

Resúmenes de *Sistemas de Transmisión*

¿Te han servido estos apuntes?

Para sugerencias, agradecimientos o para comunicar erratas, escríbeme a:

luciano@loociano.com



Usted es libre de



copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra



hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes



Reconocimiento. Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciador (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o apoyan el uso que hace de su obra)

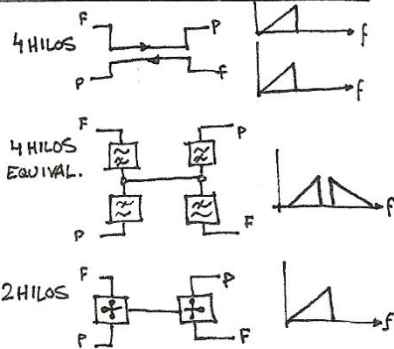
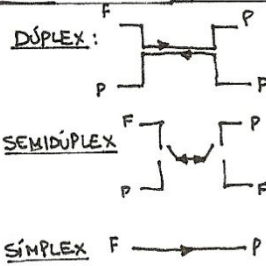


No comercial. No puede utilizar esta obra para fines comerciales

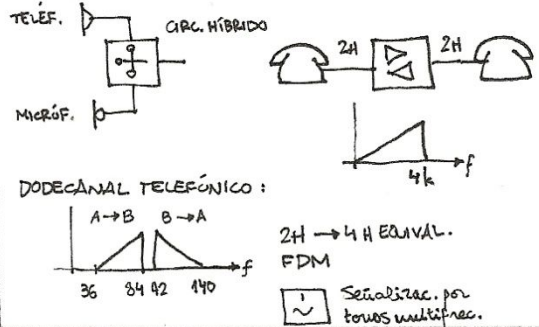


Compartir bajo la misma licencia. Si altera o transforma esta obra, o genera una obra derivada, sólo puede distribuir la obra generada bajo una licencia idéntica a ésta

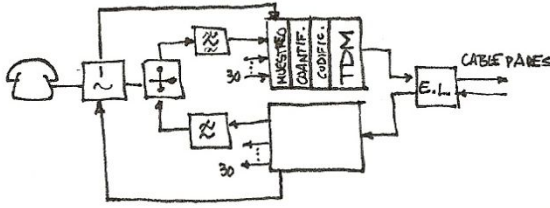
STTR: ① INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN:



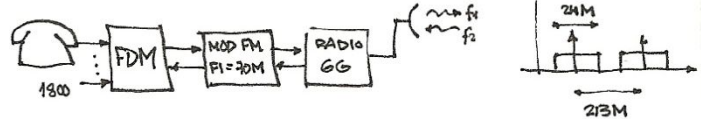
SISTEMA DE TELEFONÍA (BF)



SISTEMA MIC 30 CANALES:



RADIOENLACE 1800 CANALES:



DECIBELIO [dB]

$$A[\text{dB}] = 10 \log \frac{P_2}{P_1} = 20 \log \frac{U_2}{U_1} = 20 \log \frac{U_2}{U_1} + 10 \log \frac{R_1}{R_2}$$

$R_1 \neq R_2$

Para $R = 600 \Omega$

$$L[\text{dBm}] = L[\text{dBu}]$$

Para $R \neq 600 \Omega$

$$L[\text{dBm}] = L[\text{dBu}] + 10 \log \frac{600}{R}$$

NEPERIO [Np]

$$A[\text{Np}] = \ln \frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{2} \ln \frac{P_2}{P_1}$$

$$20 \log \frac{U_2}{U_1} = 8.7 \ln \frac{U_2}{U_1} \Rightarrow 1 \text{ Np} = 0.7 \text{ dB}$$

$$1 \text{ dB} = 0.115 \text{ Np}$$

NIVELES RELATIVOS:

$$L[\text{dB}] = 10 \log \frac{P_2}{P_1}$$

Punto de referencia: 0 dB [PNRO]

$$L[\text{dBm}] = L[\text{dBm0}] + L_r[\text{dB}]$$

NIVELES:

$$L[\text{dBm}] = 10 \log \frac{P_2[\text{mW}]}{1 \text{ mW}}$$

$$L[\text{dBW}] = 10 \log \frac{P[\text{W}]}{1 \text{ W}}$$

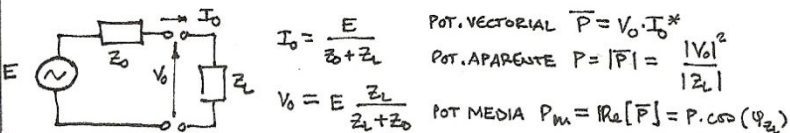
$$L[\text{dBu}] = 20 \log \frac{U[\text{V}]}{0.775 \text{ V}}$$

