

# RADIOCOMUNICACIONES

## T1: PROPAGACIÓN EN ENTORNOS MOVILES

### ◦ PERDIDAS POR PROPAGACIÓN

- Espacio libre

$$P_R = P_T G_T G_R \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

- Modelo Tierra Plana

$$P_R = P_T G_T G_R \left( \frac{h_1 h_2}{d^2} \right)^2$$

$h$ : altura antenas

- Caso general

$$P_R = P_T G_T G_R / L_p$$

### ◦ DESVANECIMIENTOS LENTOS

- Determinan los límites de la zona de cobertura para que un % de ubicaciones reciban la señal correctamente.

$$\text{Prob}[P_R > P_{R0}] = \frac{1}{2} \left[ 1 + \text{erf} \left( \frac{P_{R0} - \bar{P}_R}{\sqrt{2} \sigma} \right) \right]$$

¡ Todo en dB !  
erf(-x) = -erf(x)

### ◦ DESVANECIMIENTOS RAPIDOS

- Ecos próximos  $\Rightarrow$  { Hay desvanecimientos  
No hay distorsión

- Ecos lejanos  $\Rightarrow$  Hay distorsión: ISI

### ◦ Correlación entre señales, y coherencia

Correlación de dos tonos separados  $\Delta f$  [Hz]

$$P(\Delta f) = \mathcal{F}\{P(\tau)\} = \frac{1}{1 + j 2\pi \Delta f \cdot D}$$

Tiempo de coherencia

$$\tau_c = \frac{1}{4.13 v/\lambda}$$

$f_m = \frac{v}{\lambda}$  doppler

### ◦ Entrelazado

$$\begin{bmatrix} 0 & \dots & M-1 \\ \vdots & & \vdots \\ N-1 & \dots & N-1, H-1 \end{bmatrix}$$

$$\text{Retardo máx} = 2MN \cdot T_b$$

$$\text{Condición} \quad N \cdot T_b \geq \tau_c$$

### ◦ Propagación multicamino

$$r(t) = s(t) + s(t+\tau) \Rightarrow H(f) = 1 - e^{-j\omega\tau} \Rightarrow$$

$$|H(f)| = \left| 2 \cos\left(\frac{\omega\tau}{2}\right) \right|$$

## T2: TÉCNICAS DE INGENIERÍA DE RADIO

### ◦ INFLUENCIA DE LOS DESVANECIMIENTOS RAYLEIGH

|      | $P_b$ (Gaussiano)                          | $P_b$ (Rayleigh) $\gamma \gg 1$ | $\gamma$                    | $\gamma = \frac{P_s}{P_n + P_i}$ |
|------|--|---------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| BPSK | $\frac{1}{2} \text{erfc}(\sqrt{\gamma})$   | $\frac{1}{4\gamma}$             | $\gamma = \frac{E_b}{N_0}$  |                                  |
| QPSK | $\frac{1}{2} \text{erfc}(\sqrt{\gamma/2})$ | $\frac{1}{2\gamma}$             | $\gamma = \frac{2E_b}{N_0}$ |                                  |

### ◦ DIVERSIDAD

- Diversidad por selección (2 ant, QPSK)  $\Rightarrow P_b = \frac{3}{2\gamma^2}$
- Diversidad por combinación ( " " )  $\Rightarrow P_b = \frac{3}{4\gamma^2}$
- En general (Diversidad orden M)  $\Rightarrow P_b \propto \frac{1}{\gamma^M}$

## T3: SISTEMAS CELULARES FDMA/TDMA



celula  
cluster

El BW total se reparte entre las celulas de un clusters.  
Los clusters reutilizan frecuencias.

$$CIR = \frac{P_u}{P_i} = \frac{1}{6} \left( \frac{D}{R} - 1 \right)^\alpha$$

$\alpha$ : depende modelo canal

D: Distancia entre celulas que usan las mismas frec.

6: # celulas a distancia D que usan las mismas frec.

