

TEMA 2:

PROPAGACIÓN POR ONDA DE  
ESPACIO EN EL ENTORNO TERRESTRE

# OBJETIVOS

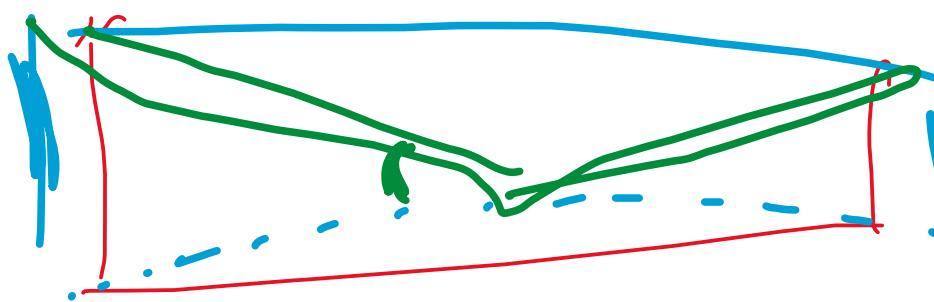
---

- Calcular, en un radioenlace, la **potencia recibida en condiciones normales**
- Estimar las pérdidas de **propagación en espacio libre**
- Estimar las pérdidas adicionales por el fenómeno de **reflexión** utilizando el **modelo de dos rayos**
- Estimar las pérdidas adicionales por el fenómeno de **difracción por múltiples obstáculos**
- Estimar las pérdidas adicionales por el fenómeno de **absorción** por la presencia de **gases atmosféricos**
- Estimar las pérdidas adicionales por diferentes fenómenos por la **propagación por una zona de vegetación densa**

$$P_{RX} = P_{RF} \cdot \frac{1}{\ell t} \cdot g_{max} \cdot \frac{\frac{1}{4\pi c^2} \cdot \frac{1}{\ell ad} \cdot \frac{\zeta^2}{L(T)} \cdot g_{max} \cdot \frac{1}{\ell t}}{\frac{(4\pi c)^2}{\zeta^2} \cdot \frac{ad}{g_{RF}}}$$

O.E.

Reflexion  
maxLOS



modificado RTP

$\text{dmin} < q_0 \rightarrow \text{maxLOS} \rightarrow \text{RTP}$   
 $\text{client} > q_0 \rightarrow \text{no LOS} \rightarrow$ 

- $\ell > \text{Rmin} \rightarrow \text{RTC}$
- $\ell < \text{Rmin} \rightarrow \text{NDTE}$

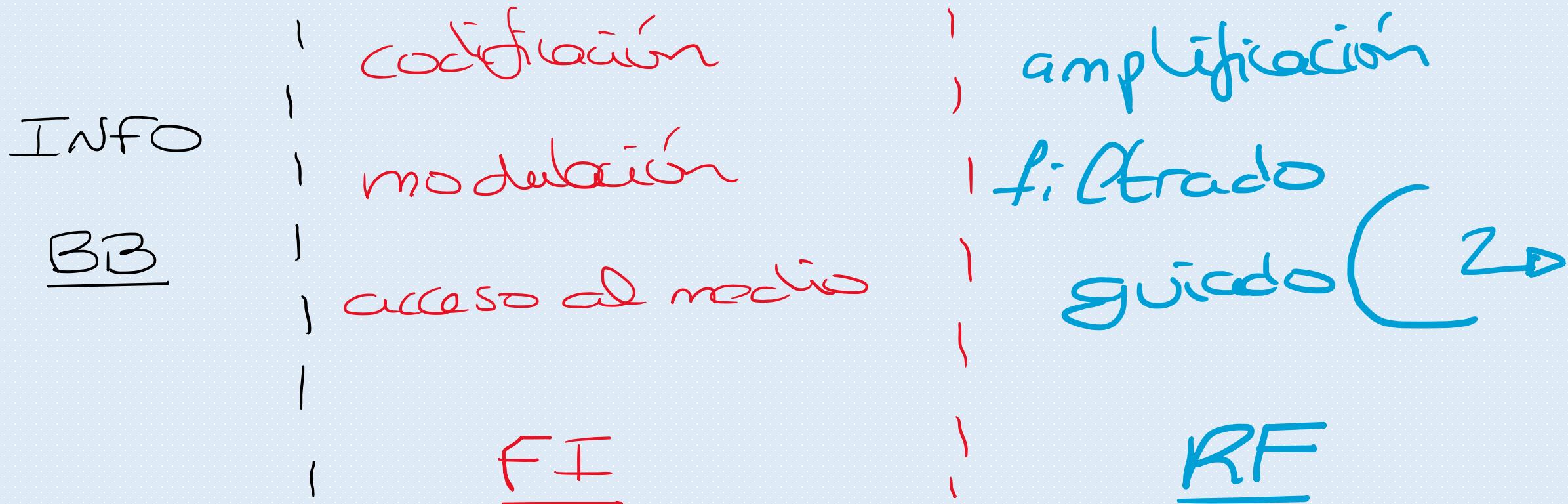
$$RT = \frac{4}{3} RT$$

# ÍNDICE

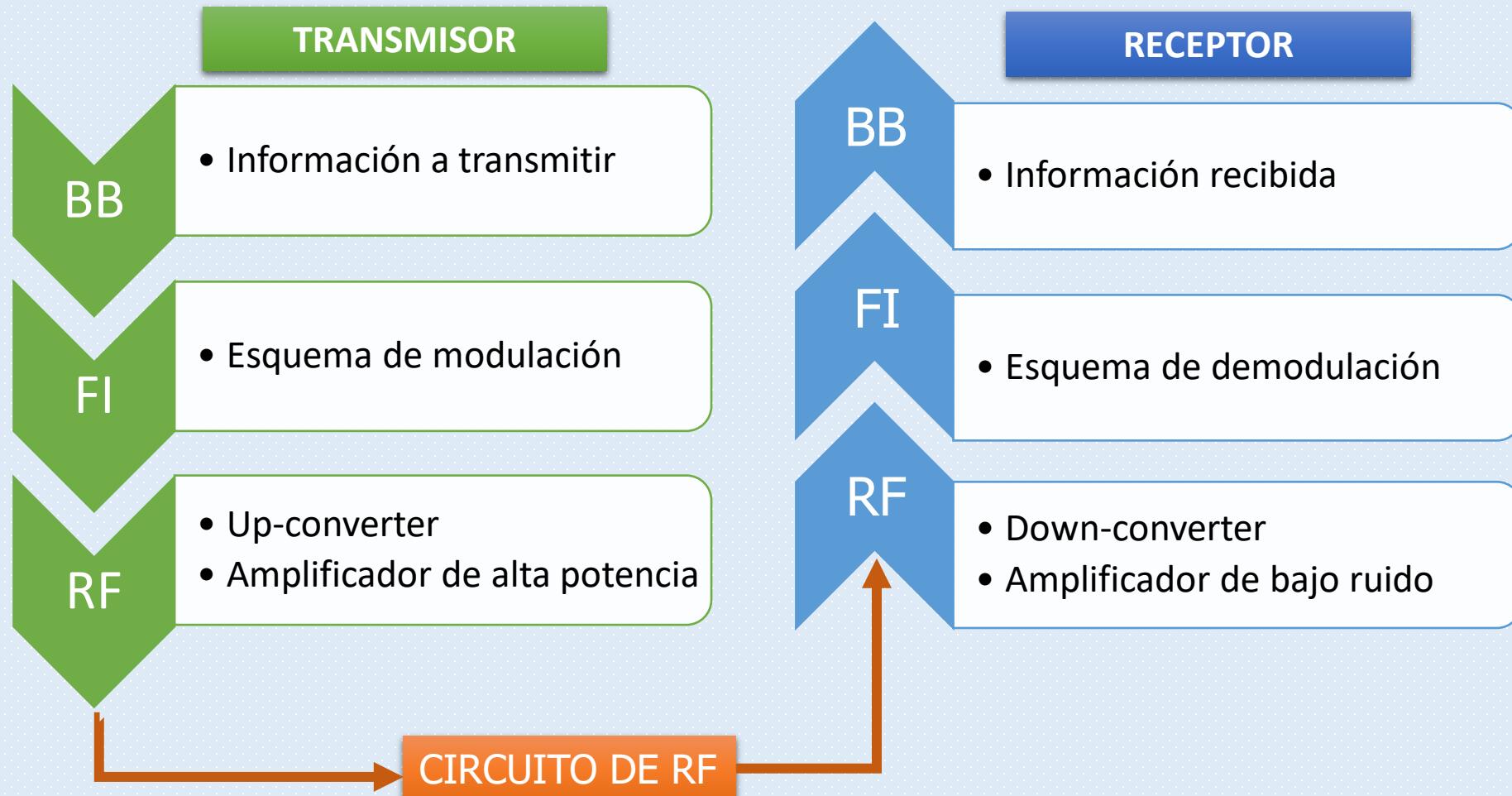
---

- 1. Estaciones de radiocomunicación
- 2. Modos de propagación
- 3. Balance de potencias
- 4. Modelo de dos rayos
- 5. Difracción por Tierra esférica
- 6. Difracción en múltiples obstáculos
- 7. Gases atmosféricos
- 8. Vegetación