$$L[\text{dB}\mu] = 20 \log \frac{E[\text{V/m}]}{1 \mu\text{V/m}}$$

$$L_I[\text{dB}(\text{pW/m}^2)] = 10 \log \frac{I[\text{W/m}^2]}{10^{-12} \text{ W/m}^2}$$

$$L_p[\text{dB}(20 \mu\text{Pa})] = 20 \log \frac{P[\text{Pa}]}{2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}}$$

ADAPTACIÓN IMPEDANCIAS:



LUCIANO
RUBIO
ROMERO
HOJA 1/6

• ADAPTACIÓN CONJUGADA:

$$P_m = \frac{|E|^2}{4R_0} \quad Z_L = Z_0^* \quad \frac{V_0}{E} = \frac{Z_L}{Z_0 + Z_L} = \frac{Z_0^*}{2R_0}$$

En conjunto Impedancia Real.

• ADAPTACIÓN IMAGEN:

$$P_m = \frac{|E|^2}{4R_0} \quad Z_L = Z_0 \quad \frac{V_0}{E} = \frac{Z_L}{Z_0 + Z_L} = \frac{Z_0}{Z_0 + Z_0} = \frac{1}{2}$$

• DESADAPTACIÓN:

$Z_L \neq Z_0$

ATENUACIÓN DE RETORNO: $A_r[\text{dB}] = -20 \log |r|$

$r = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$

PÉRDIDAS POR REFLEXIÓN: $R[\text{dB}] = -10 \log |1 - r^2| = 20 \log \left| \frac{Z_L + Z_0}{2\sqrt{Z_L Z_0}} \right|$

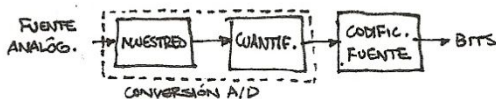
$I_0 = I_L (1 - r)$

$V_0 = V_L (1 + r)$

$P = P_L |1 - r^2|$

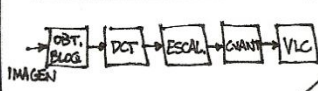
② FUENTES DE INFORMACIÓN:

CODIFICACIÓN DIGITAL DE SEÑALES ANALÓGICAS:

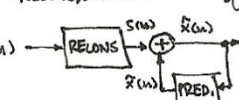


- CODIFICACIÓN DE FUENTE (Reducción n° bits, Huffman...)
- CODIFICACIÓN DE CANAL: Redundancia de bits frente a errores. RS (32,28)
- MODULADOR

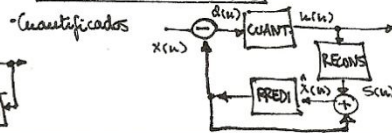
CODIFICADOR DCT PARA BLOQUES 8x8



• Reconstruidos:



CODIFICADORES PREDICTIVOS:

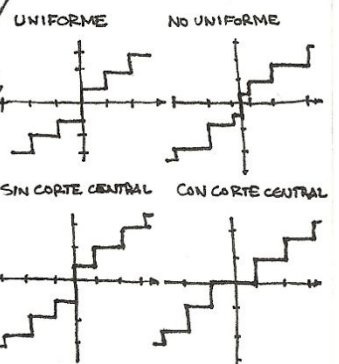
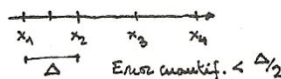


- MUESTREO: ① LPF → $x_d(n) = x_f(nT_s)$, $T_s = \frac{1}{f_s}$ NYQUIST $f_s \geq 2f_{\text{max}}$
- ② $y_p(n) = \sum_{k=1}^N y_d(n-k) \rightarrow \text{LPF}$ (INTERPOLACIÓN)

• CUANTIFICACIÓN:

- INTERVALOS DE CUANTIF (I_1, I_2, \dots)
- VALORES DE DECISIÓN (Pérdida irreversible de info)

ERRORES CUANTIFICAC.