R: Radio de una celula

- Relación entre k=cel/cluster y CIR

Solo son k validos si  $K = u^2 + v^2 + u \cdot v$   $u, v \in \mathbb{N}$

$$K = \frac{1}{3} \left[ 1 + (n \cdot CIR)^{1/\alpha} \right]^2$$

n=6 Antenas omni  
n=2 " " sectoriales 120°

$$D = \sqrt{3K} \cdot R$$

### ◦ TRAFICO Y CAPACIDAD

$$m = \frac{B_T / B_c}{K} \text{ [ch/cell]}$$

$$m_s = \frac{m_1}{Q_u \cdot T_s / 3600} \text{ [users/cell]}$$

$m_1$  (m, Prob. bloc) : Tablas Erlang - B

$T_s$  = Duración media llamadas

$Q_u$  = Llamadas usuario/hora

## \* Resolución de un ejercicio típico (pasos)

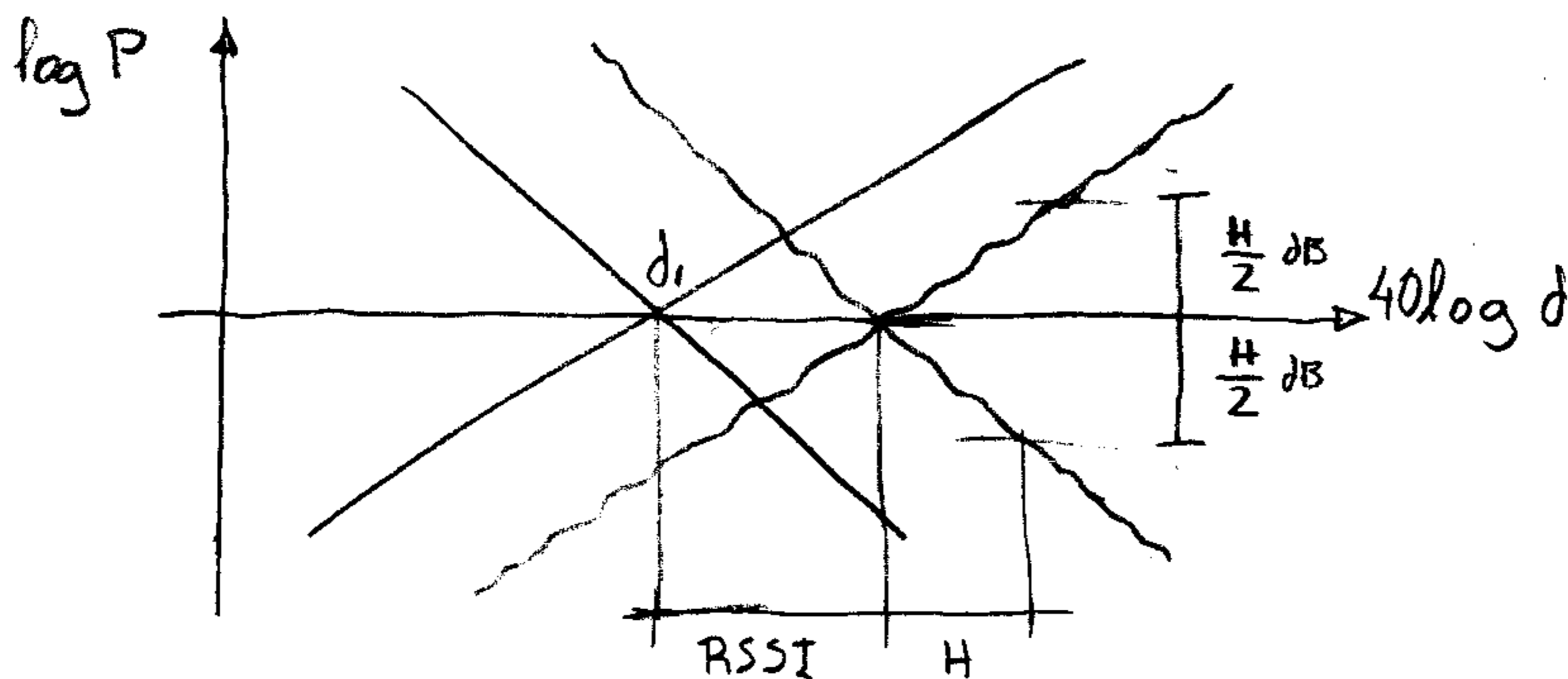
$$a/ P_b \rightarrow \gamma_0 \rightarrow \text{SNR, CIR} \xrightarrow{P_N} P_{R_0} \xrightarrow{\text{Cobertura}} \bar{P}_R \rightarrow P_T$$

$$b/ \text{CIR} \rightarrow K \rightarrow m \xrightarrow{\text{Tablas Er-B}} m_1 \rightarrow m_2 =$$

## 14: HANDOVER Y MOVILIDAD

$$\text{Dispersión}^2 = \frac{1}{N} 557^2 + \frac{G_s}{N} \left( 1 + \sum_{n=1}^N \left( 1 - \frac{n}{N} \right) \frac{\sin(2\pi f_m n T_i)}{2\pi f_m n T_i} \right)$$

Dispersión y  $G_s$  en dB  $\triangle$



$$T_{\text{RSSI}} = T_2 = N T_i$$

$$T_h = \frac{d_1}{v} \left( 10^{\frac{H/2}{40}} - 1 \right)$$

### Probabilidad de handover

$$P_h = \frac{T_s \cdot v}{2R} \left( 1 - e^{-\frac{2R}{T_s \cdot v}} \right)$$

$$P_{\text{drop}} = \frac{P_h P_{Bh}}{1 - P_h(1 - P_{Bh})}$$

$$\bar{n}_h \approx \frac{\lambda_h}{\lambda_a} = \frac{P_h(1 - P_{Bh})}{1 - P_h(1 - P_{Bh})}$$

[handovers / llamada]

$$\rho_{\text{tot}} = \rho_a + \rho_h = (\lambda_a + \lambda_h) T_s (1 - P_h) \quad \text{tráfico total}$$