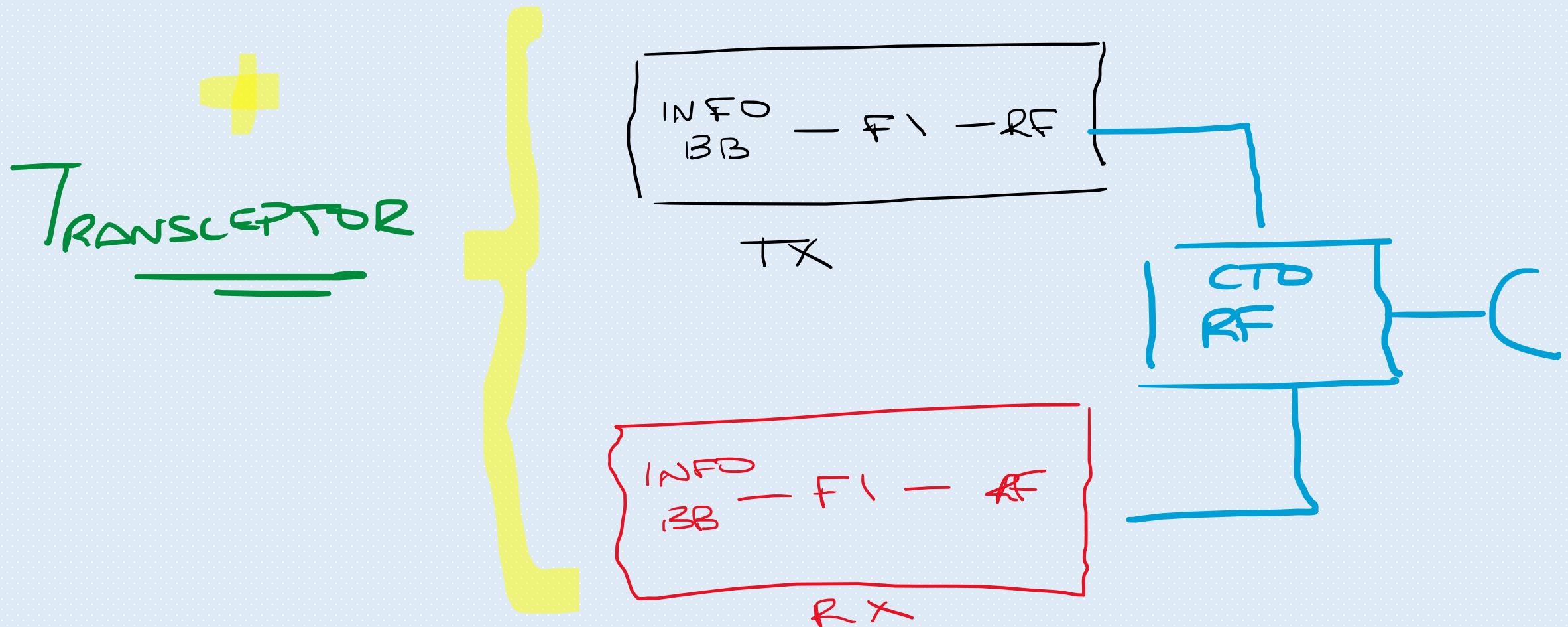
# 1. ESTACIONES DE RADIOCOMUNICACIÓN



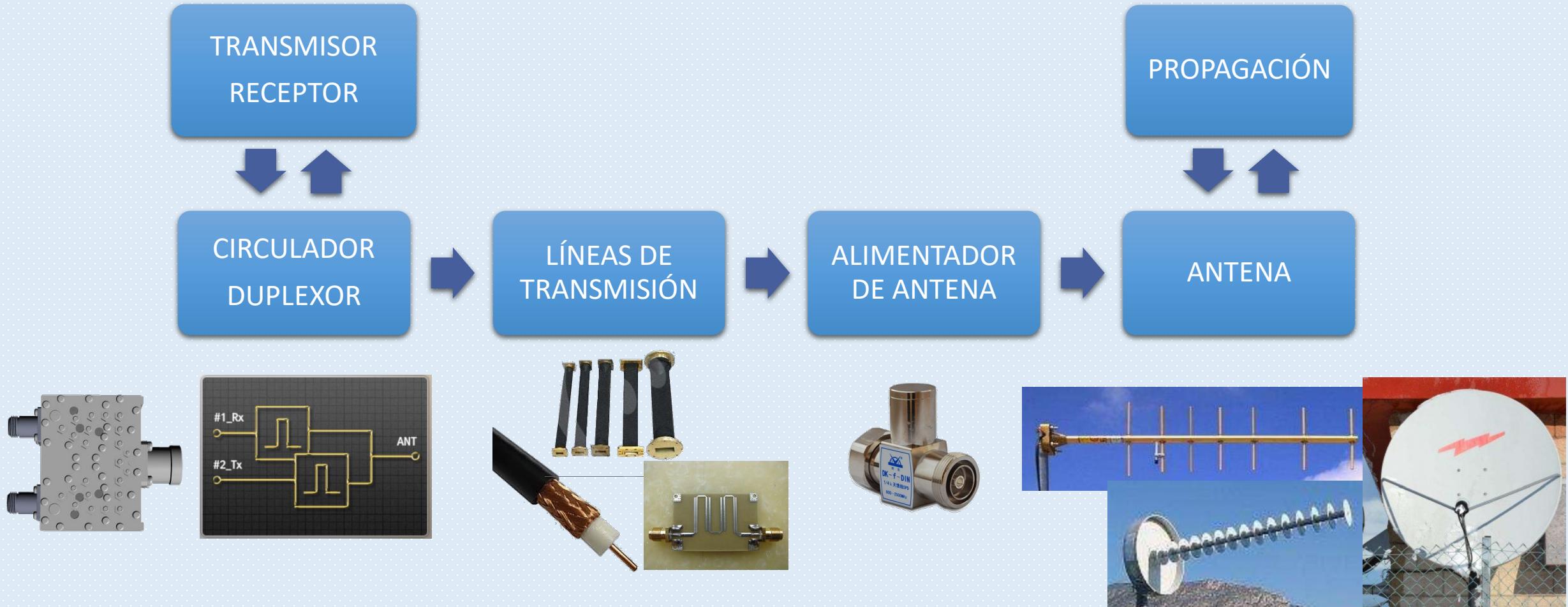
# 1. ESTACIONES DE RADIOCOMUNICACIÓN



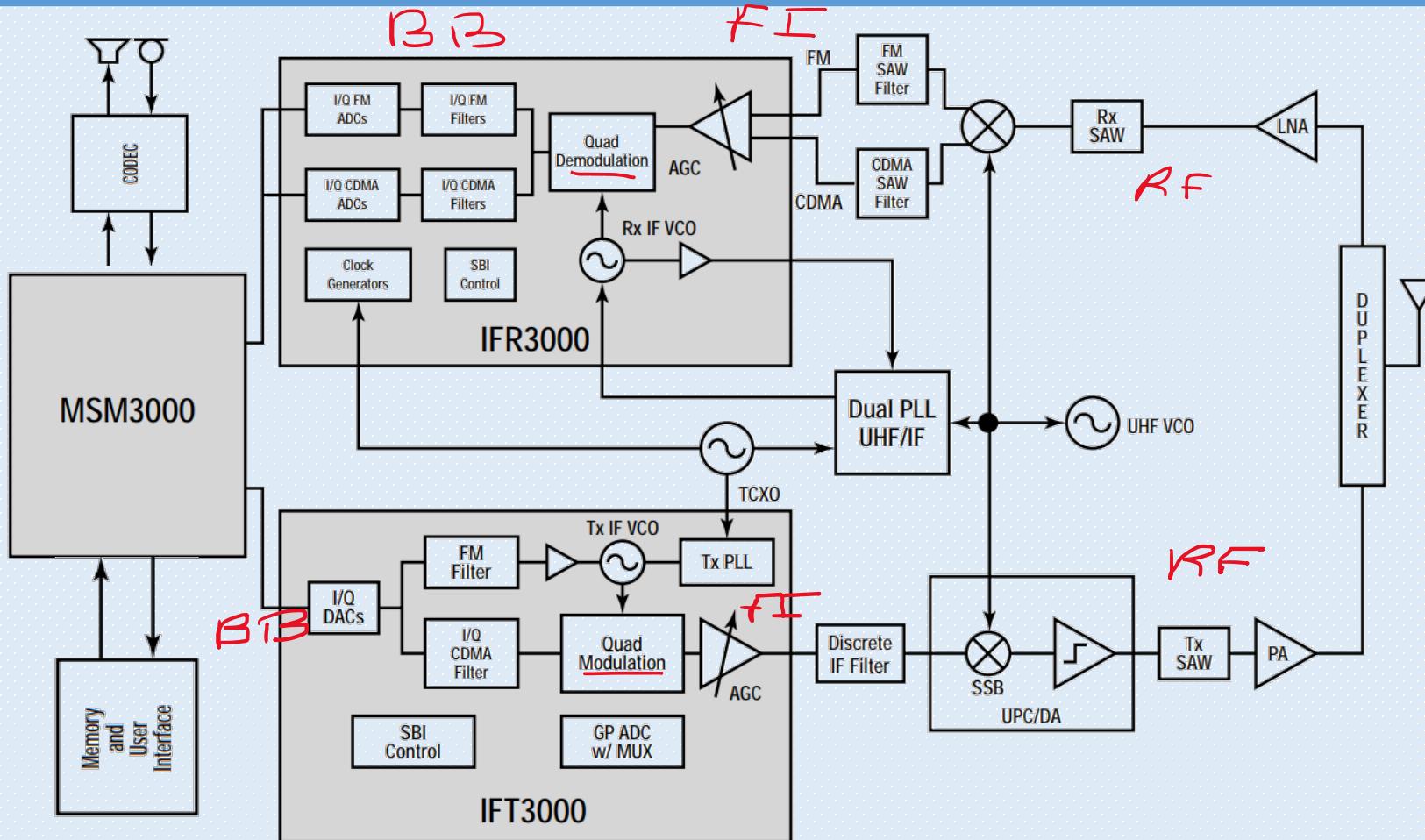
# 1. ESTACIONES DE RADIOCOMUNICACIÓN



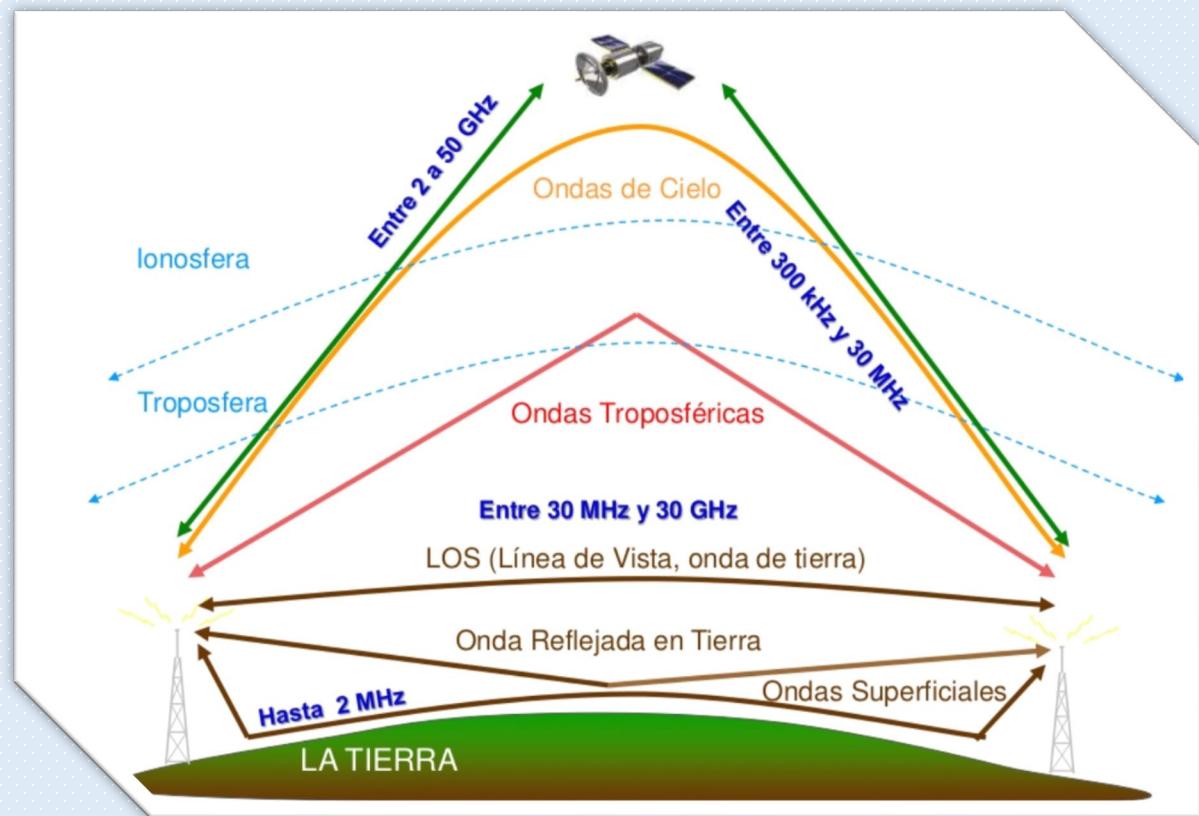
# 1. ESTACIONES DE RADIOCOMUNICACIÓN



# 1. ESTACIONES DE RADIOCOMUNICACIÓN



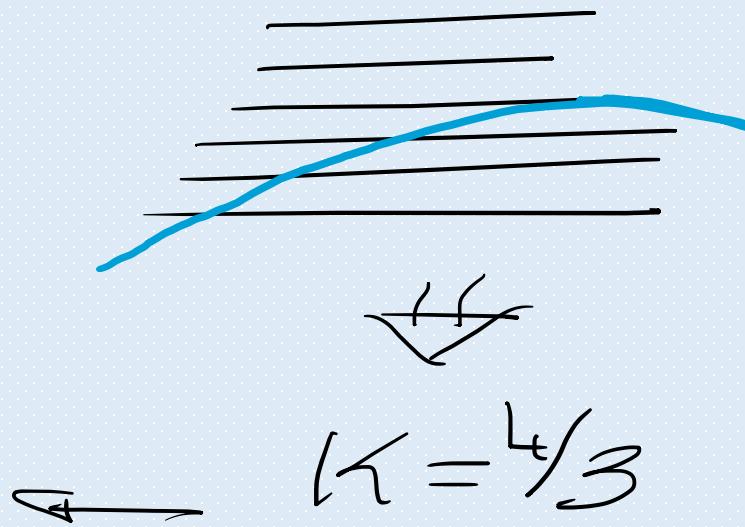
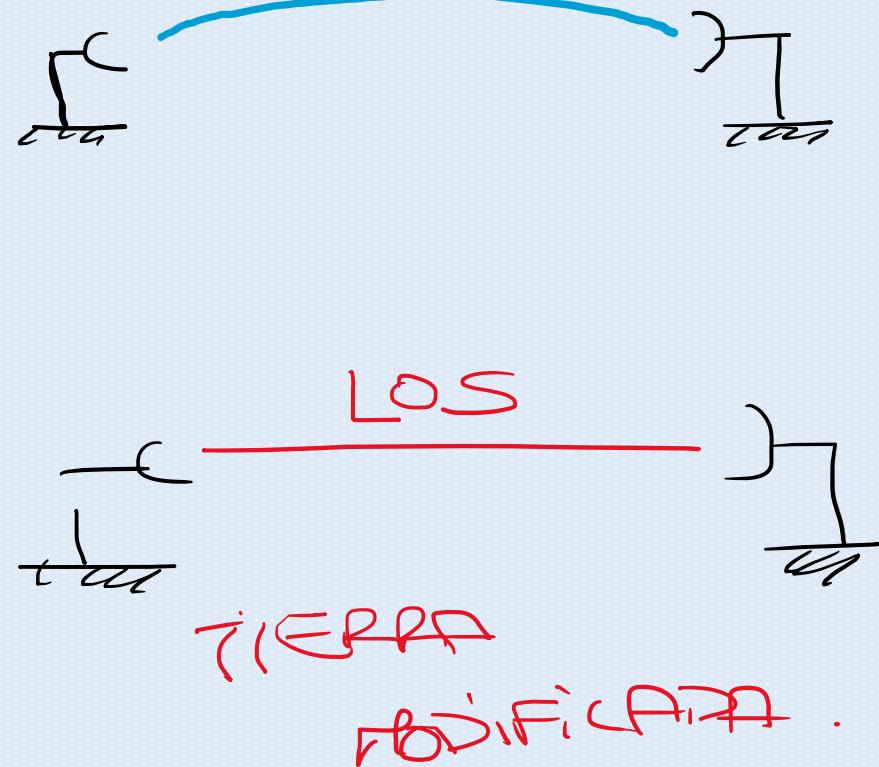
## 2. MODOS DE PROPAGACIÓN



$f < 30 \text{ MHz}$	Onda de superficie	Sistemas navales y radiodifusión
$f > 30 \text{ MHz}$	Onda ionosférica	Radiodifusión, Comunicaciones punto a punto, Sistemas navales
$f \geq 30 \text{ MHz}$	Onda de espacio	Radiodifusión de FM y TV, Telefonía móvil, Radar, Enlaces fijos terrenales, Comunicaciones vía satélite, ...

Otros mecanismos:  
Dispersión troposférica, dispersión ionosférica,  
dispersión en colas de meteoritos, reflexión en la luna,  
propagación submarina, bajo tierra o nieve, ...

## 2. MODOS DE PROPAGACIÓN



## 2. MODOS DE PROPAGACIÓN

- Línea de vista (LOS):

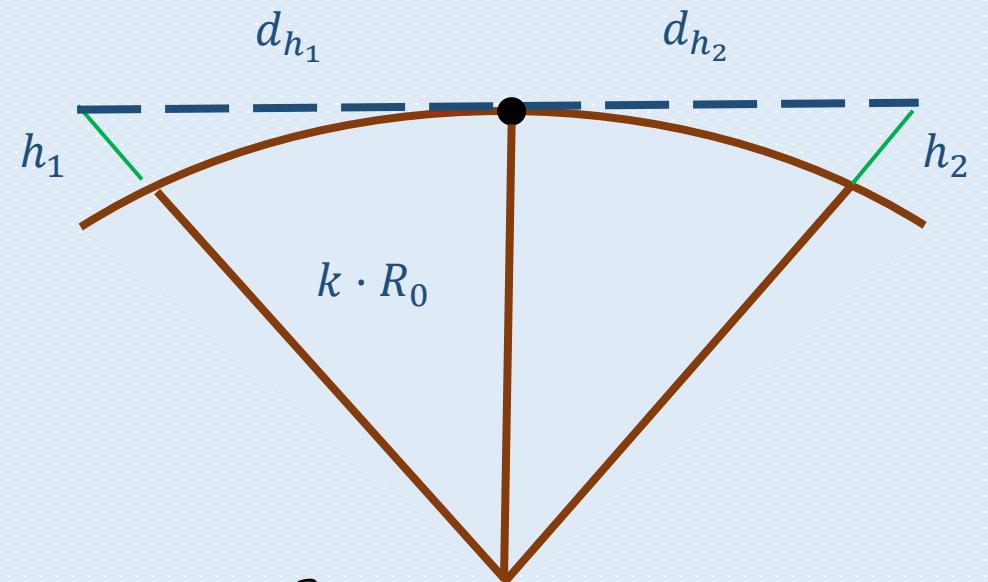
$$d_{h_1}^2 = (k \cdot R_0 + h_1)^2 - (k \cdot R_0)^2 \approx 2 \cdot k \cdot R_0 \cdot h_1$$

$$d_{h_2}^2 \approx 2 \cdot k \cdot R_0 \cdot h_2$$

$$d_{max} = \sqrt{d_{h_1}^2} + \sqrt{d_{h_2}^2}$$

$$(kR_0)^2 + h_1^2 \leq 2kR_0h_1 - (kR_0)^2$$

$$h_1^2 \ll 2kR_0h_1$$



## 2. MODOS DE PROPAGACIÓN

- TIERRA PLANA: se considera que el trozo de Tierra entre las estaciones es plano porque al haber poca distancia casi no hay curvatura

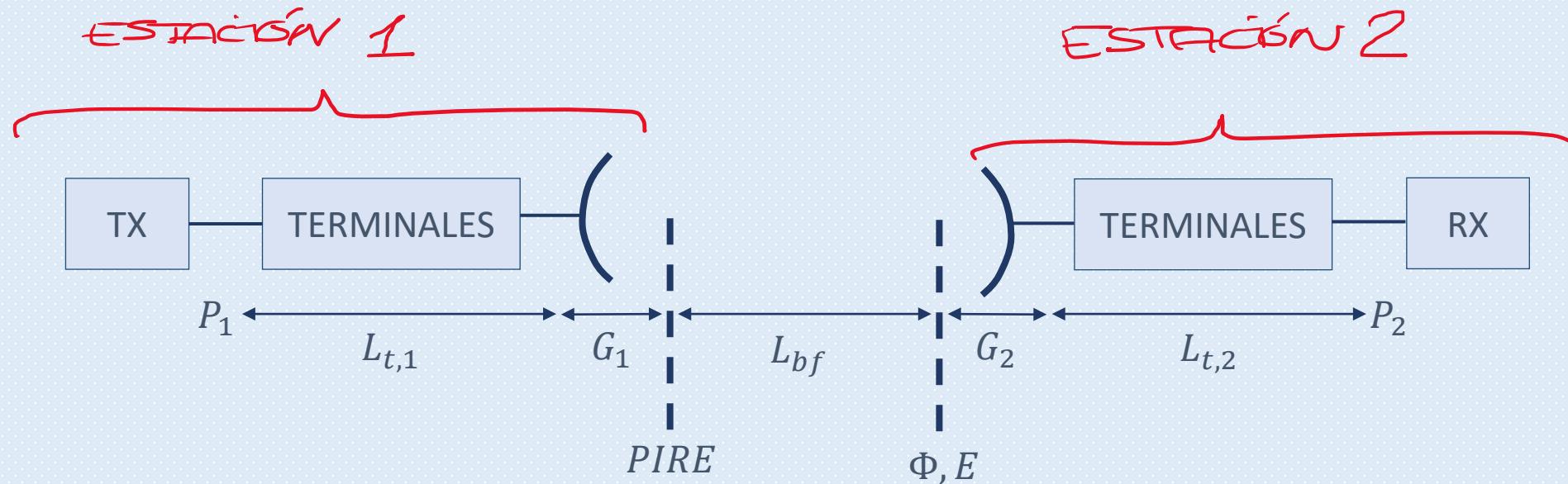
$$d \leq \sigma_r \Delta - c l_{max}$$

- TIERRA CURVA: se considera que el trozo de Tierra entre las estaciones es tan largo que hay que considerar la curvatura modificada de la Tierra

$$c l > \sigma_r \Delta - d_{max}$$

### 3. BALANCE DE POTENCIAS

- Fórmula de Friis para un enlace con propagación por **espacio libre** asumiendo adaptación de impedancias y de polarización:



### 3. BALANCE DE POTENCIAS

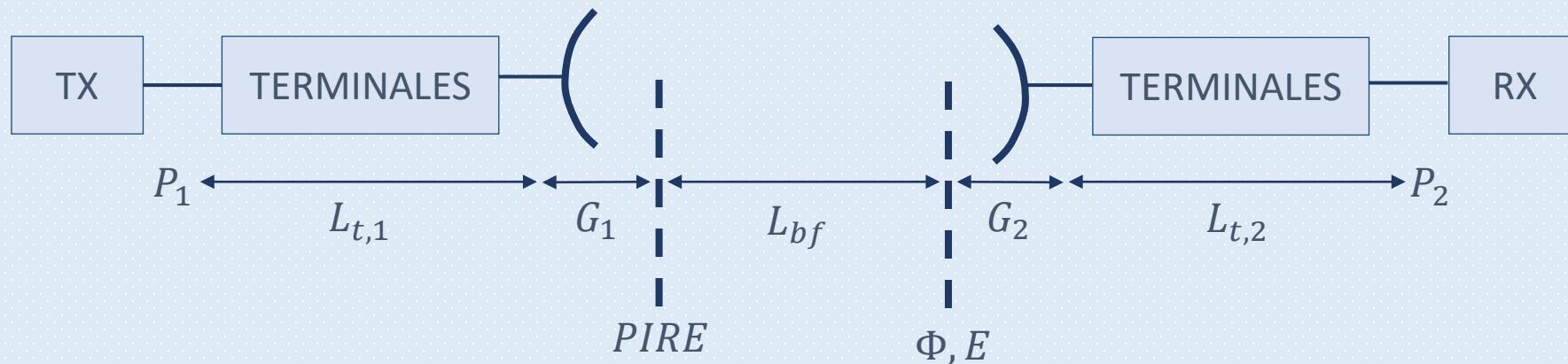
$$P_{Rx} = \Phi \cdot S_{ef}$$

$$\Phi \left\{ \begin{array}{l} \frac{e^2}{320\pi} \\ \frac{R^2}{4\pi d^2} \end{array} \right.$$

$$S_{ef} = \frac{\nu^2}{4\pi} g$$

### 3. BALANCE DE POTENCIAS

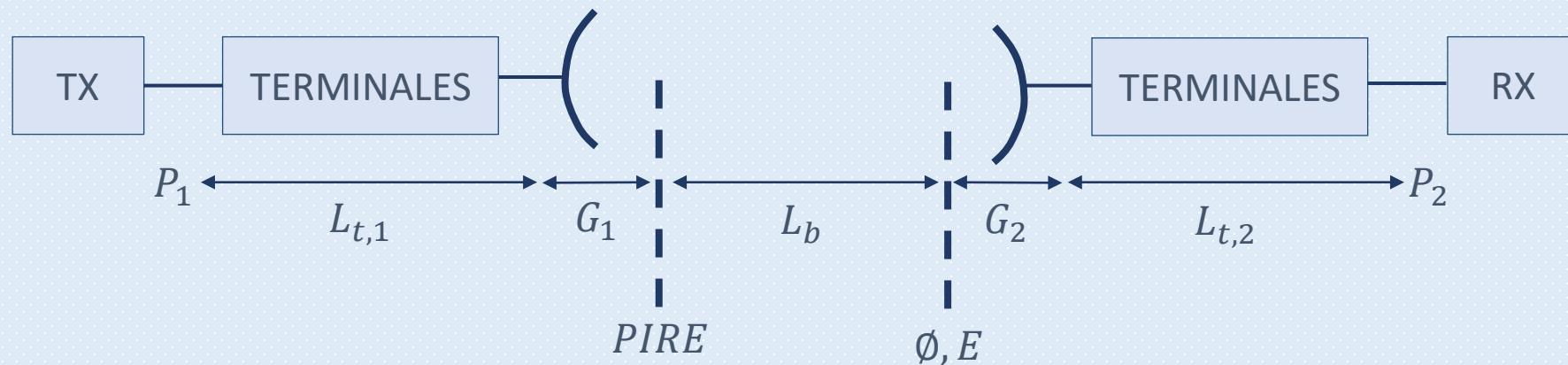
- Fórmula de Friis para un enlace con propagación por **espacio libre** asumiendo adaptación de impedancias y de polarización:



$$P_2 = \Phi_1 \cdot S_{ef,2} \cdot \frac{1}{l_{t,2}} \left\{ \begin{aligned} &= \frac{pire}{4\pi d^2} \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot g_2 \cdot \frac{1}{l_{t,2}} = \frac{p_1 \cdot g_1}{l_{t,1}} \cdot \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \cdot g_2 \cdot \frac{1}{l_{t,2}} \\ &= \frac{e^2}{120\pi} \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot g_2 \cdot \frac{1}{l_{t,2}} \end{aligned} \right. \quad \rightarrow \quad L_{bf} = 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)$$

### 3. BALANCE DE POTENCIAS

- Fórmula de Friis para un enlace con propagación por **espacio libre modificado por la tierra y/o troposfera** asumiendo adaptación de impedancias y de polarización:



### 3. BALANCE DE POTENCIAS

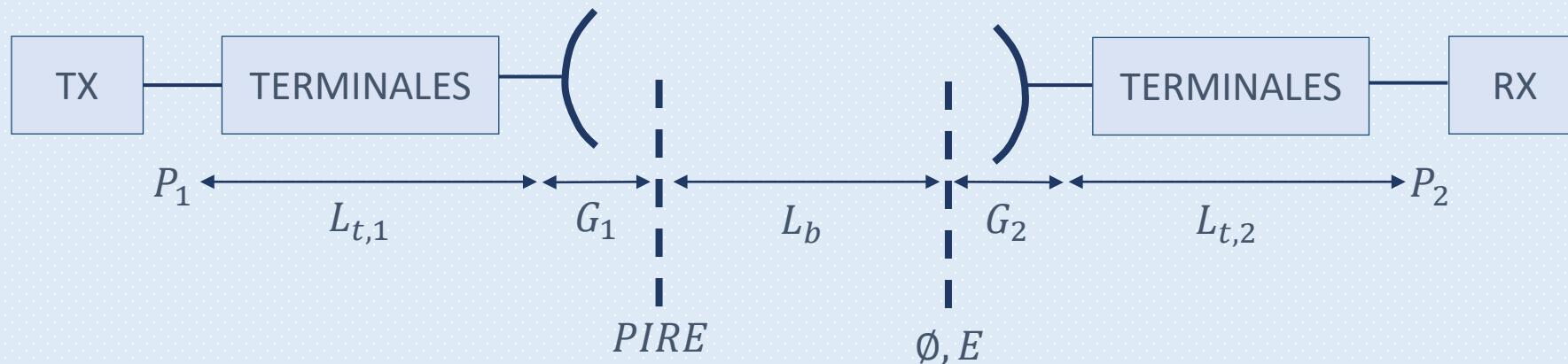
$$P_{Rx} = \Phi \cdot S_{ef}$$

$$\Phi \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{e^2}{320\pi} \\ \frac{\rho_{IRE}}{4\pi d^2} \end{array} \right.$$
$$\frac{1}{P_{ad}}$$

$$S_{ef} = \frac{\nu^2}{4\pi} g$$

# 3. BALANCE DE POTENCIAS

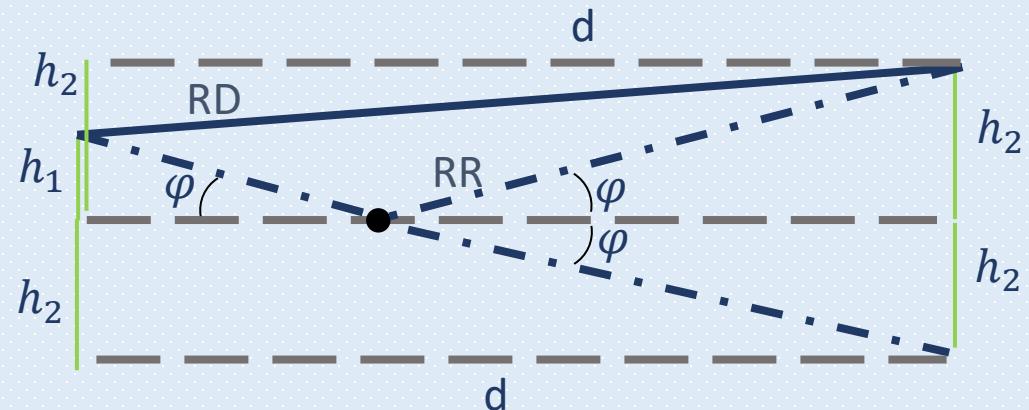
- Fórmula de Friis para un enlace con propagación por **espacio libre modificado por la tierra y/o troposfera** asumiendo adaptación de impedancias y de polarización:



$$P_2 = \Phi_1 \cdot S_{ef,2} \cdot \frac{1}{l_{t,2}} \left\{ \begin{aligned} &= \frac{\text{pire}}{4\pi d^2} \cdot \frac{1}{l_{ad}} \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot g_2 \cdot \frac{1}{l_{t,2}} = \frac{p_1 \cdot g_1}{l_{t,1}} \cdot \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \cdot \frac{1}{l_{ad}} \cdot g_r \cdot \frac{1}{l_{t,2}} \\ &= \frac{e^2}{120\pi} \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi} g_r \cdot \frac{1}{l_{t,2}} \end{aligned} \right. \quad \rightarrow \quad L_b = 20 \log \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right) + L_{ad}$$

## 4. MODELO DE DOS RAYOS

HTP:



$$l_{RR} = \sqrt{(h_1 + h_2)^2 + d^2}$$

$$l_{RD} = \sqrt{(h_2 - h_2)^2 + d^2}$$

$$C_{Rx} = C_B \left( 1 + R e^{-j\Delta} \right)$$

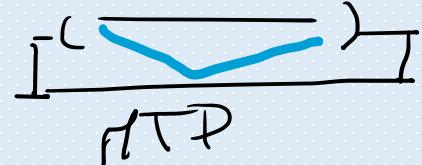
**RD**      **RR**

$$\Delta = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \Delta_e = \frac{2\pi}{\lambda} \left( l_{RR} - l_{RD} \right)$$

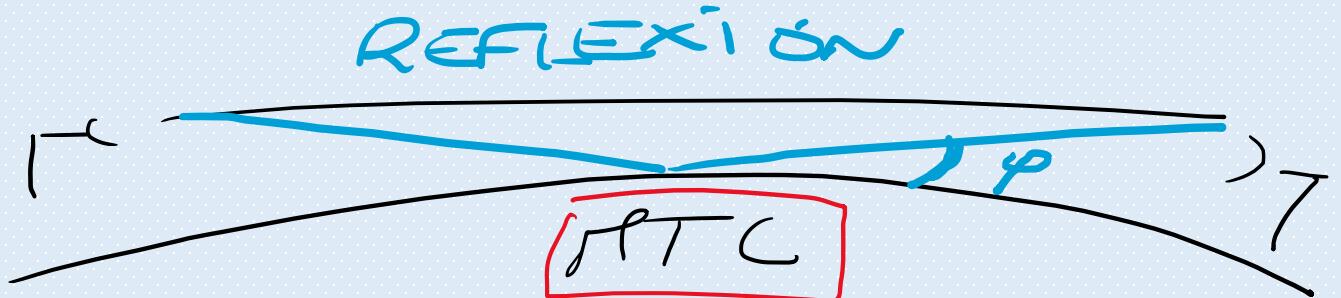
$$\Delta \approx \frac{2\pi}{\lambda} \frac{2h_1 h_2}{d}$$

## 4. MODELO DE DOS RAYOS

REFLEXIÓN



$$\vartheta < \vartheta_{\text{lim}}$$



$$d > 0, d_{\text{max}}$$

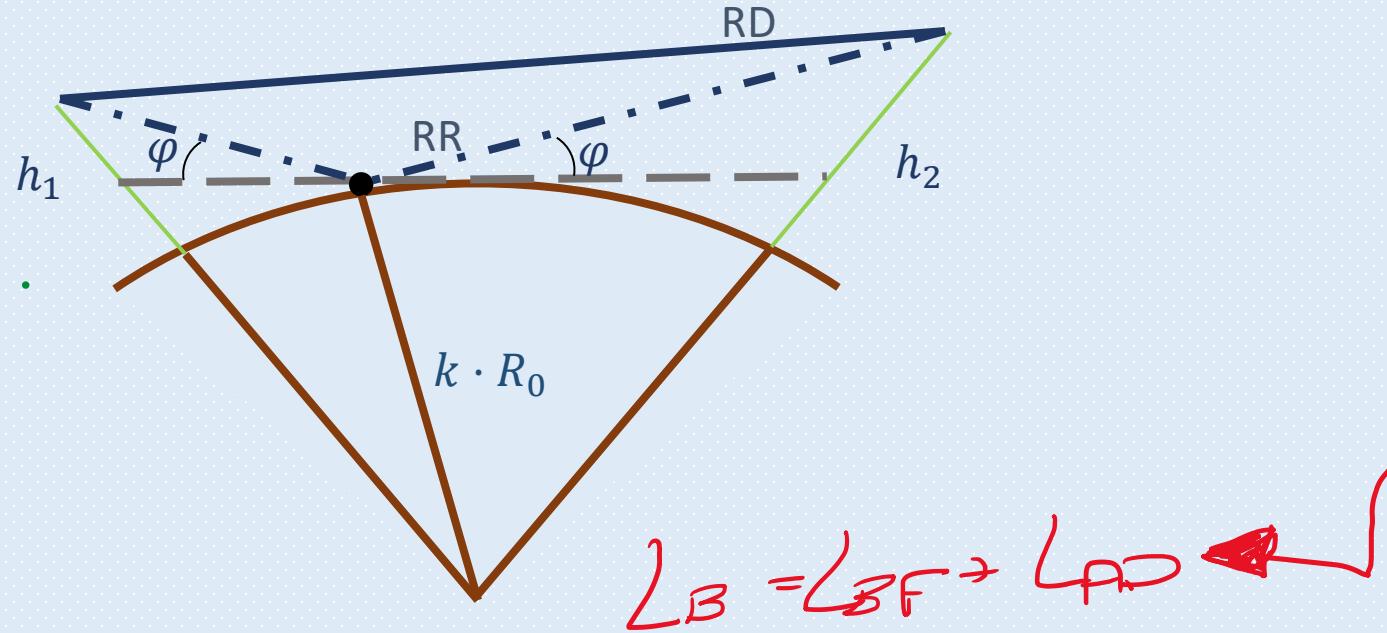
$$\varphi > \varphi_{\text{an}}$$

Difracción!!



