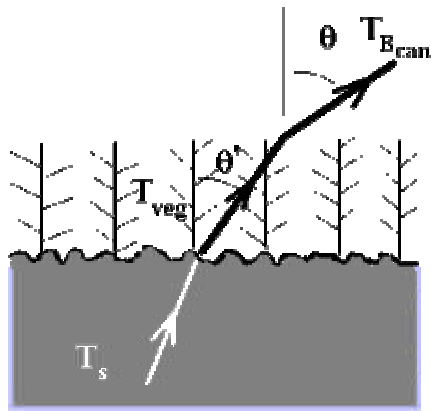
$$\epsilon_r \approx 2.583 e^{0.081 SM} \quad (\text{Jackson et al., '92})$$

Emisividad del suelo en función de: rugosidad y humedad superficial.



Regression lines for the observed dependence of the normalized antenna temperature (emissivity) of bare soil on soil moisture content for three different scales of surface roughness (Newton and Rouse, 1980).

- Comportamiento emisivo del **suelo cubierto por vegetación**:



$$T_{B,can}^p(\theta) = \frac{1}{L_{can}(\theta')} [1 - \Gamma_{bare}^p(\theta')] T_{soil} + \left[1 + \frac{\Gamma_{bare}^p(\theta')}{L_{can}(\theta')} \right] \left[1 - \frac{1}{L_{can}(\theta')} \right] (1 - a) T_{veg}$$

$$L_{can}(\theta') = e^{k_{e,veg} h \sec \theta'}$$

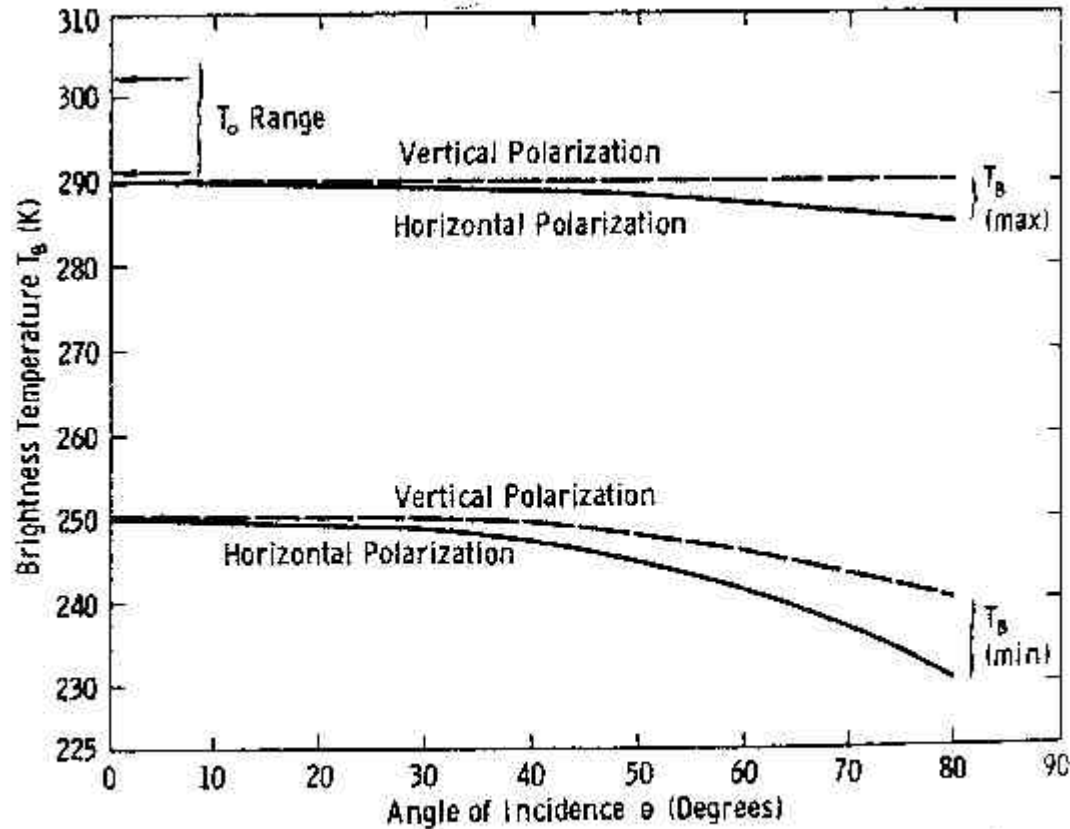
$$\Gamma_{air-can} \approx 0, a \ll 1$$

La influencia de la **vegetación** será más notable cuanto mayor sea su **espesor**, y mayor sea su **densidad**: ($f < 100$ GHz)

$$\epsilon_{r,can} \approx (0.522 - 0.689 m_{dry}) \epsilon_{salineH_2O} + 3.84 m_{dry} + 0.51$$