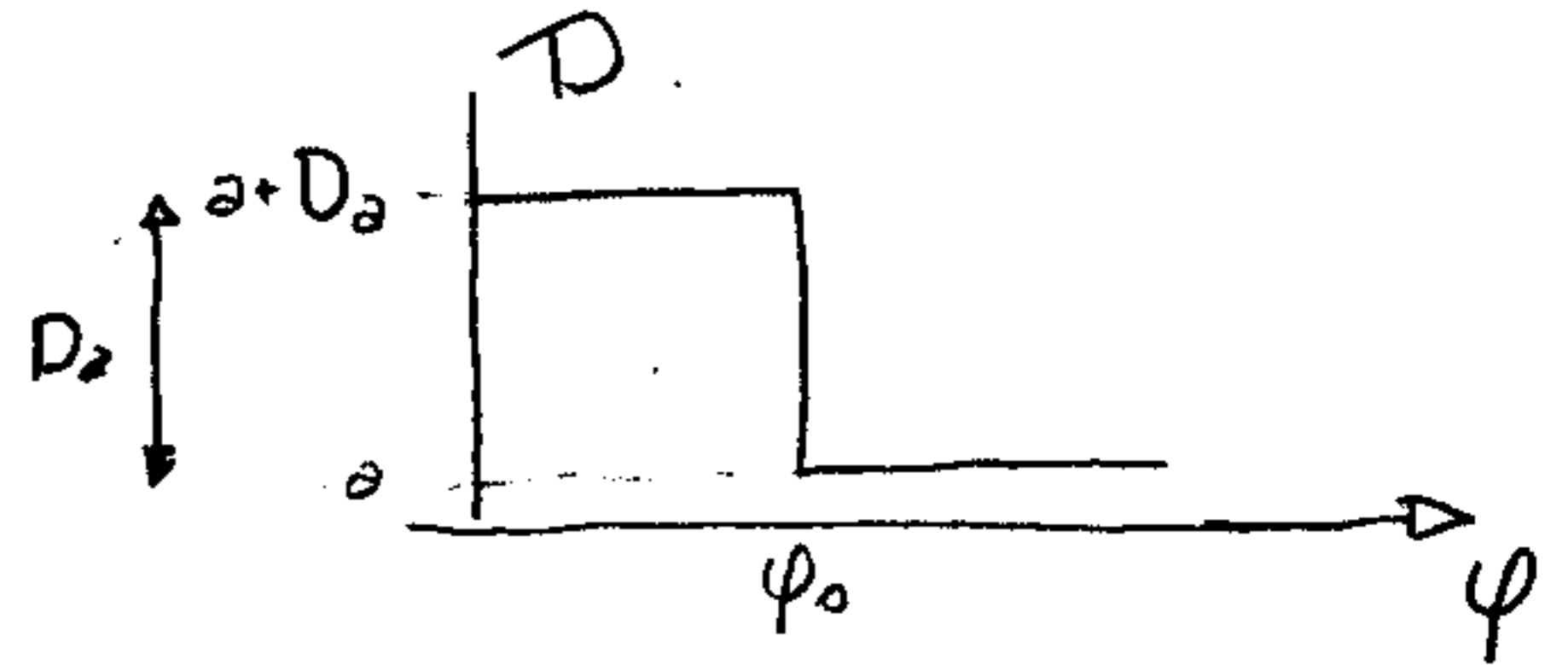
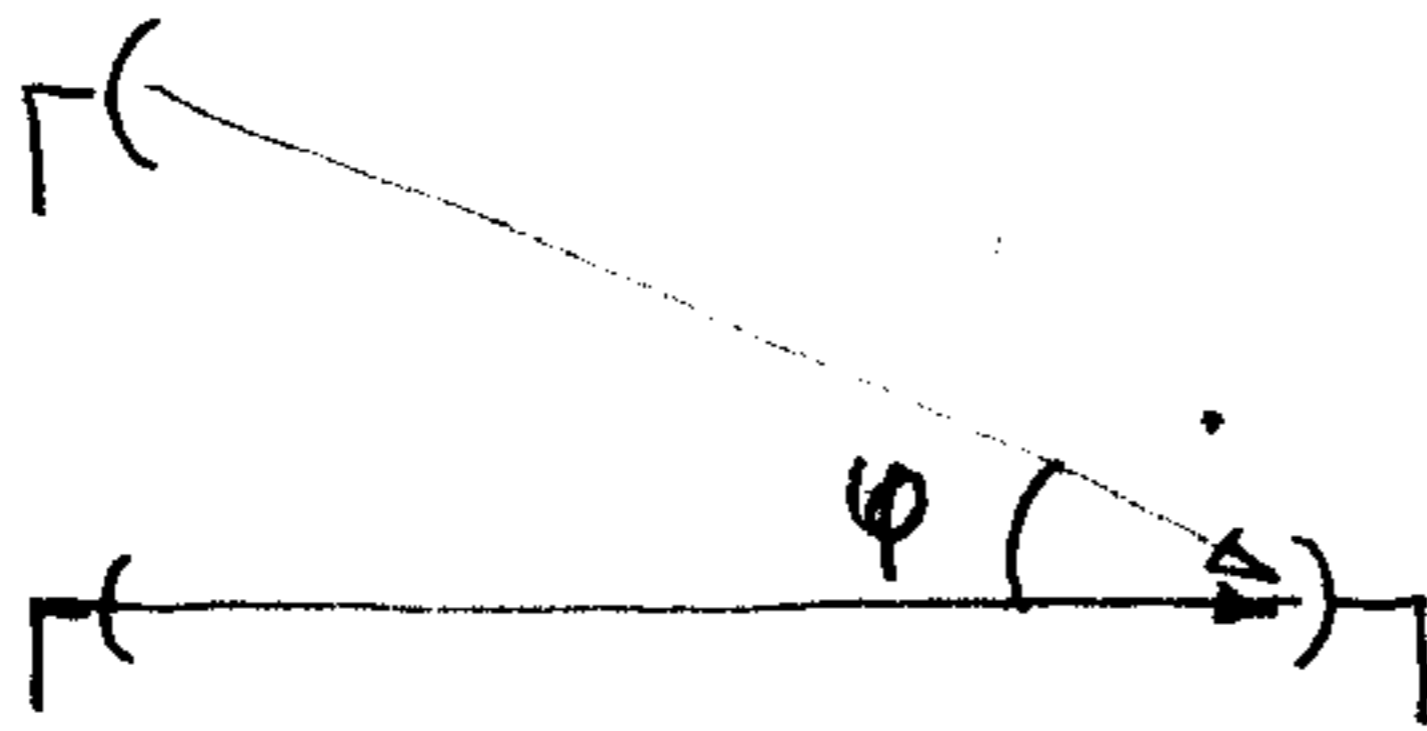
$$\lambda_a = Q_u \cdot N \text{ users}$$

$$P_b = \frac{\rho^s}{s! \sum_{n=0}^s \frac{\rho^n}{n!}}$$

$s$ : # estaciones  
 $\rho$ :  $\lambda T_s$   $\bar{n}$  users en el sistema

# T6: RADIOENLACES

## • Cálculo del enlace



$$P_U = P_T \frac{G_T G_R}{\alpha_T \alpha_R} \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \frac{1}{\Delta f}$$

$$P_I = P_T \frac{G_T G_R}{\alpha_T' \alpha_R'} \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