# 4. MODELO DE DOS RAYOS

MTC :

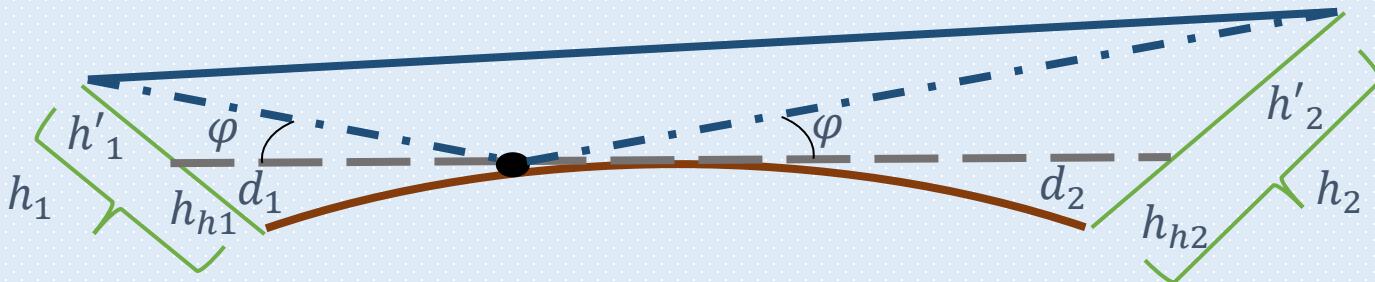


$$\varphi_{lim}(\text{mrad}) = \left( \frac{5400}{f(\text{MHz})} \right)^{\frac{1}{3}} \rightarrow \begin{cases} \varphi \geq \varphi_{lim} & \text{Reflexión} \\ \varphi < \varphi_{lim} & \text{Difracción} \end{cases}$$

$$e = e_{fs} \left( 1 + R_e \cdot \exp \left( -j \frac{2\pi}{\lambda} \Delta l \right) \right)$$

$$l_{ad} = \frac{|e_{fs}|^2}{|e|^2} = \frac{1}{\left| 1 + R_e \cdot \exp \left( -j \frac{2\pi}{\lambda} \Delta l \right) \right|^2}$$

# 4. MODELO DE DOS RAYOS



$$h'_1(\mathbf{m}) = h_1 - h_{h1} = h_1 - \frac{d_1^2}{2 \cdot k \cdot R_0}$$

$$h'_2(\mathbf{m}) = h_2 - h_{h2} = h_2 - \frac{d_2^2}{2 \cdot k \cdot R_0}$$

$$d(\text{km}) = d_1 + d_2$$

$$\tan(\varphi) = \frac{h'_1}{d_1} = \frac{h'_2}{d_2}$$



$$p = \frac{2}{\sqrt{3}} \left( kR_0(h_1 + h_2) + \frac{d^2}{4} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$h_1 > h_2$$

$$\phi(\text{rad}) = \arccos \left( \frac{2kR_0(h_1 - h_2)d}{p^3} \right)$$

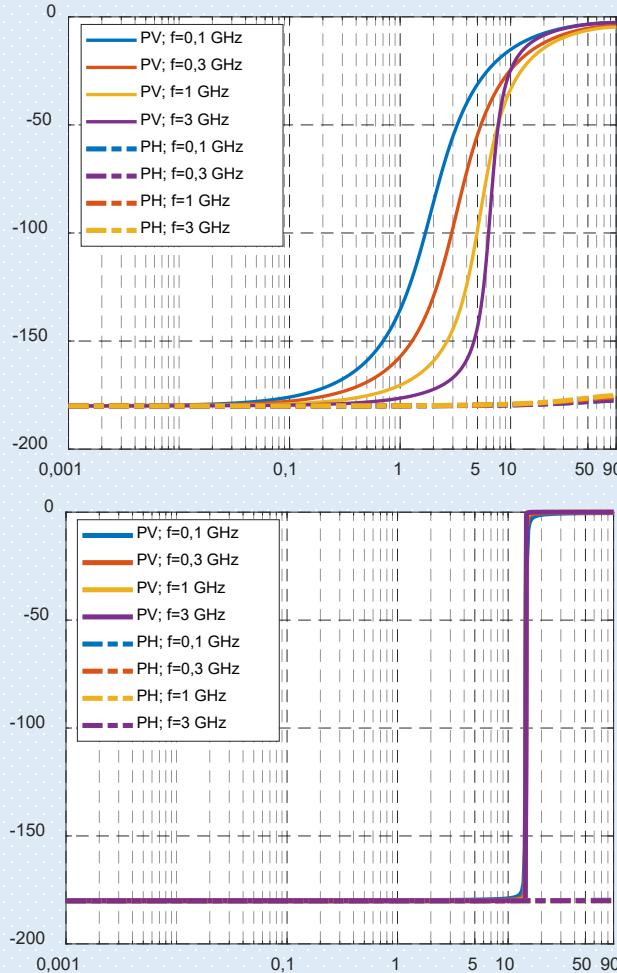
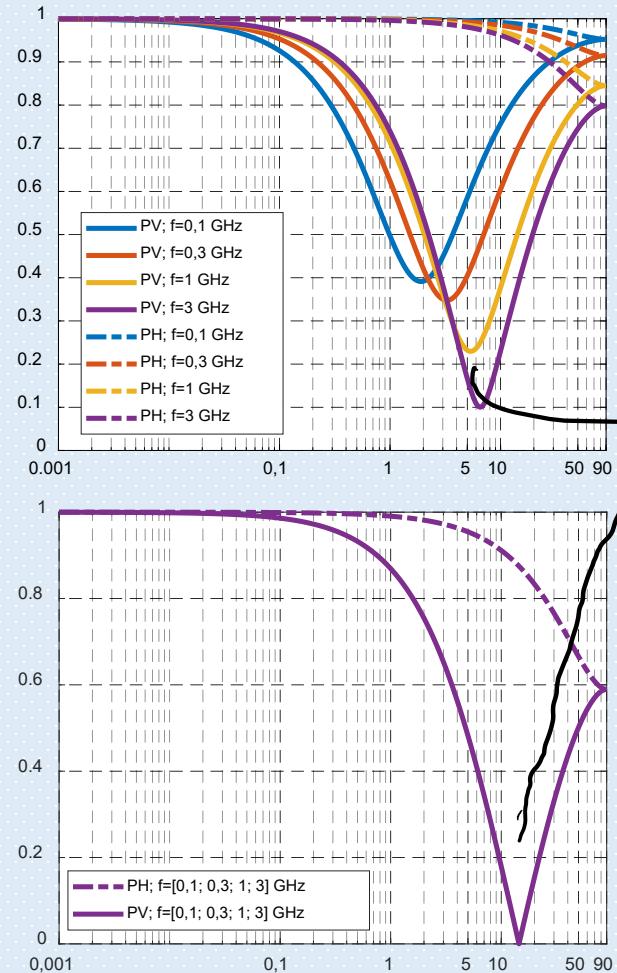
$$d_1 = \frac{d}{2} + p \cdot \cos \left( \frac{\pi + \phi}{3} \right)$$

$$h_2 > h_1$$

$$\phi(\text{rad}) = \arccos \left( \frac{2kR_0(h_2 - h_1)d}{p^3} \right)$$

$$d_2 = \frac{d}{2} + p \cdot \cos \left( \frac{\pi + \phi}{3} \right)$$

# 4. MODELO DE DOS RAYOS



$$R_e = R \cdot D \cdot \exp\left(-\frac{\gamma^2}{2}\right)$$

$$\epsilon_0 = \epsilon_r - j \cdot 60 \cdot \sigma \cdot \lambda$$

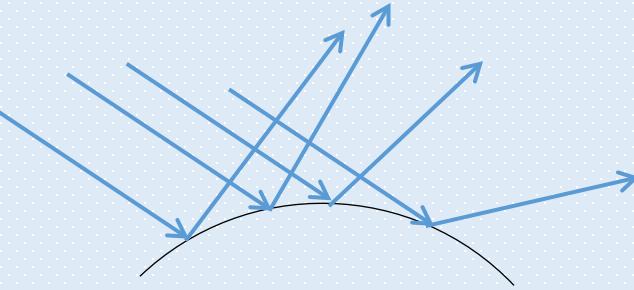
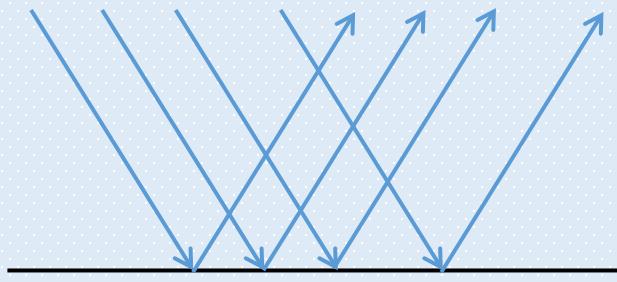
$$R_V = \frac{\epsilon_0 \cdot \sin(\varphi) - \sqrt{\epsilon_0 - \cos^2(\varphi)}}{\epsilon_0 \cdot \sin(\varphi) + \sqrt{\epsilon_0 - \cos^2(\varphi)}}$$

$$R_H = \frac{\sin(\varphi) - \sqrt{\epsilon_0 - \cos^2(\varphi)}}{\sin(\varphi) + \sqrt{\epsilon_0 - \cos^2(\varphi)}}$$

# 4. MODELO DE DOS RAYOS

$$R_e = R \cdot D \cdot \exp\left(-\frac{\gamma^2}{2}\right)$$

$$D = \left(1 + \left(\frac{5}{16 \cdot k}\right) \frac{d_1^2 d_2}{d \cdot h'_1}\right)^{-\frac{1}{2}} \begin{pmatrix} d_1, d_2, d & \text{km} \\ h'_1 & \text{m} \end{pmatrix}$$



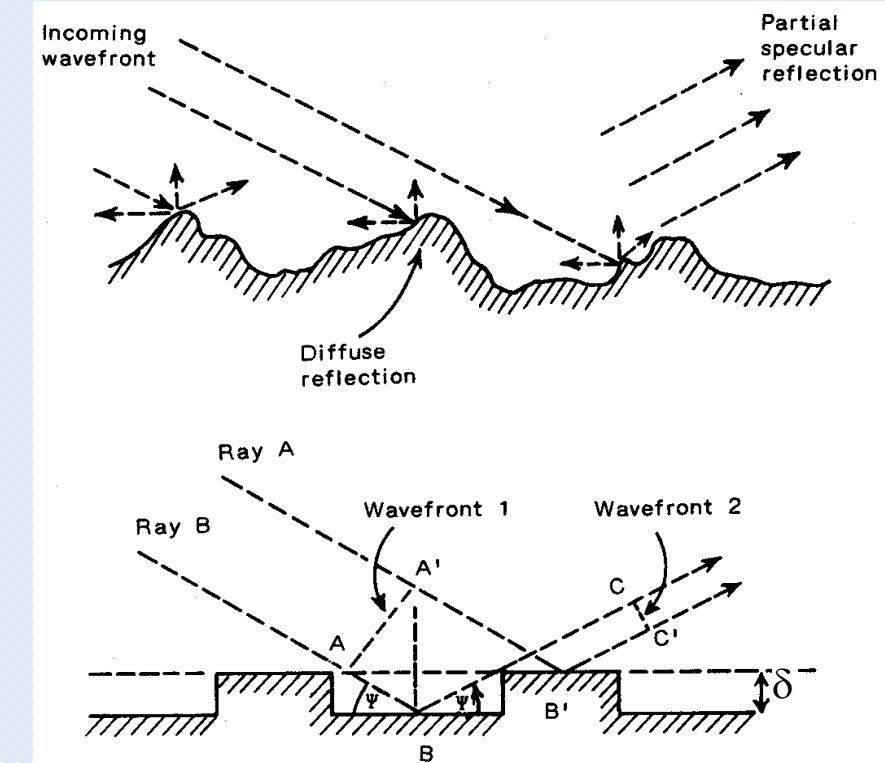
# 4. MODELO DE DOS RAYOS

$$R_e = R \cdot D \cdot \exp\left(-\frac{\gamma^2}{2}\right)$$

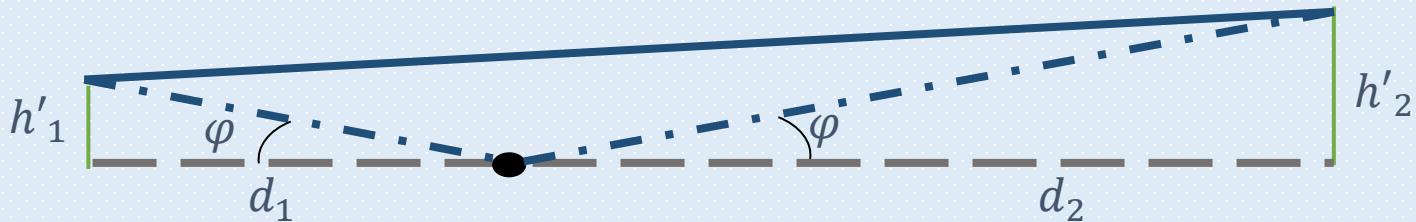
$$\gamma = \frac{4 \cdot \pi \cdot \rho \cdot \sin(\varphi)}{\lambda}$$

Si  $\delta \leq 0,3 \rightarrow$  terreno liso

$$\exp\left(-\frac{\delta^2}{2}\right) \approx 1$$



# 4. MODELO DE DOS RAYOS



$$\Delta l = \sqrt{d^2 + |h'_1 + h'_2|^2} - \sqrt{d^2 + |h'_1 - h'_2|^2} \approx \frac{2 \cdot h'_1 \cdot h'_2}{d}$$

$$L_{ad} = -20 \log \left( \left| 1 + R_e \cdot \exp \left( -j \frac{2\pi}{\lambda} \frac{2 \cdot h'_1 \cdot h'_2}{d} \right) \right| \right)$$

## TEMA 2:

# PROPAGACIÓN POR ONDA DE ESPACIO EN EL ENTORNO TERRESTRE

$$e \rightarrow \text{Pire} \rightarrow \phi = \frac{e^2}{120\pi} = \frac{\dot{\text{Pire}}}{4\pi d^2} \frac{1}{R_E}$$

Def.

$$P_{Rx} = \phi \cdot S_{RF} \cdot \frac{1}{R_E} = \text{Pire} \frac{1}{R_{RF}} \cdot g \frac{1}{R_E}$$

$$\phi \cdot \frac{e^2}{4\pi} g \frac{1}{R_E} = \text{Pire} \frac{1}{R_{RF}} \phi \frac{1}{R_E}$$