SEÑAL DE AUDIO:

Intensidad, Tono, Timbre

Banda vocal Estrecha: 4 kHz

Banda vocal Ancha: 7 kHz

Banda ancha monaural: 7 kHz (AM), 15 kHz (FM)

Banda ancha Estéreo [2x15 kHz (FM), 2x20 kHz (CD)]

Audio digital sin compresión: CD { 44,1 kmuestras/s
16 bits/muestra Estéreo } $R = 44,1 \cdot 16 \cdot 2 = 1,41 \text{ Mbps}$

Audio Digital TV-Analog. { 32 kmuestras/s
14 bits/muestra Estéreo } $R = 2 \cdot 32 \cdot 10 = 640 \text{ kbps}$

INTENSIDAD SONORA:

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} = 120 + 10 \log I [W/m^2]$$

PRESIÓN ACÚSTICA:

$$I = \frac{P^2}{Z} \quad Z: \text{Impedancia acústica} [Rayl] = \left[\frac{kg}{m^2s} \right] \quad L_p = 20 \log \frac{P}{P_0} = 94 + 20 \log P [Pa]$$

SEÑAL VOCAL:

Energía [100 Hz - 7-8 kHz]

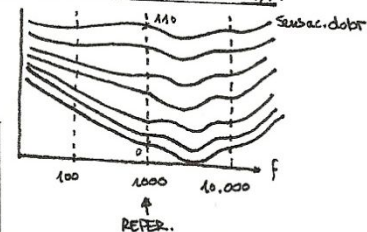
PITCH: { Hombre: 50 Hz - 250 Hz
Mujer: 120 Hz - 500 Hz

RESPUESTA DEL OÍDO HUMANO:

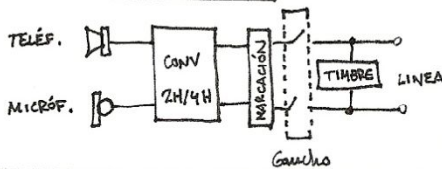
Frec. apreciables: 20 Hz - 20 kHz

Máx. Sensibilidad: 1 kHz - 3 kHz

INTENSIDAD SONORA SUBJETIVA:



EL TERMINAL TELEFÓNICO:



MICRÓFONO:

Sensibilidad

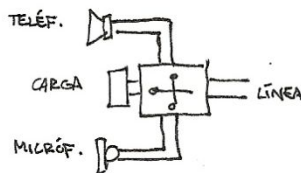
$$S [dB(V/Pa)] = 20 \log \frac{V}{P}$$

TELÉFONO:

Sensibilidad:

$$S [dB(Pa/V)] = 20 \log \frac{P}{V}$$

CIRCUITO DE CONVERSACIÓN:



PERCEPCIÓN HUMANA DE CODIFICACIÓN:

- Distintos frecuencia, distinta importancia
- Enmascar. simultáneo: un sonido de dist. frecuencia tapa a otro si se escucha más
- Enmascaramiento temporal: un sonido posterior tapa a otro si se percibe más fuerte.

MIC: Pulse Code Modulation (PCM)

- Muestras: 8 kmuestras/s
- Filtro Paso Bajo $f_c = 3400 \text{ Hz}$
- Cuantificación: no uniforme (SNR indep. de la señal)
- Codificación de fuente: 8 bits por muestra (luego se invierten los bits pares)

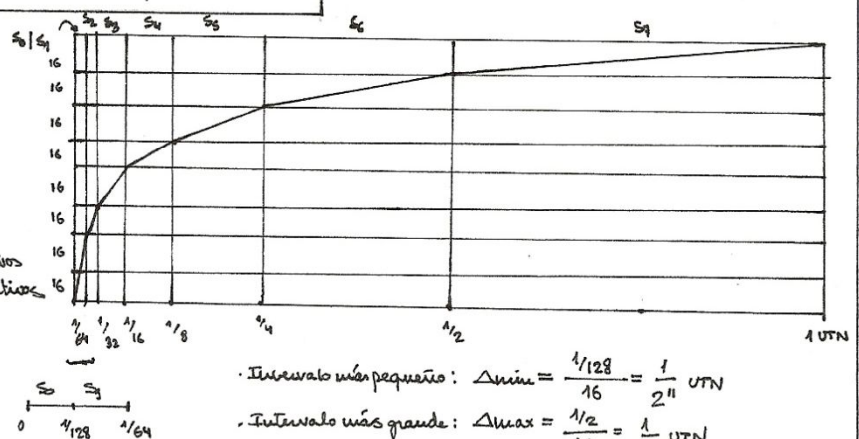
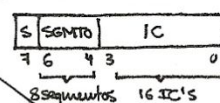
ley A con 13 tramos simétricos { $[6 + \frac{1}{2}]$ positivos
 $[6 + \frac{1}{2}]$ negativos

$$\text{ley A} \begin{cases} \frac{1 + \ln(A|x|)}{1 + \ln A} \text{ signo}(x) & \frac{1}{A} \leq |x| \leq 1 \\ \frac{Ax}{1 + \ln A} & 0 \leq |x| \leq \frac{1}{A} \end{cases}$$