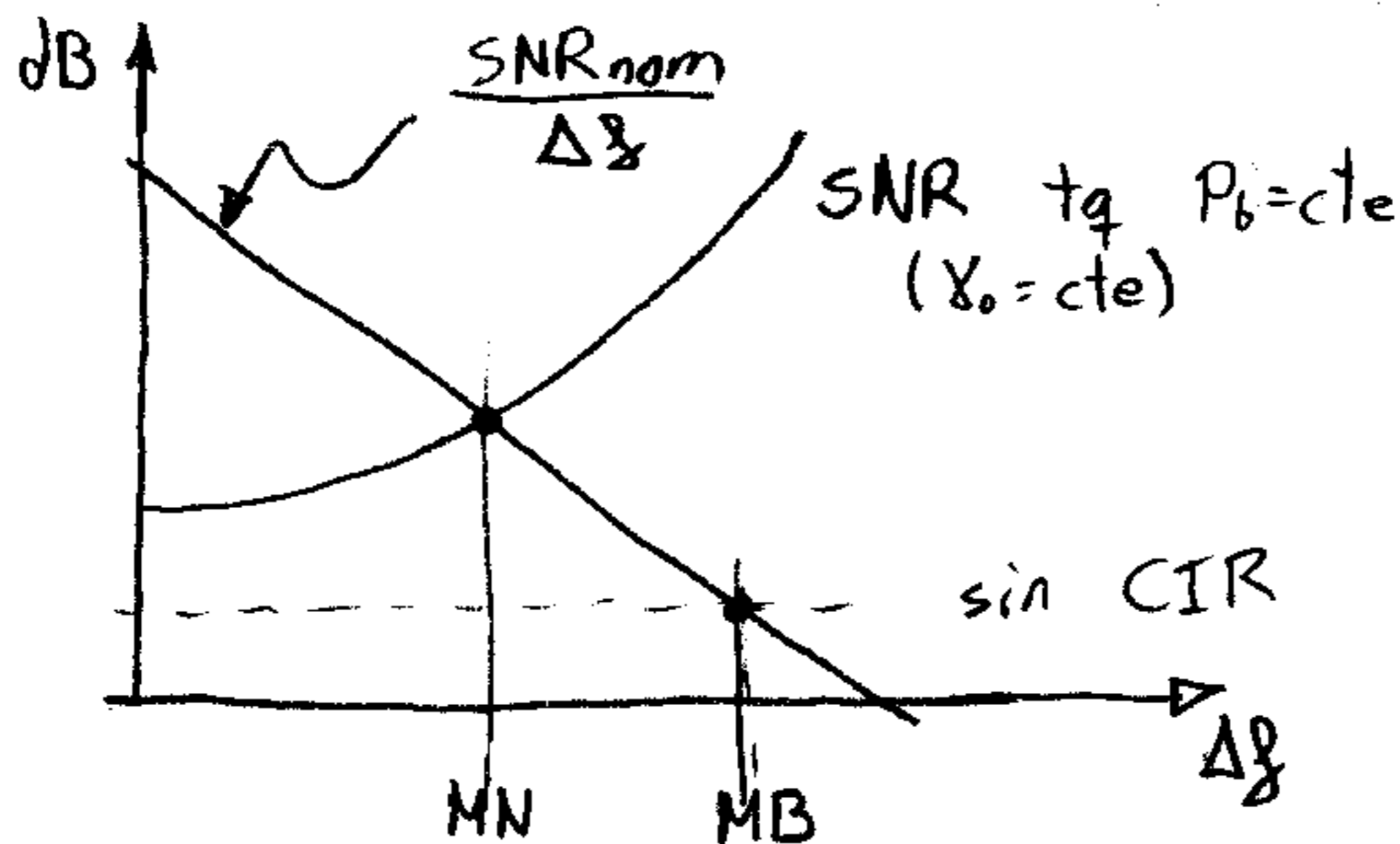
- Si las antenas tienen discriminación angular (emisor - receptor no se apuntan directamente)

$$\alpha = D_a(\psi) \quad (\text{En la antena que no apunte a la otra})$$

- Si las antenas tienen discriminación por polarización

$$\alpha = D_p / \sqrt{\Delta f} \quad (\text{A no ser que se especifique otra cosa})$$

(Se pone solo en la ant. receptora)



|   |
|---|
| $X_0 = \text{SNR} \Big _{\Delta f = \text{MB}}$                             |
| $X_0^{-1} = \text{SNR}^{-1} + \text{CIR}^{-1} \Big _{\Delta f = \text{MN}}$ |