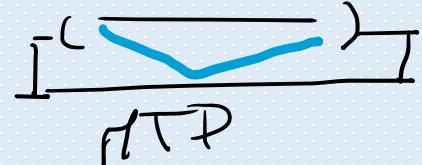
# ÍNDICE

---

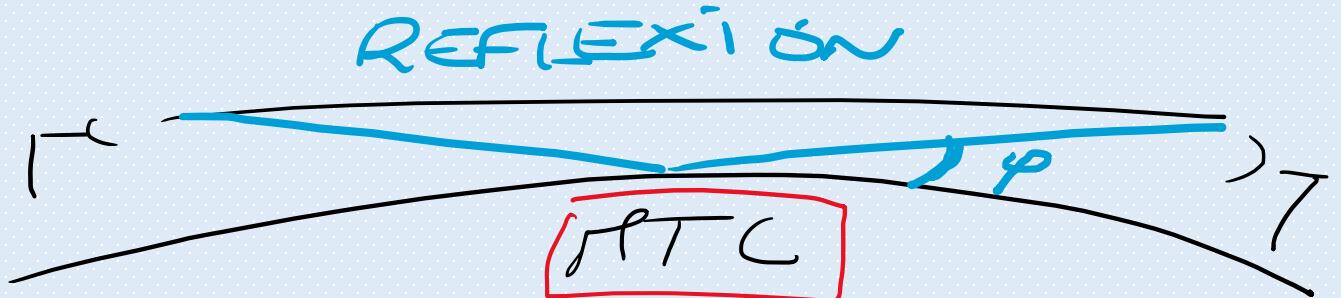
- 1. Estaciones de radiocomunicación
- 2. Modos de propagación
- 3. Balance de potencias
- 4. Modelo de dos rayos
- 5. Difracción por Tierra esférica
- 6. Difracción en múltiples obstáculos
- 7. Gases atmosféricos
- 8. Vegetación

## 4. MODELO DE DOS RAYOS

REFLEXIÓN



$$\vartheta < \vartheta_{\text{lim}}$$



$$d > 0, d_{\text{max}}$$

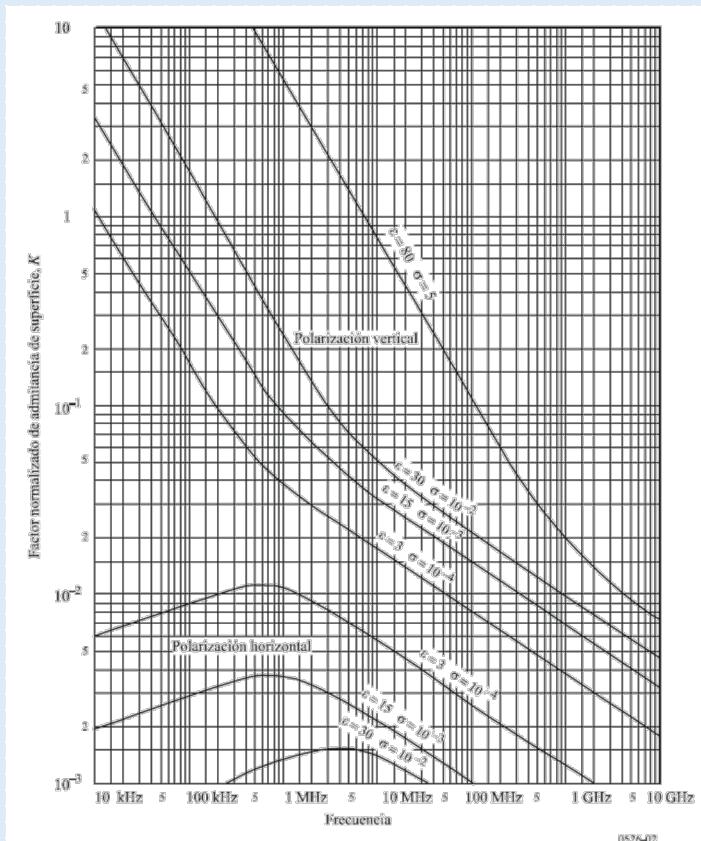
$$\varphi > \varphi_{\text{an}}$$

Difracción!!



# 5. DIFRACCIÓN EN TIERRA ESFÉRICA

- Modelo de difracción sobre Tierra esférica :



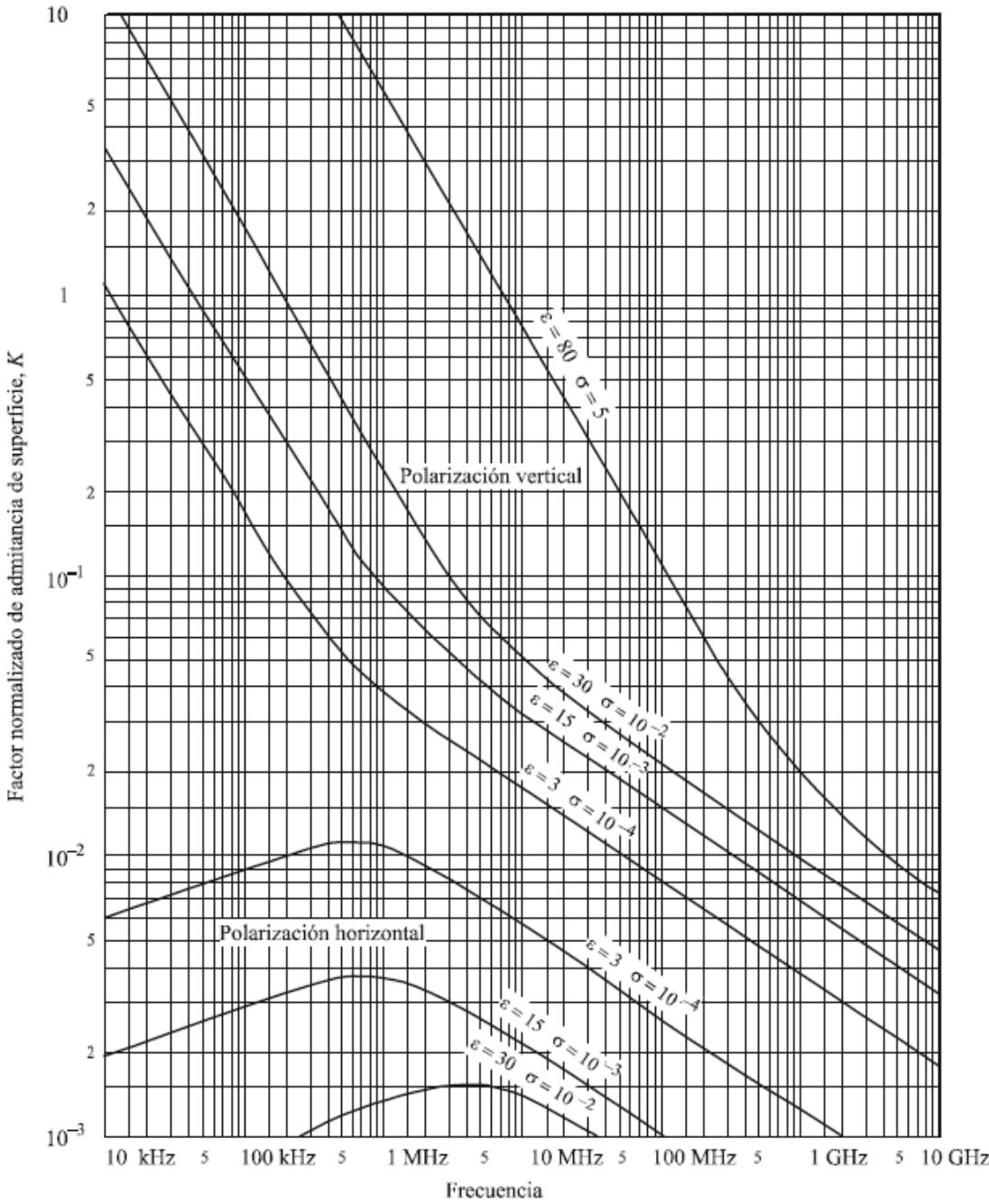
$$L_{ad} = -F(X) - G(Y_1) - G(Y_2)$$

$$X = \beta \left( \frac{\pi}{\lambda R^2} \right)^{\frac{1}{3}} d \quad Y_1 = 2\beta \left( \frac{\pi^2}{\lambda^2 R} \right)^{\frac{1}{3}} h_1 \quad Y_2 = 2\beta \left( \frac{\pi^2}{\lambda^2 R} \right)^{\frac{1}{3}} h_2$$

$$\beta = \frac{1 + 1,6\vartheta^2 + 0,75\vartheta^4}{1 + 4,5\vartheta^2 + 1,35\vartheta^4}$$

$$\vartheta_H = \left( \frac{2\pi R}{\lambda} \right)^{-\frac{1}{3}} ((\epsilon_r - 1)^2 + (60\lambda\sigma)^2)^{-\frac{1}{4}} \quad \vartheta_V = \vartheta_H (\epsilon_r^2 + (60\lambda\sigma)^2)^{\frac{1}{2}}$$

# 5. DIFRACCIÓN EN TIERRA ESFÉRICA



# 5. DIFRACCIÓN EN TIERRA ESFÉRICA

- Modelo de difracción sobre Tierra esférica :

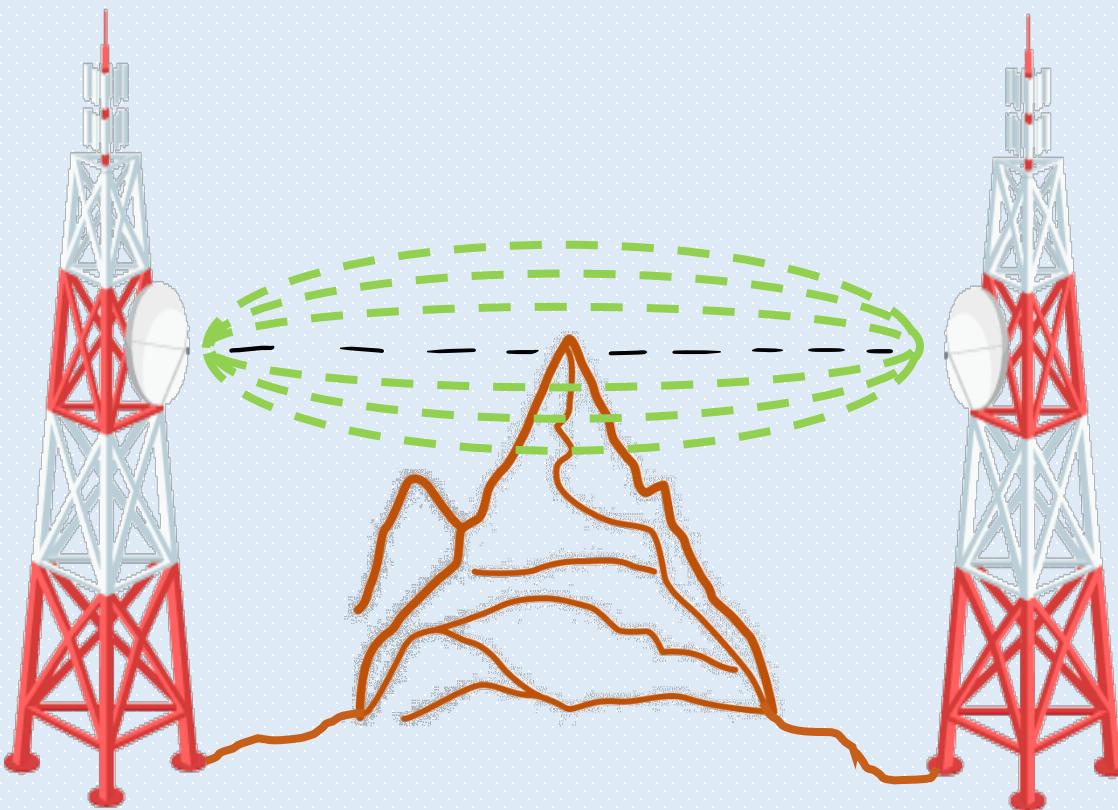
$$F(X) = \begin{cases} 11 + \log(X) - 17,6X & X \geq 1.6 \\ -20 \log(X) - 5,6488X^{1,425} & X < 1.6 \end{cases}$$

$$G(Y) = \begin{cases} 17,6\sqrt{\beta Y - 1,1} - 5 \log(\beta Y - 1,1) - 8 & Y > 2 \\ 20 \log(\beta Y + 0,1(\beta Y)^3) & Y \leq 2 \end{cases}$$

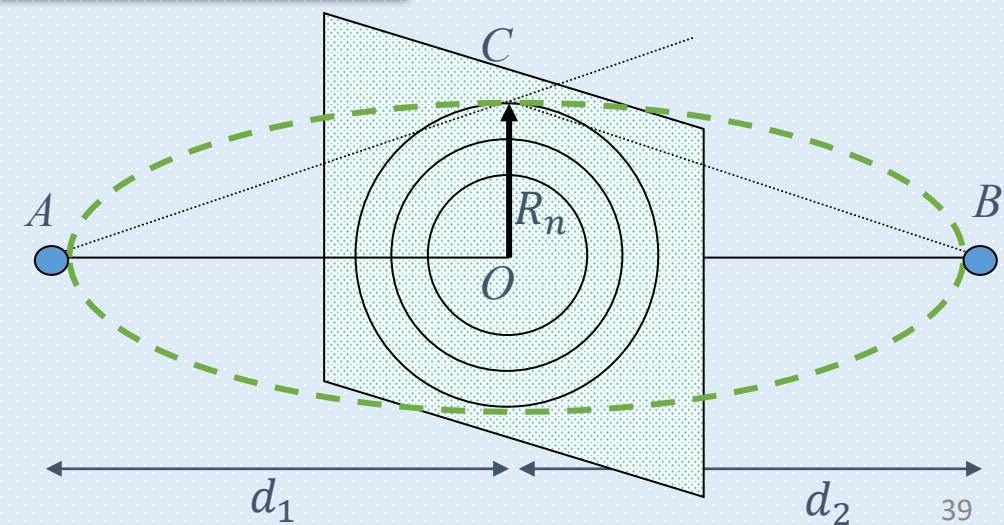
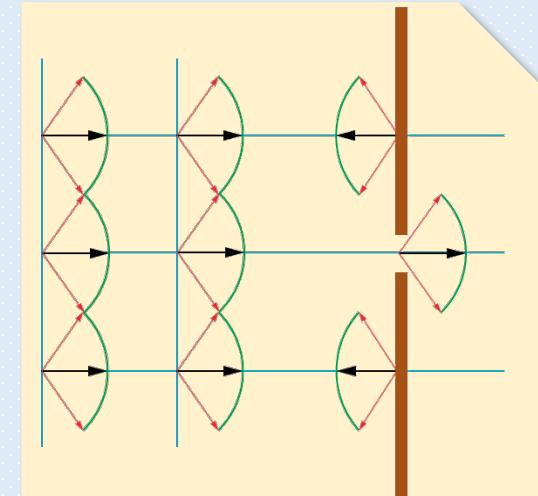
Si  $G(Y) < 2 + 20 \log(K)$ , entonces  $G(Y) = 2 + 20 \log(K)$

# 6. DIFRACCIÓN EN MÚLTIPLES OBSTÁCULOS

- Elipsoides de Fresnel:



Tema 2: Propagación por onda de espacio en el entorno terrestre

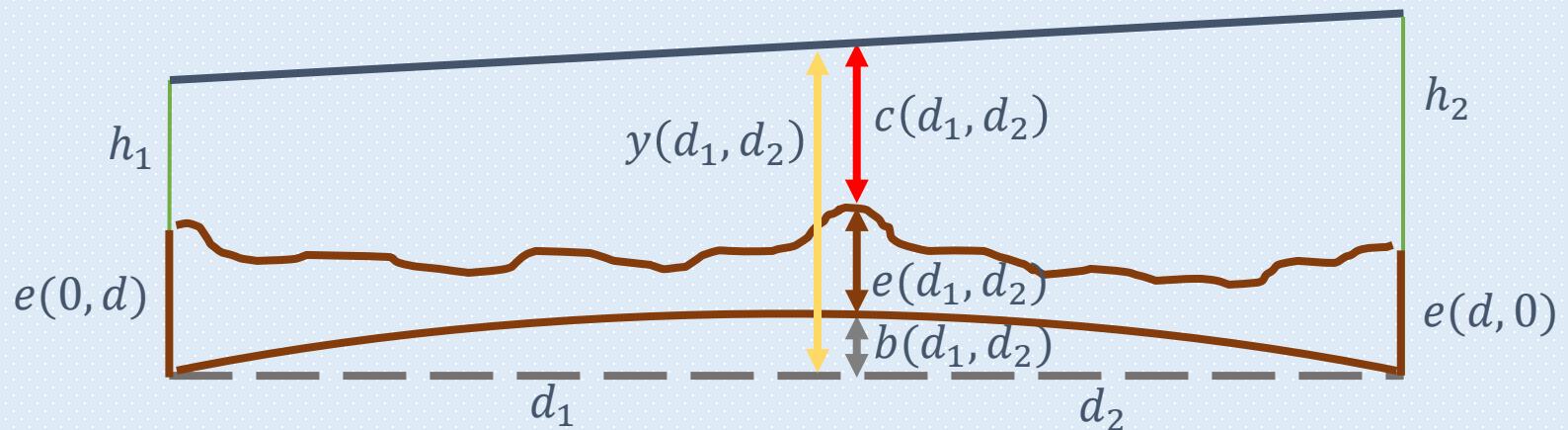


$$AC + CB = AOB + n\frac{\lambda}{2}$$

$$R_n(d_1) = \sqrt{n \cdot \lambda \frac{d_1 \cdot d_2}{d_1 + d_2}}$$

# 6. DIFRACCIÓN EN MÚLTIPLES OBSTÁCULOS

- Parámetro de difracción



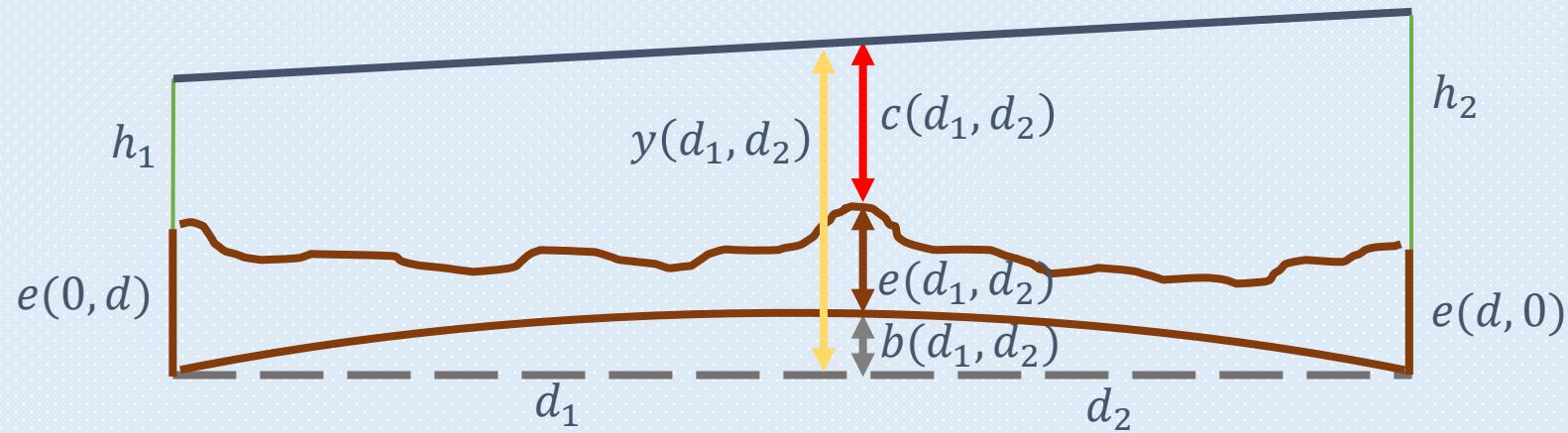
$$c(d_1, d_2) = (b(d_1, d_2) + e(d_1, d_2)) - y(d_1, d_2) =$$

$$= \left( \frac{d_1 \cdot d_2}{2 \cdot k \cdot R_0} + e(d_1, d_2) \right) - \left( \frac{h_2 + e(d, 0) - h_1 - e(0, d)}{d} d_1 + h_1 + e(0, d) \right)$$

$$v(d_1, d_2) = \sqrt{2} \frac{c(d_1, d_2)}{R_1(d_1, d_2)}$$

# 6. DIFRACCIÓN EN MÚLTIPLES OBSTÁCULOS

- Pérdidas por difracción:

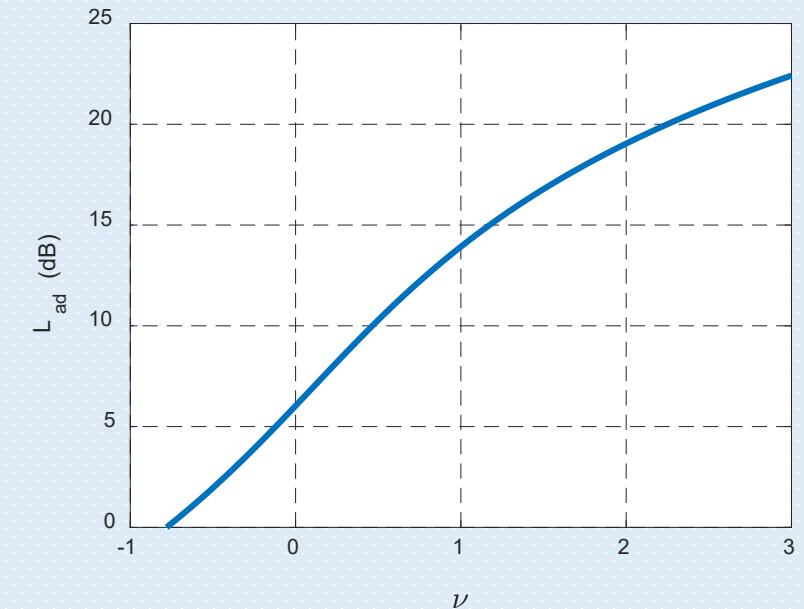


$$v(d_1, d_2) = \sqrt{2} \frac{c(d_1, d_2)}{R_1(d_1, d_2)}$$

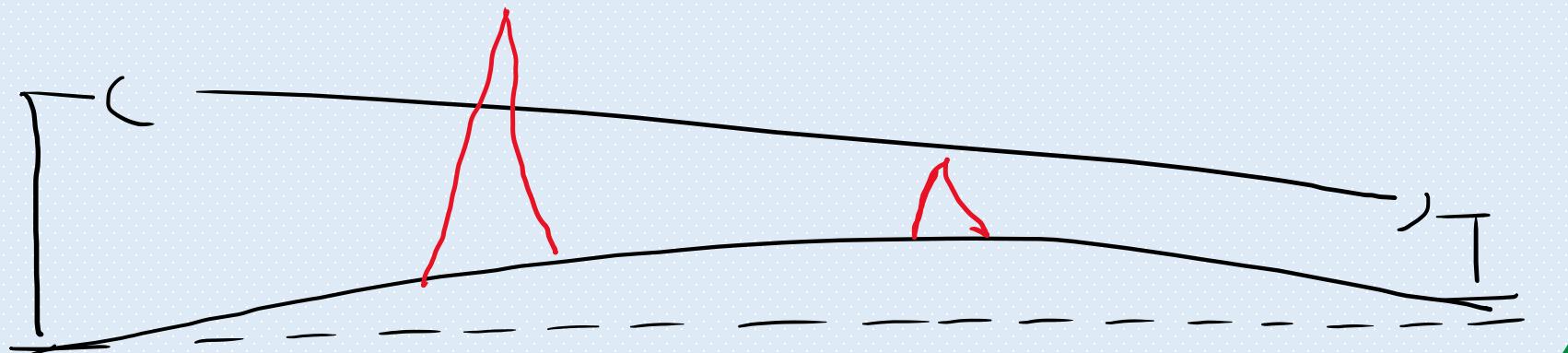
$$\left\{ \begin{array}{ll} v(d_1, d_2) \leq -0,78 & \\ v(d_1, d_2) > -0,78 & \end{array} \right.$$

Condición despejamiento suficiente

$$L_{ad}(v) = 6,9 + 20 \log \left( \sqrt{(v - 0,1)^2 + 1} + v - 0,1 \right)$$



## 6. DIFRACCIÓN EN MÚLTIPLES OBSTÁCULOS



Método 1: obstáculos parecidos

$$\begin{aligned} \gamma_1 < 0 \quad \text{y} \quad \gamma_2 < 0 \\ |\gamma_1 - \gamma_2| < 0,5 \end{aligned}$$

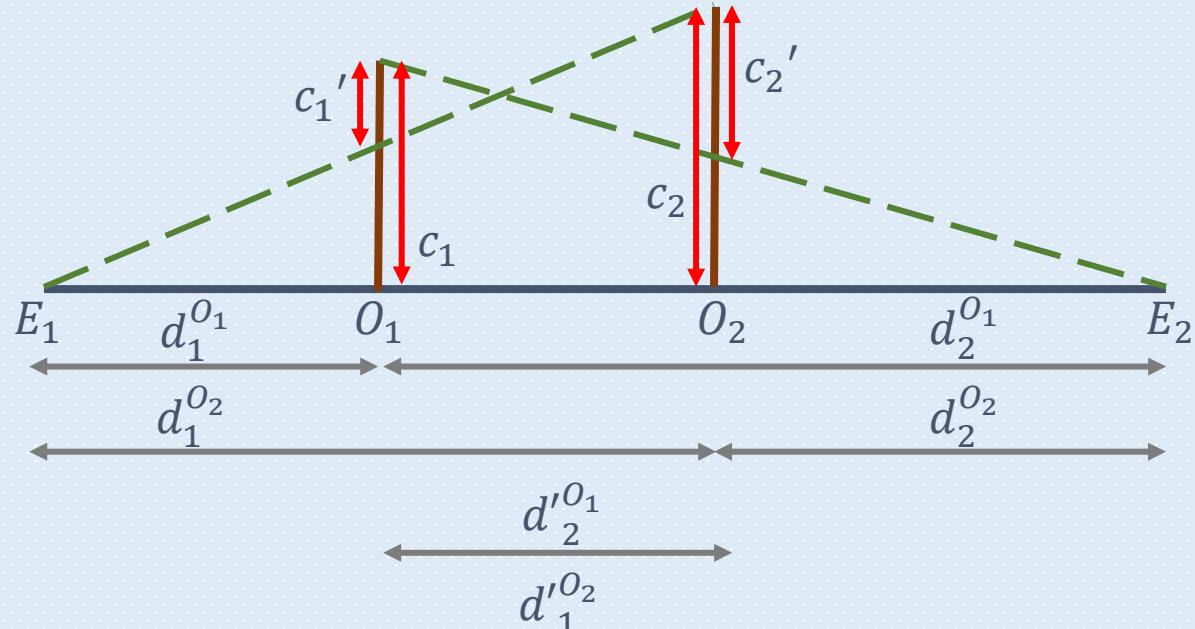
Método 2: obstáculo dominante

$$\begin{aligned} \gamma_1 > 0 \quad \text{y} \quad \gamma_2 > 0 \\ |\gamma_1 - \gamma_2| > 0,5 \end{aligned}$$

Método 3: 3 o más obstáculos

# 6. DIFRACCIÓN EN MÚLTIPLES OBSTÁCULOS

- MÉTODO 1: Dos aristas aisladas de similar despejamiento



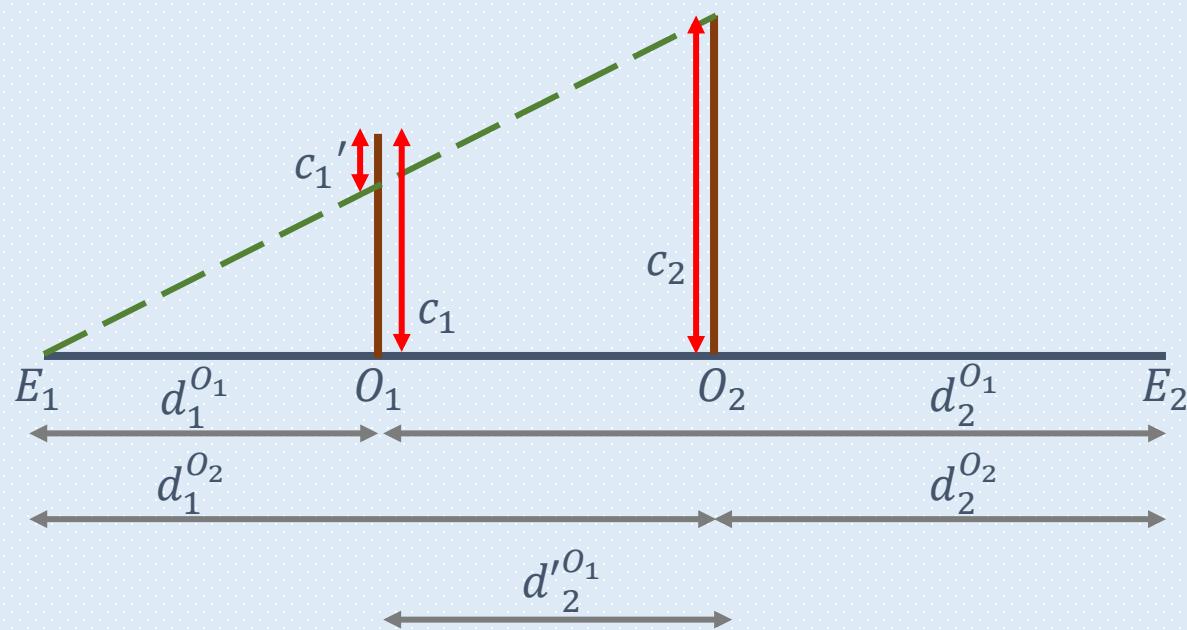
$$L_{ad} = L_{dif}(v'_1) + L_{dif}(v'_2) + 10 \log_{10} \left( \frac{d_1^{O_2} \cdot d_2^{O_1}}{d'_1{}^{O_2} (d_1^{O_2} + d_2^{O_2})} \right)$$