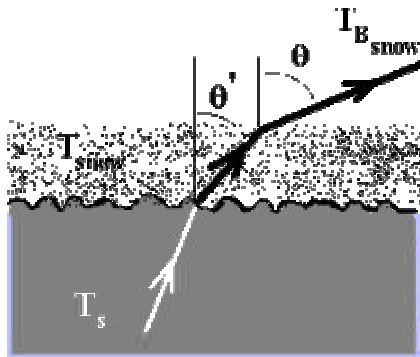
(Mätzler, '94)

- **Temperatura aparente de brillo de la vegetación:**



Upper and lower limits of T_b for vegetation at 10 GHz, based on 14 sets of observations reported by Peake and Oliver (1971).

- Comportamiento emisorio del **suelo cubierto por nieve**:



Nieve seca:

Comportamiento similar a la vegetación

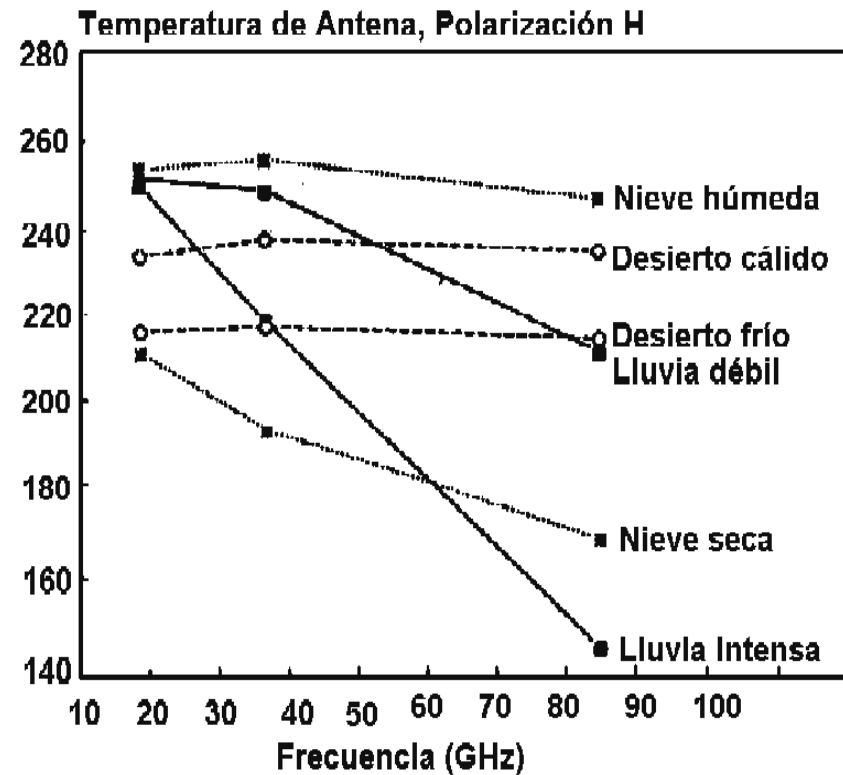
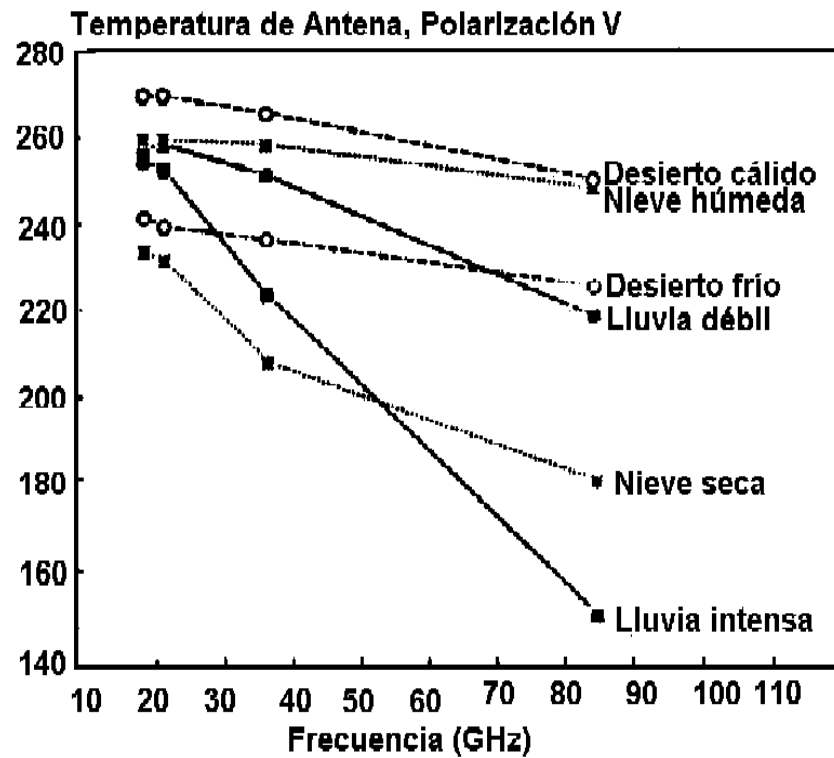
Nieve meda:

El agua aumenta las pérdidas: mayor ϵ

$$T_{B,snow}^p(\theta) \approx [1 - \Gamma_{air-snow}^p(\theta)](1 - a_{snow})T_{soil}$$

- La **clasificación** de diferentes **tipos de nieve** difícil debido a la presencia o no de agua => estudiar las **signaturas espectrales**

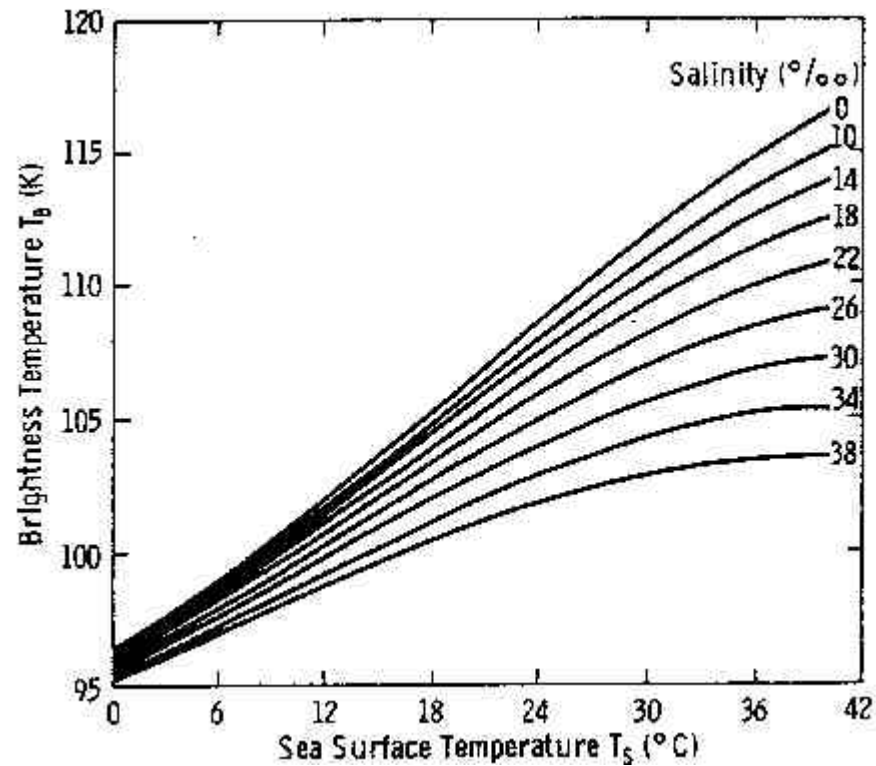
• Firmas espectrales de la nieve, desiertos y lluvia ($\theta_{inc} = 53.1^\circ$):



- Comportamiento emisorio del **mar en calma**:

$$T_{B, sea}^p(\theta) = \left[1 - \Gamma_{spec, H_2O}^p(\theta) \right] T_{sea}$$

- Influencia de la **salinidad**



- Comportamiento emisorio del **mar en calma**
- influencia de la frecuencia**
- influencia de T**