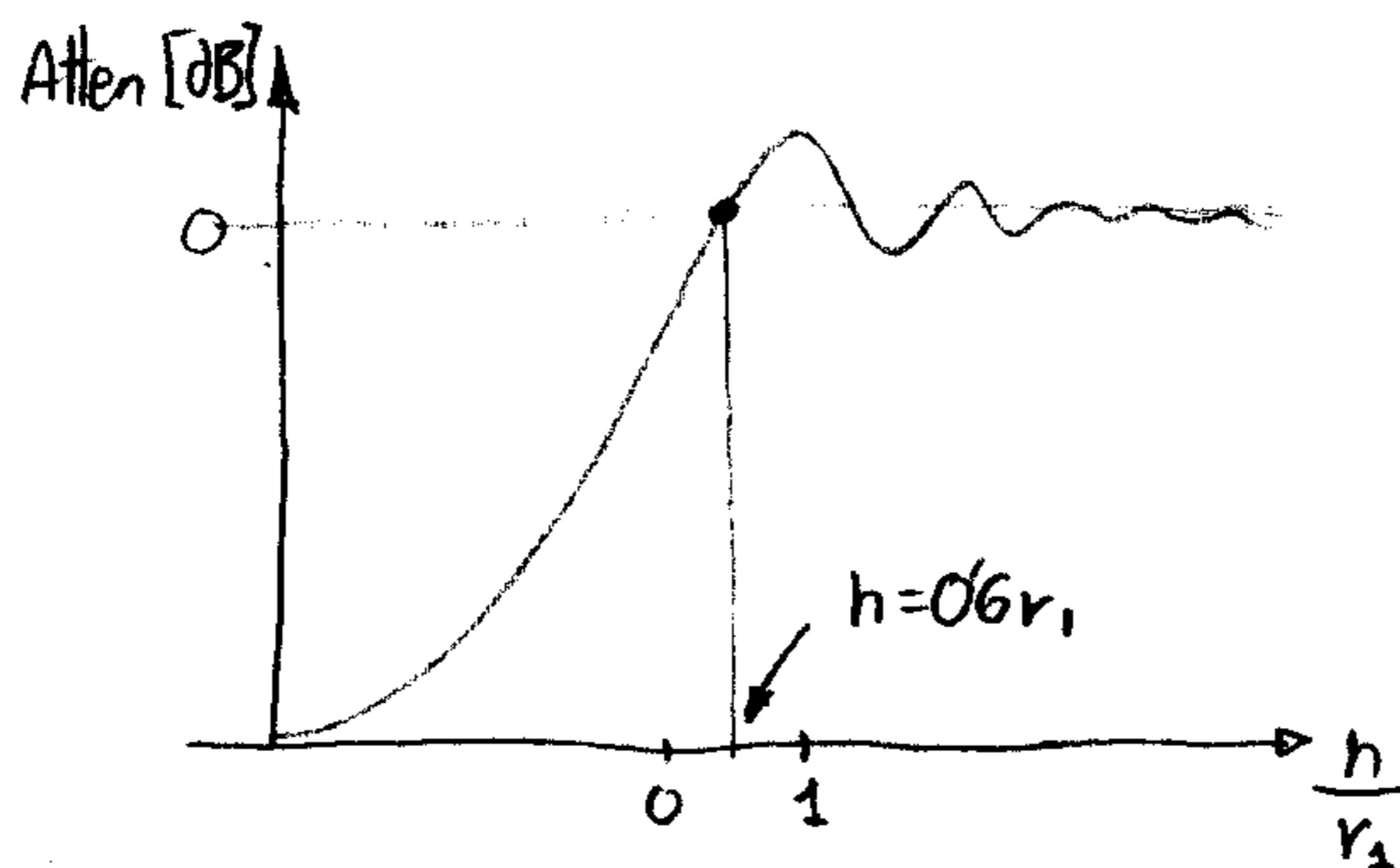
## ◦ Propagación troposférica

- Para poder considerar una trayectoria rectilínea de las ondas hemos de suponer un radio terrestre ficticio.

$$\boxed{R = K \cdot R_0}$$

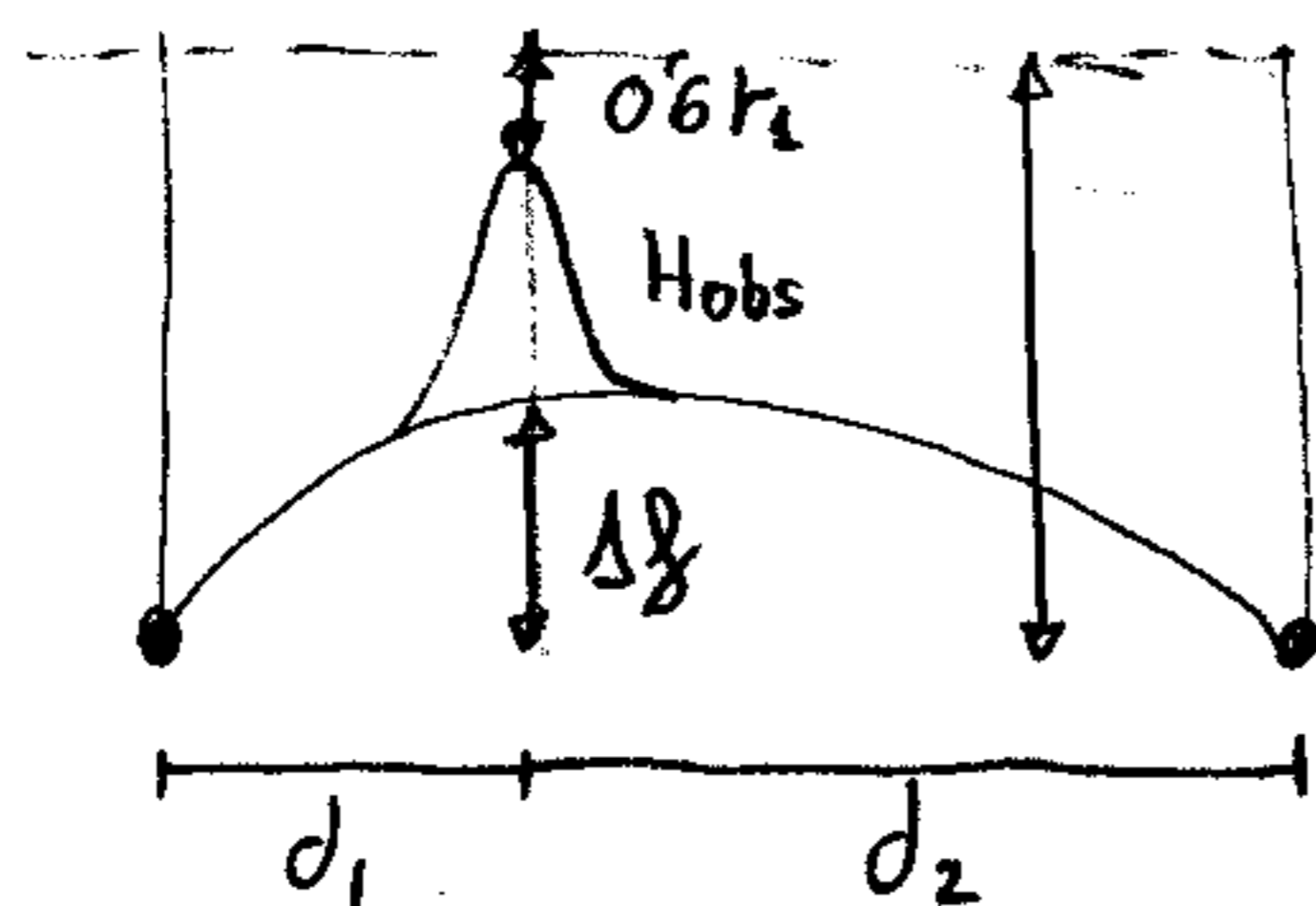
$K = 0.6$  peor caso

## - Difracción



Radio de Fresnel

$$\boxed{r_1 = \sqrt{\lambda \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}}}$$