$\overline{E_1 O_1 O_2 E_2}$	$\overline{E_1 O_1 O_2}$	$\overline{O_1 O_2 E_2}$
$b(d_1^{O_1}, d_2^{O_1}); b(d_1^{O_2}, d_2^{O_2})$	$b'(d_1^{O_1}, d_2^{O_1})$	$b'(d_1^{O_2}, d_2^{O_2})$
$e(d_1^{O_1}, d_2^{O_1}); e(d_1^{O_2}, d_2^{O_2})$	$e(d_1^{O_1}, d_2^{O_1})$	$e(d_1^{O_2}, d_2^{O_2})$
$y(d_1^{O_1}, d_2^{O_1}); y(d_1^{O_2}, d_2^{O_2})$	$y'(d_1^{O_1}, d_2^{O_1})$	$y'(d_1^{O_2}, d_2^{O_2})$
$c(d_1^{O_1}, d_2^{O_1}); c(d_1^{O_2}, d_2^{O_2})$	$c'(d_1^{O_1}, d_2^{O_1})$	$c'(d_1^{O_2}, d_2^{O_2})$
$R_1(d_1^{O_1}, d_2^{O_1}); R_1(d_1^{O_2}, d_2^{O_2})$	$R'_1(d_1^{O_1}, d_2^{O_1})$	$R'_1(d_1^{O_2}, d_2^{O_2})$
$v(d_1^{O_1}, d_2^{O_1}) \approx v(d_1^{O_2}, d_2^{O_2})$	$v'(d_1^{O_1}, d_2^{O_1})$	$v'(d_1^{O_2}, d_2^{O_2})$
	$L_{dif}(v'_1)$	$L_{dif}(v'_2)$

ZO ó ZLO  
 $|V_1 - V_2| < 0,5$

# 6. DIFRACCIÓN EN MÚLTIPLES OBSTÁCULOS

- Dos aristas aisladas con una predominante:



$\overline{E_1 O_1 O_2 E_2}$	$\overline{E_1 O_1 O_2}$
$b(d_1^{0_1}, d_2^{0_1}); b(d_1^{0_2}, d_2^{0_2})$	$b'(d_1^{0_1}, d_2'^{0_1})$
$e(d_1^{0_1}, d_2^{0_1}); e(d_1^{0_2}, d_2^{0_2})$	$e(d_1^{0_1}, d_2'^{0_1})$
$y(d_1^{0_1}, d_2^{0_1}); y(d_1^{0_2}, d_2^{0_2})$	$y'(d_1^{0_1}, d_2'^{0_1})$
$c(d_1^{0_1}, d_2^{0_1}); c(d_1^{0_2}, d_2^{0_2})$	$c'(d_1^{0_1}, d_2'^{0_1})$
$R_1(d_1^{0_1}, d_2^{0_1}); R_1(d_1^{0_2}, d_2^{0_2})$	$R'_1(d_1^{0_1}, d_2'^{0_1})$
$v(d_1^{0_1}, d_2^{0_1}) \ll v(d_1^{0_2}, d_2^{0_2})$	$v'(d_1^{0_1}, d_2'^{0_1})$
$L_{dif}(v_2)$	$L_{dif}(v'_1)$

$$L_{ad} = L_{dif}(v'_1) + L_{dif}(v_2) - T_c$$

$$\begin{aligned} & \gamma > 0 \quad y \quad D_2 > 0 \\ & |\nu_1 - \nu_2| > 95 \end{aligned}$$

# 6. DIFRACCIÓN EN MÚLTIPLES OBSTÁCULOS

- Dos aristas aisladas con una predominante:  $L_{ad} = L_{dif}(v'_1) + L_{dif}(v_2) - T_c$

$$\tan(\alpha) = \left( \frac{d \cdot d'^{O_1}_2}{d^{O_1}_1 \cdot d^{O_2}_2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$v(d^{O_1}_1, d^{O_1}_2) \gg v(d^{O_2}_1, d^{O_2}_2) \rightarrow v_D = v_1; v_S = v_2$$

$$p = v_D$$

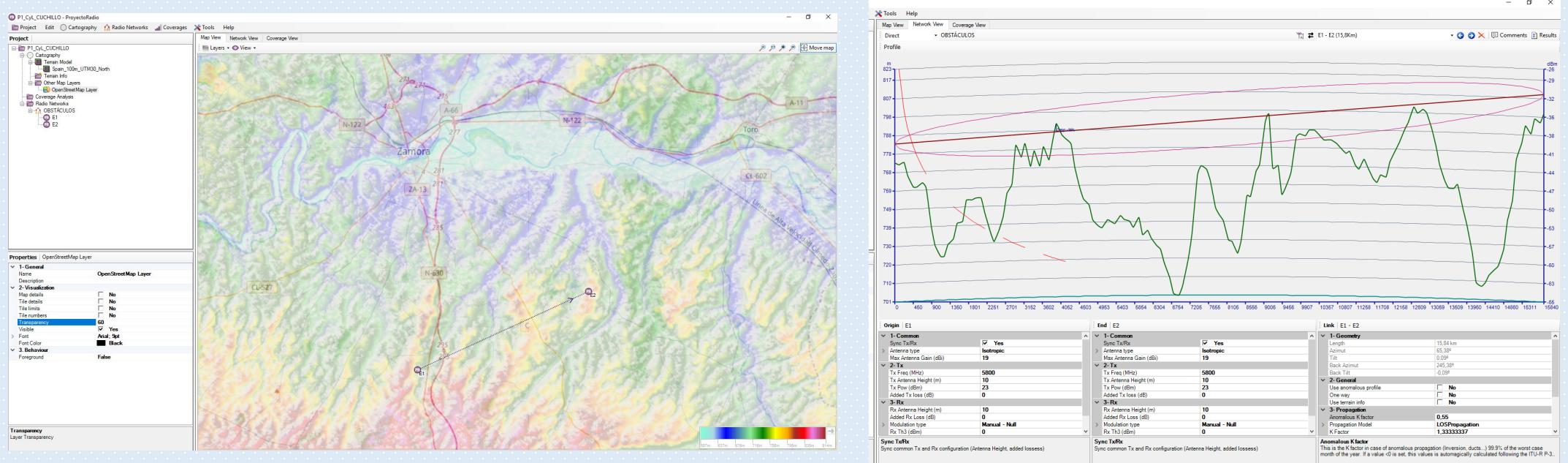
$$q = v_S$$

$$v(d^{O_1}_1, d^{O_1}_2) \ll v(d^{O_2}_1, d^{O_2}_2) \rightarrow v_D = v_2; v_S = v_1$$

$$T_c = \left( 12 - 20 \log \left( \frac{2}{1 - \frac{\alpha}{\pi}} \right) \right) \left( \frac{q}{p} \right)^{2p}$$

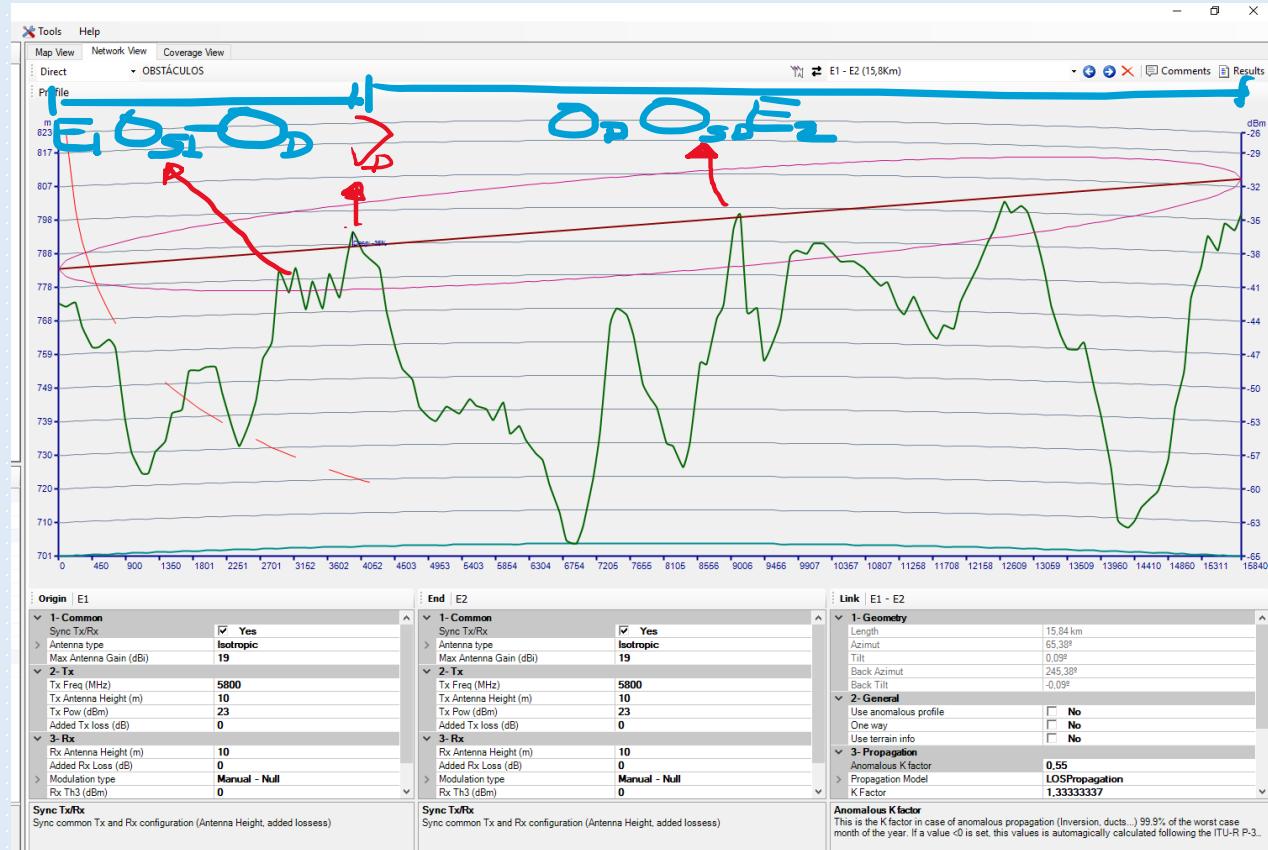
# 6. DIFRACCIÓN EN MÚLTIPLES OBSTÁCULOS

- Práctica 2: Influencia del perfil geográfico en la propagación por onda de espacio



# 6. DIFRACCIÓN EN MÚLTIPLES OBSTÁCULOS

- Práctica 2: Influencia del perfil geográfico en la propagación por onda de espacio



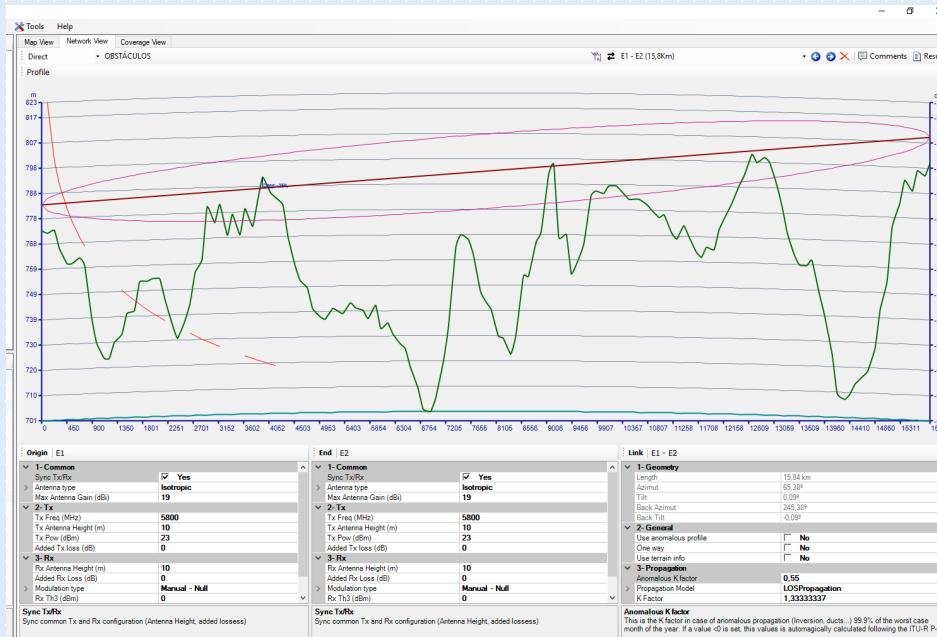
$$v_D(d_1^{0D}, d_2^{0D})$$

$$v'_{SI}(d_1^{0SI}, d_2^{0SI})$$

$$v'_{SD}(d_1^{0SD}, d_2^{0SD})$$

# 6. DIFRACCIÓN EN MÚLTIPLES OBSTÁCULOS

- Práctica 2: Influencia del perfil geográfico en la propagación por onda de espacio



$$L_{ad} = L_{dif}(\nu_D) + T(L_{dif}(\nu'_{SI}) + L_{dif}(\nu'_{SD}) + C)$$

$$\nu_D(d_1^{0D}, d_2^{0D})$$

$$T = 1 - \exp\left(-\frac{L_{dif}(\nu_D)}{6}\right)$$

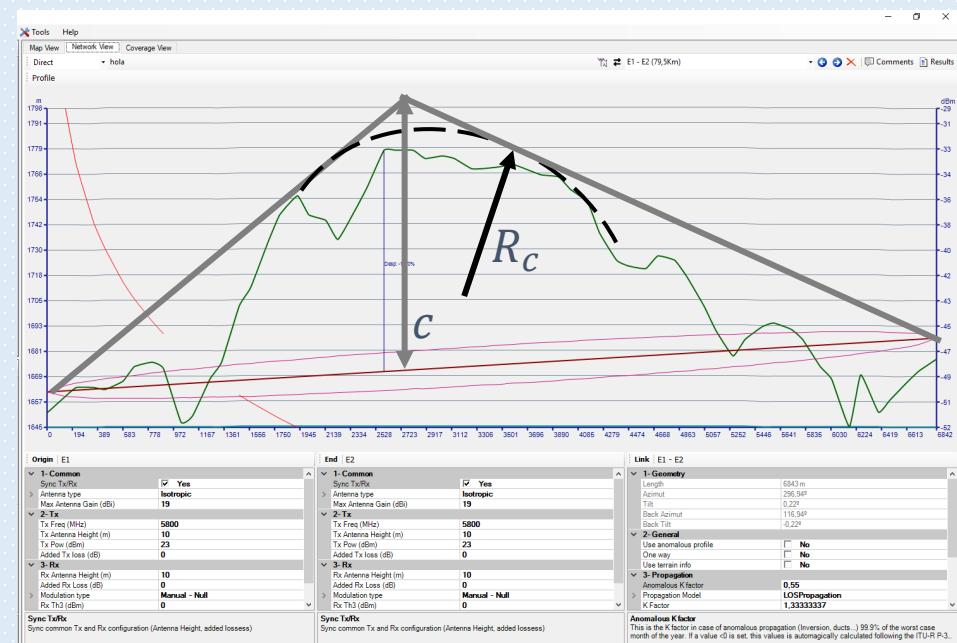
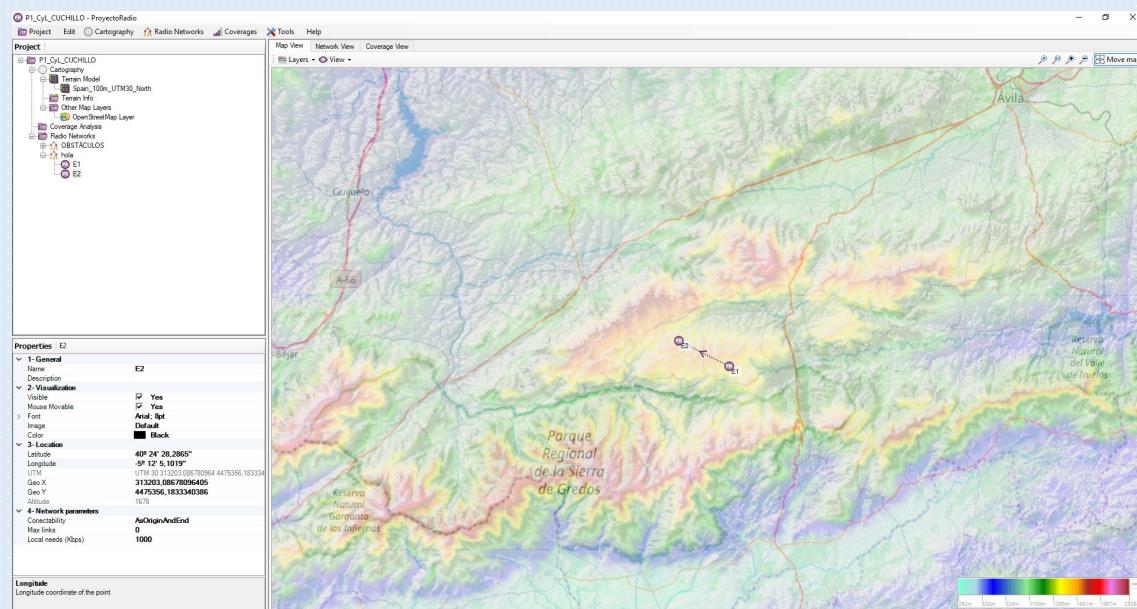
$$\nu'_{SI}(d_1^{0SI}, d_2^{0SI})$$

$$\nu'_{SD}(d_1^{0SD}, d_2^{0SD})$$

$$C = 10 + 0,04 \cdot (d_1^{0D}(km) + d_2^{0D}(km))$$

# 6. DIFRACCIÓN EN MÚLTIPLES OBSTÁCULOS

- Práctica 2: Influencia del perfil geográfico en la propagación por onda de espacio



$$L_{ad} = J(\nu) + T(m, n)$$

$$m \cdot n > 4 \quad T(m, n) = -6 - 20 \log (mn) + 7,2m^{\frac{1}{2}} - (2 - 17n)m + 3,6m^{\frac{3}{2}} - 0,8m^2$$

$$m \cdot n \leq 4 \quad T(m, n) = 7,2m^{\frac{1}{2}} - (2 - 12,5n)m + 3,6m^{\frac{3}{2}} - 0,8m^2$$