Condición de diseño

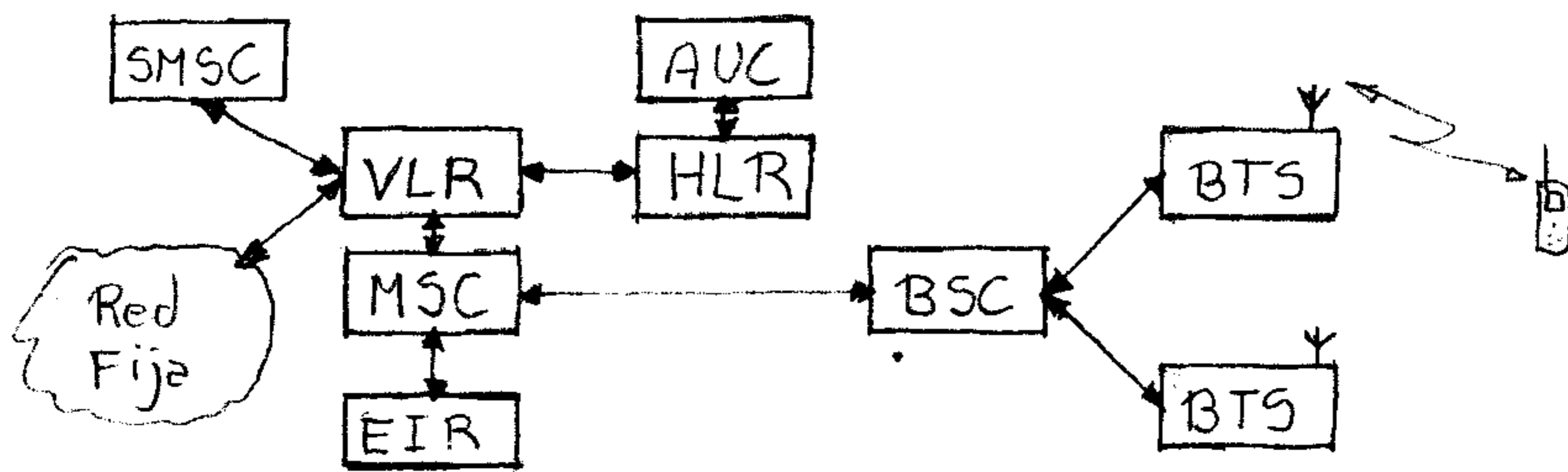
$$\boxed{h \geq 0.6r_1 + \Delta f + H_{obs}}$$

$$\boxed{\Delta f = \frac{d_1 d_2}{R} = \frac{d_1 d_2}{K R_0}}$$

## - Rayo reflejado

$$\Delta t = \frac{2hmhb}{d}$$

# 15: SISTEMA GSM

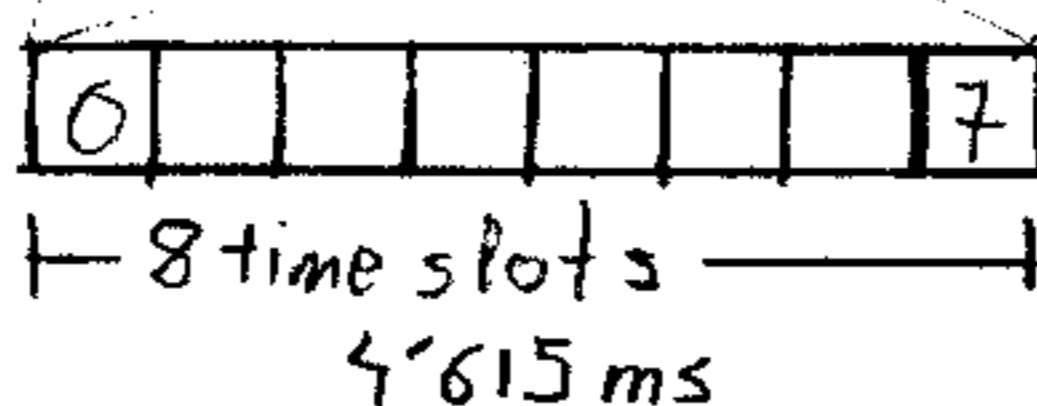
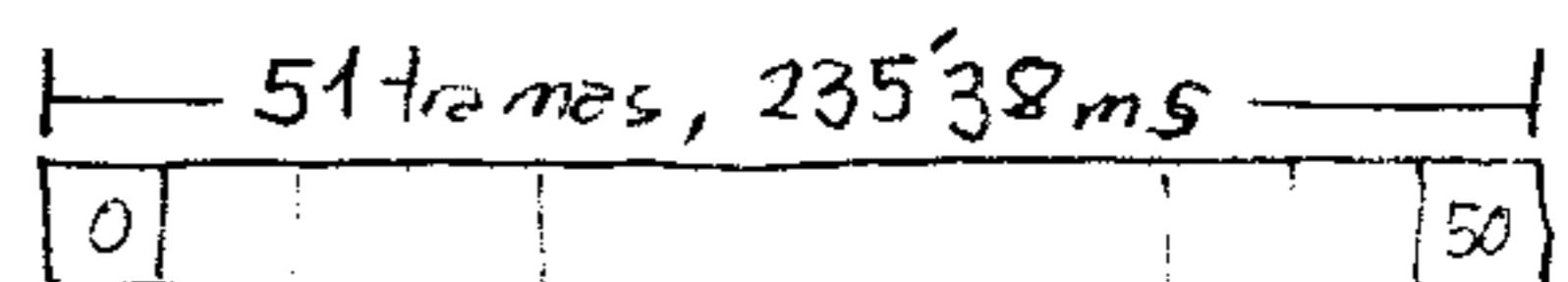
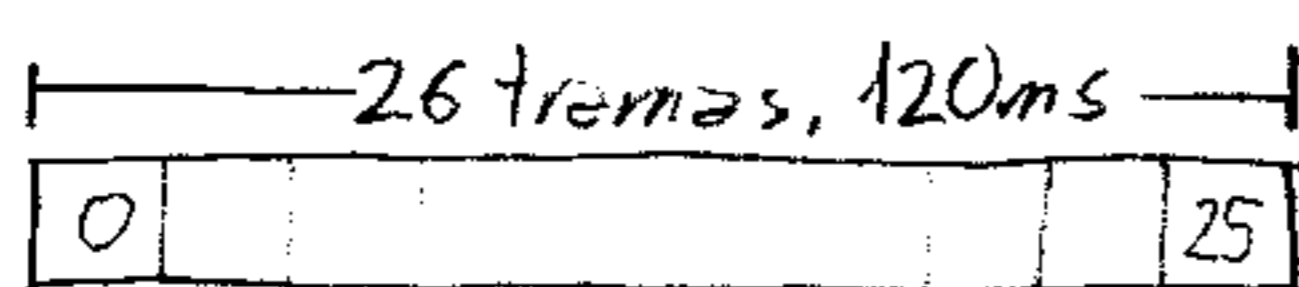


- BTS: Transmisión-recepción y procesamiento de la señal recibida, Realiza el control de potencia y sincronización
- BSC: Gestión y control de BTS, asignación de canales móvil-red, HO entre BTS.
- MSC: Central responsable del control de llamada (Enrutado, facturación, gestión de movilidad)
- HLR: Registro de localización de abonados
- VLR: Registro de localización de visitantes, Contiene info de los abonados que se encuentran en el área de localización controlada por el MSC.
- AUC: Centro de autenticación (Cifrado conversaciones)
- EIR: Registro de identificación de equipos niega la conexión a móviles robados o defectuosos
- SMSC: Centro de servicio de mensajería

## o Bandas de frecuencia

- Sistema dúplex (emisión-recepción en distintas frec)
- 125 radiocanales bidireccionales.
- 8 slots por radiocanal.