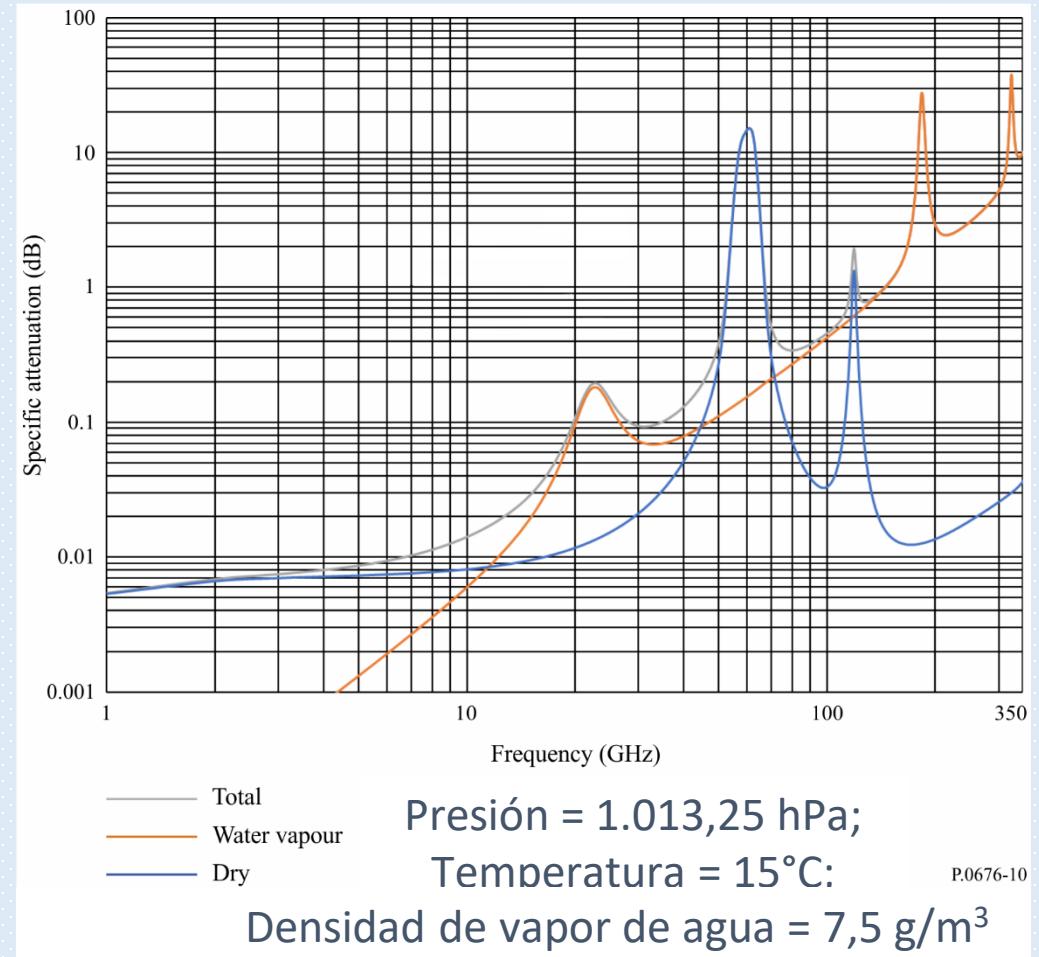
$$m = \frac{R_c \left( \frac{d_1+d_2}{d_1 d_2} \right)}{\left( \frac{\pi R_c}{\lambda} \right)^{\frac{1}{3}}}$$

$$n = \frac{c(d_1, d_2) \left( \frac{\pi R_c}{\lambda} \right)^{\frac{2}{3}}}{R_c}$$

# 7. GASES ATMOSFÉRICOS

- Enlaces terrestres:

$$L_{ad} = (\gamma_O + \gamma_W)d(\text{km})$$



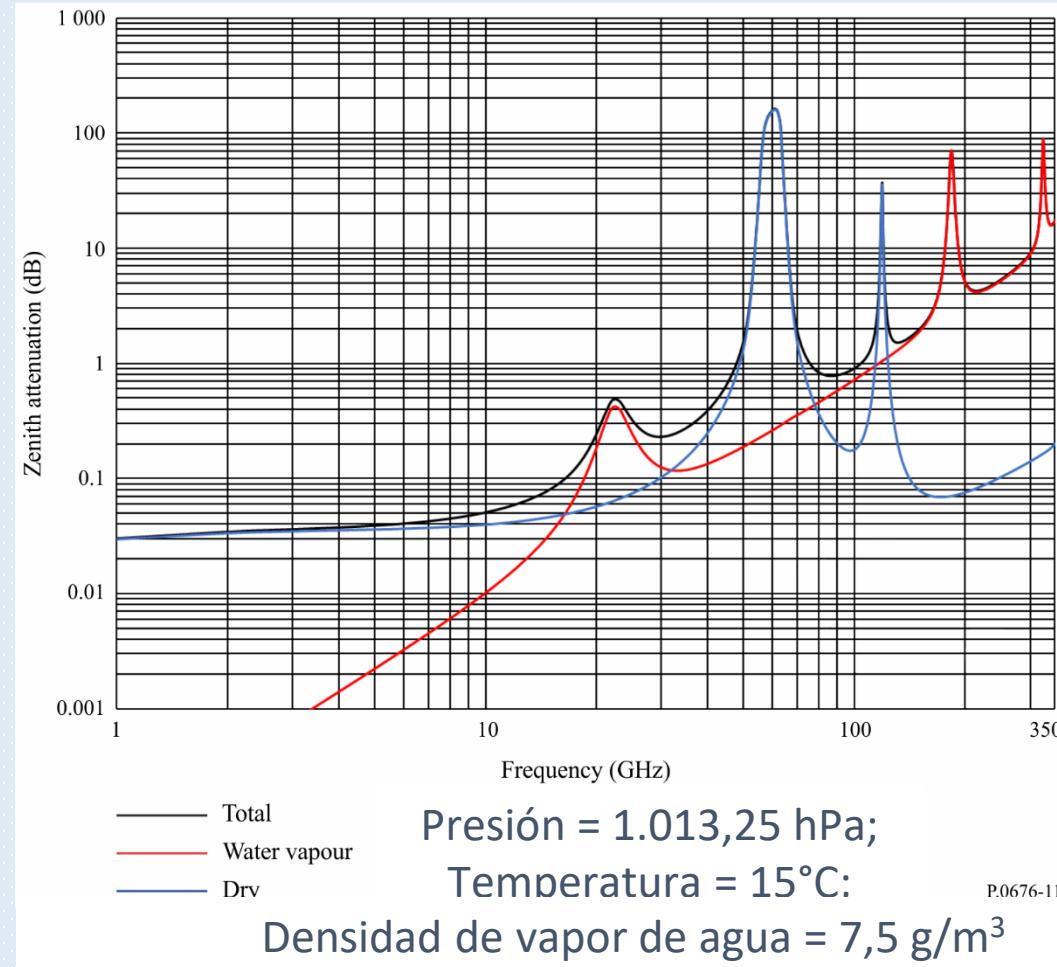
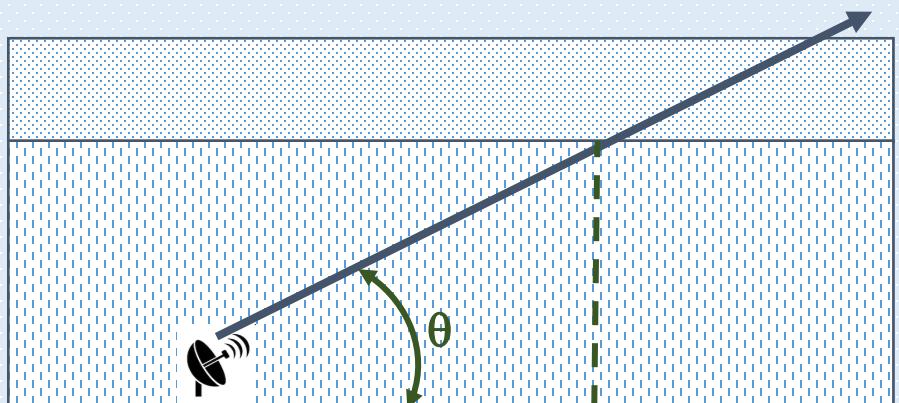
# 7. GASES ATMOSFÉRICOS

- Enlaces espaciales:

$$L_O = h_O \gamma_O; L_W = h_W \gamma_W$$

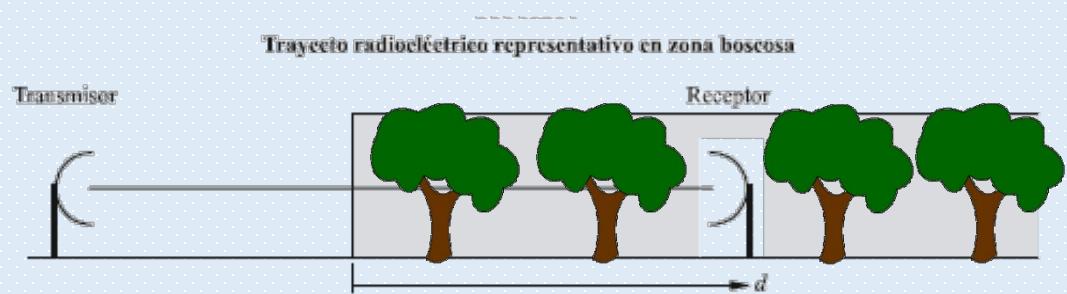
- Ángulos de elevación:  $5^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$

$$L_{ad} = \frac{L_O + L_W}{\sin \theta}$$



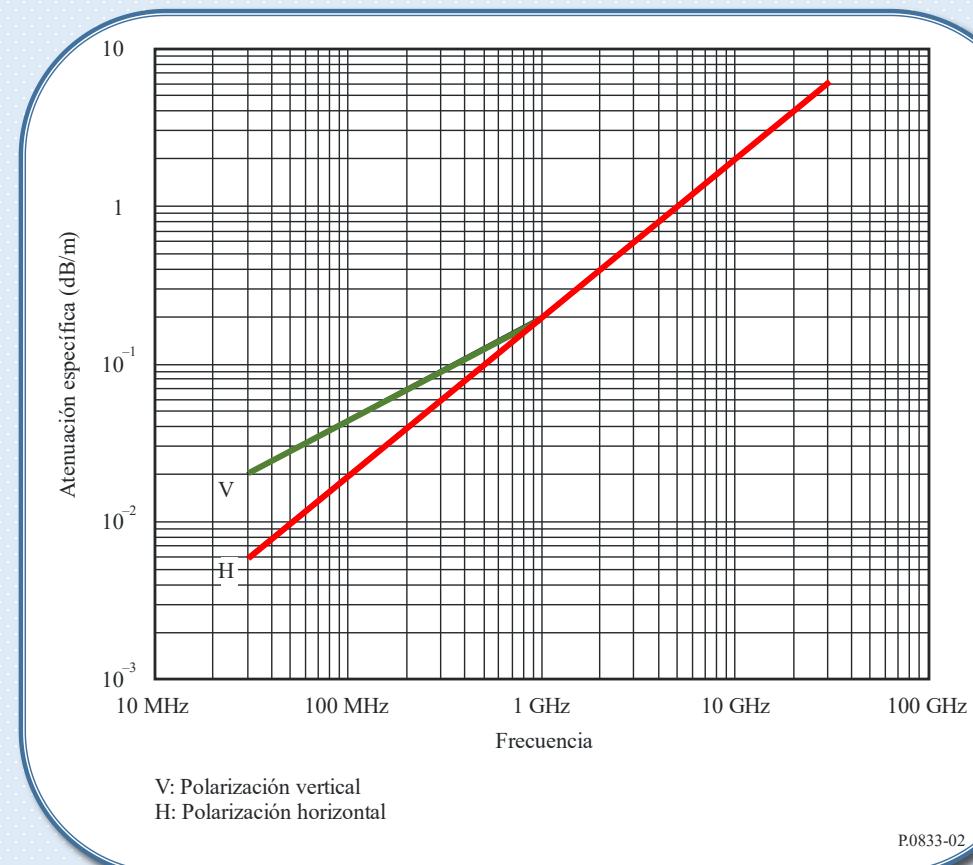
## 8. VEGETACIÓN

- Trayecto terrenal con un terminal en zona boscosa



$$L_v = A_m \left( 1 - \exp \left( -\frac{d\gamma}{A_m} \right) \right)$$

$$A_m = A_1 \cdot f(\text{MHz})^\alpha = (\text{Mulhouse, Francia}) = 1,15 \cdot f(\text{MHz})^{0,43}$$



# 8. VEGETACIÓN

- Trayecto oblicuo espacial

$$L_v = Af^B d^C (\theta + E)^G = (\text{Austria}) = 0,25f^{0,39}d^{0,25}\theta^{0,05}$$

- Trayecto por un obstáculo vegetal

$$L_e \left\{ -10 \log \left( 10^{-\frac{L_{difracción}^{top}}{10}} + 10^{-\frac{L_{difracción}^{lat1}}{10}} + 10^{-\frac{L_{difracción}^{lat2}}{10}} + 10^{-\frac{L_{reflexión}}{10}} + 10^{-\frac{L_{dispersión}}{10}} \right) \right\}$$

$d(\text{copia del árbol}) \cdot \gamma \rightarrow f < 1\text{GHz}$