## o Estructura de las tramas en el sistema GSM



1 slot  $\Rightarrow$  546,12  $\mu$ s, 1486  
 1146 info  $\Rightarrow$  24,7 kbps

# 17: CDMA

$$G_p = \frac{T_b}{T_c}$$

$T_b$ : tiempo de bit  
 $T_c$ : tiempo de chip  
 $G_p$ : Ganancia de procesamiento

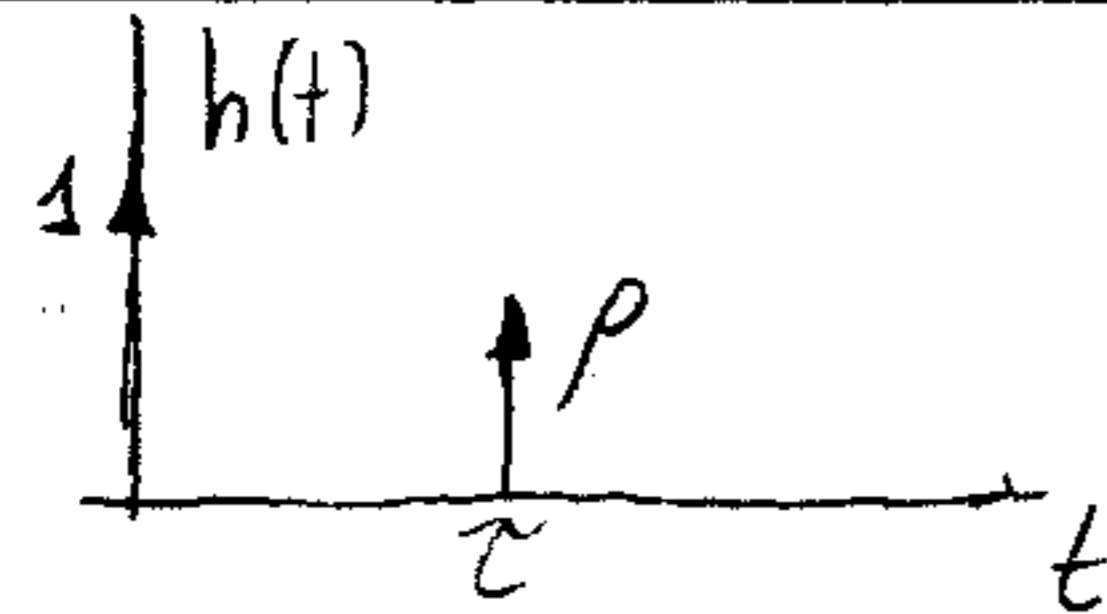
$$N \approx \frac{G_p}{E_b/N_0 (1+i)}$$

Cota pesimista para el num de usuarios  
(con control instantáneo de pot)  
 $i = 0.6$  (interferencia intercelular)

## • Receptor RAKE

Combina de forma constructiva los ecos lejanos

$$P_b = \frac{1}{2} \left( 1 - \operatorname{erfc} \sqrt{\gamma_1 + \gamma_2} \right)$$



$$\gamma_1 = \frac{1 P^2 T_b}{2 N_0}$$

$$\gamma_2 = \frac{1 \cdot T_b}{2 N_0}$$

## • Conceptos de planificación

$$\left( \frac{E_b}{N_0} \right)_j = \frac{W}{R_j} \cdot \frac{P_j}{I_{TOT} - P_j}$$

$P_j$ : Potencia recibida del user  $j$   
 $I_{TOT}$ : Pot de todas los user + noise  
 $W$ : Bda total  
 $R_j$ : velocidad user  $j$

$$P_j \triangleq L_j \cdot I_{TOT}$$

$$I_{TOT} - P_N = (1+i) \sum_{j=1}^N v_j P_j$$

$v_j$ : Factor de actividad del user  $j$

$$\eta_{UL} = (1+i) \sum_{j=1}^N v_j L_j$$

Factor de carga

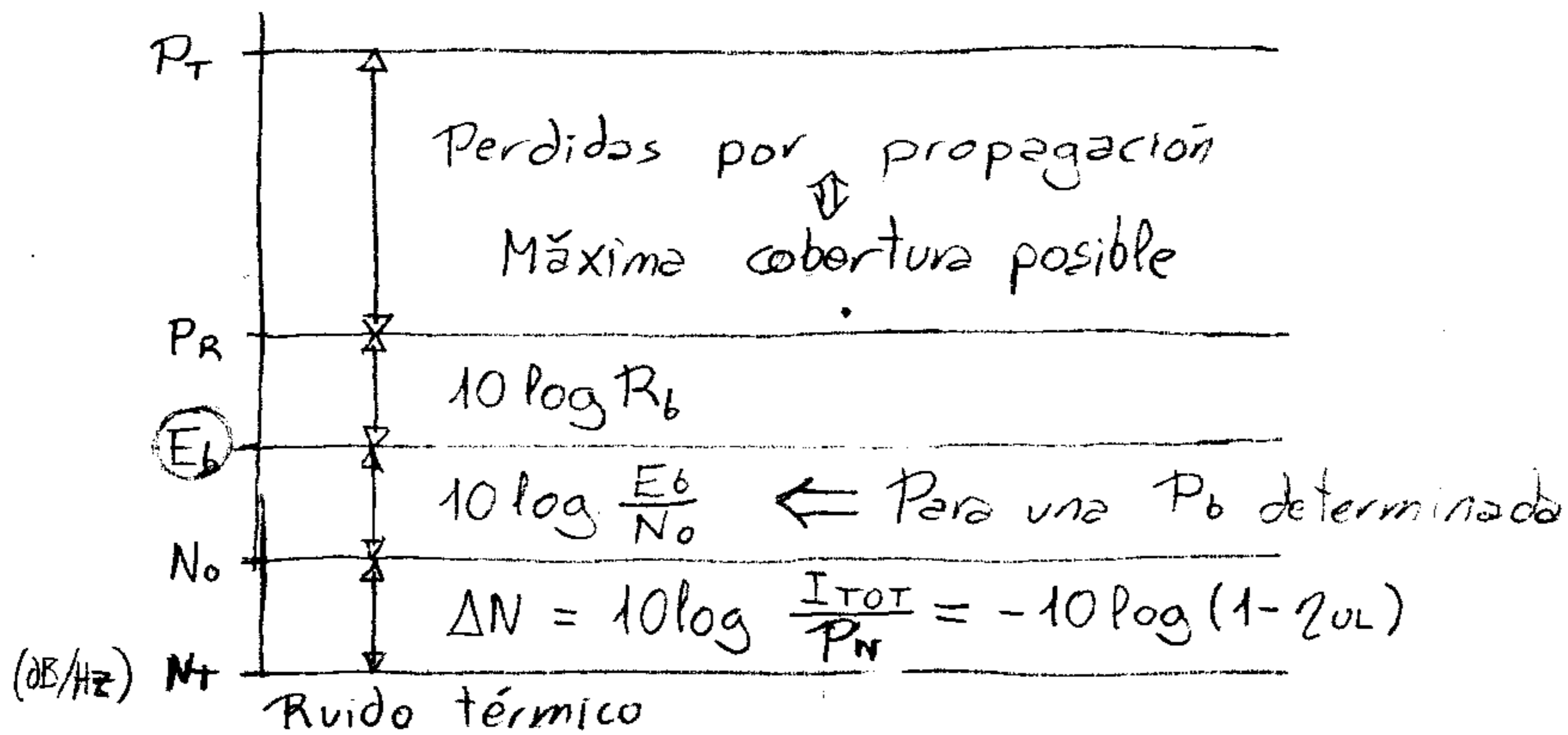
$$\Delta N = \frac{I_{TOT}/W}{P_N/W} = \frac{1}{1 - \eta_{UL}}$$

Margen de interferencias

$$N \approx \eta_{UL} \frac{W/R_b}{E_b/N_0} \frac{1}{(1+i)v}$$

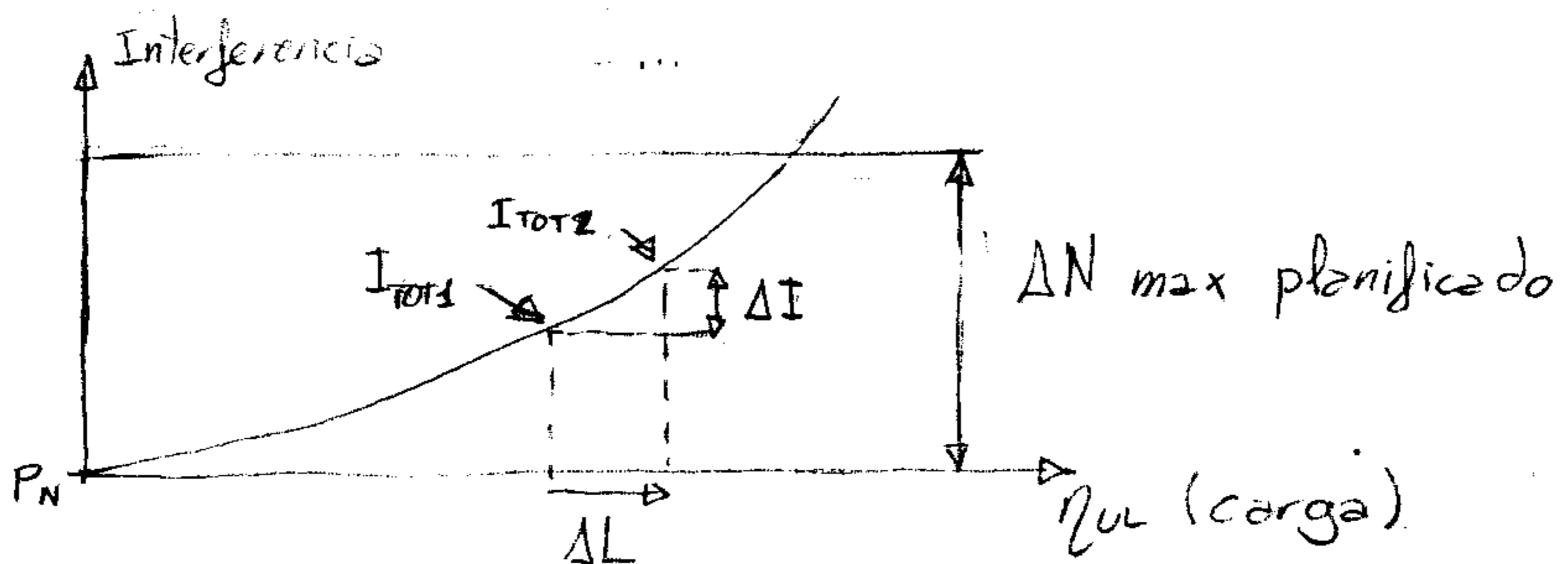
$$\eta_{UL} = (1+i) \sum_{j=1}^N v_j \cdot \frac{1}{1 + \frac{W/R_b}{E_b/N_0}}$$

## - Balance de potencias



## o Control de admisión

Un usuario se admite si:  $I_{old} + \Delta I < I_{th}$



$$\Delta I = \frac{I_{TOT1}}{1 - \eta - \Delta L} \Delta L$$

$$\Delta L = v \frac{1}{1 + \frac{W/R_b}{E_b/N_0}}$$