Cada tramo dividido 16 IC

$$1 \text{ UTN} = \frac{V}{V_{\max}}$$

TRAMA MIC:



$$\text{Intervalo más pequeño: } \Delta_{\min} = \frac{1/128}{16} = \frac{1}{2^{11}} \text{ UTN}$$

$$\text{Intervalo más grande: } \Delta_{\max} = \frac{1/2}{16} = \frac{1}{2^5} \text{ UTN}$$

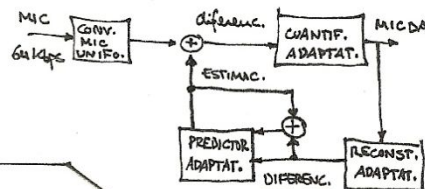
| Δ | S_0/S_1 | S_2 | S_3 | S_4 | S_5 | S_6 | S_7 |
|----------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| | $\frac{1}{2^7} \cdot \frac{1}{2^4}$ | $\frac{1}{2^6} \cdot \frac{1}{2^4}$ | $\frac{1}{2^5} \cdot \frac{1}{2^4}$ | $\frac{1}{2^4} \cdot \frac{1}{2^4}$ | $\frac{1}{2^3} \cdot \frac{1}{2^4}$ | $\frac{1}{2^2} \cdot \frac{1}{2^4}$ | $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2^4}$ |

MICDA:

- Codificación predictiva
- Predicción adaptativa hacia atrás
- Cuantific. no uniforme

CODIFICADOR:

32 niv. → 5 b/muestra → 40 kbps
16 niv. → 4 b/muestra → 32 kbps
8 niv. → 3 b/muestra → 24 kbps
4 niv. → 2 b/muestra → 16 kbps



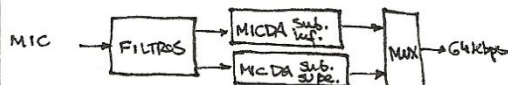
CODIFICACIÓN POR SUBBANDAS:

Voz humana B. ancha (7 kHz)

Muestras 16 kHz, 16 b/muestra

Banda 0-4 kHz

Banda 4-8 kHz



VIDEO MONOCROMO:

625 líneas, 25 imágenes/s 4:3

25 imágenes/s = 50 campos/s

625 líneas/imágenes = 312,5 líneas/campo

Periodo línea = $1/5 \cdot (25 \times 625) = 64 \mu s$

Periodo tomado = 12,05 μs

287,5 líneas visibles por campo

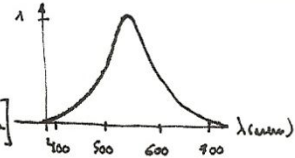
$$N^\circ \text{ elementos} = \frac{4}{3} \cdot \frac{(625 \text{ líneas} - 50 \text{ líneas})}{64 \mu s - 12,05 \mu s} = 14,76 \cdot 10^6 \text{ elementos/s} \quad f = \frac{1}{T} = \frac{N^\circ \text{ elem.}}{2} = 7,38 \text{ MHz}$$

SEÑAL DE VIDEO:

$$P_{\text{luminosa}} = \frac{N_{\text{fotones}} \cdot h \cdot f}{t} [W]$$

$$I_{\text{luminosa}} = \frac{\Phi}{\Omega} \left[\frac{\text{lumens}}{\text{esteradianios}} \right] = [\text{candelas}]$$

$$E_{\text{(iluminación)}} = \frac{\Phi}{S} \left[\frac{\text{lumens}}{m^2} \right] = [lux]$$



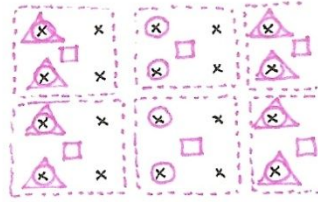
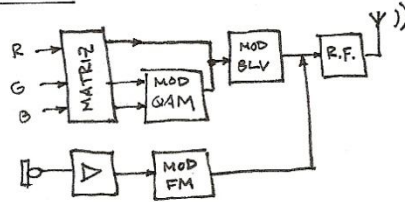
VIDEO CON COLOR:

Luminancia (brillo)
 Tonosidad → Luminancia $Y = xR + yG + zB$
 Saturación → Crominancia
 Paso al cromo $(R-Y)$
 cromo $(B-Y)$
 $(G-Y)$

4:4:4 Muestra completa RGB
 4:2:2 Completo de Y, 2:1 en Cr, Cb
 4:1:1 Completo de Y, 1:1 en Cr, Cb
 4:2:0 Completo de Y, horizontal y vertical 2:1 en Cr, Cb

$C_R = k_R(R-Y)$
 $C_B = k_B(B-Y)$

TV PAL:



X pixel } Muestra de Y
 Muestra de Cr, B en 4:4:4

O Muestra de Cr, B (4:2:2)
 (submuestreo horizontal, por fila)

△ Muestra de Cr, B (4:1:1)
 (submuestreo horizontal, por fila)

□ Muestra de Cr, B (4:2:0)
 (submuestreo horiz. y vertical, por filas y columnas)

PERCEPCIÓN HUMANA:

- Sensibilidad en función de la luminancia.
- Menor sensibilidad a la crominancia
- Eumanc. temporal:

CODIFICACIÓN PCM:

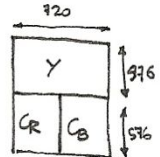
Muestras } 13,5 MHz Luminancia
 6,75 MHz Crominancia

Cuantización uniforme

Codificación de fuente: 8 bits para cada muestra de Luminancia o crominancia

SISTEMA EUROPEO: 625 líneas, 50 campos/s

- 4:2:2
- 576 líneas activas
- N° muestras/línea } 864 luminancia
 432 crominancia
- N° muestras visibles/línea activa } 720 lumin.
 360 cromin.



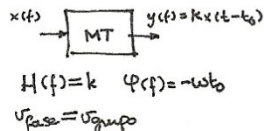
3 MEDIOS DE TRANSMISIÓN:

TX POR LÍNEA:
 Metálicas } Pares
 Coaxiales

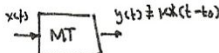
Ópticas (2 dieléctr.) $LOZ \begin{cases} 400 < \lambda < 700 \text{ (nm)} \\ 400 < f < 700 \text{ (THz)} \end{cases}$

TX POR RADIO:
 Retardo, atenuación, perturbación...

MEDIO IDEAL

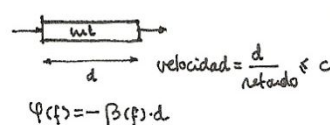


MEDIO NO IDEAL



LUCIANO
 RUBIO
 ROMERO
 H03A3/6

RETARDO (velocidad)



APLICACIÓN 1 FRECUENCIA

$$x(t) = V_0 e^{j\omega t}$$

$$y(t) = |H(f)| e^{j\omega(t - \frac{\beta(f)d}{\omega})}$$

Retardo fase

$$\tau = \frac{t_{\text{fase}}}{d} \Rightarrow v_{\text{fase}} = \frac{1}{\tau} = \frac{\omega}{\beta(f)}$$

APLICACIÓN 2 FRECUENCIAS:

$$x(t) = V_1 e^{j\omega_1 t} + V_2 e^{j\omega_2 t}$$

$$y(t) = |H(f_1)| V_1 e^{j\omega_1(t - \frac{\beta(f_1)d}{\omega_1})} + |H(f_2)| V_2 e^{j\omega_2(t - \frac{\beta(f_2)d}{\omega_2})}$$

$$t_{\text{fase1}} = \frac{\beta(f_1)d}{\omega_1} \quad t_{\text{fase2}} = \frac{\beta(f_2)d}{\omega_2}$$

APROXIMACIÓN BAJA FRECUENCIA:

(canal telefónico)

$$R \gg \omega L, G \ll \omega C$$

$$\gamma = \sqrt{j\omega RC} \quad \alpha = \sqrt{\frac{\omega RC}{2}}, \beta = \sqrt{\frac{\omega RC}{2}}$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R}{j\omega C}}$$

APROXIMACIÓN ALTA FRECUENCIA:

$R \ll \omega L, G \ll \omega C$

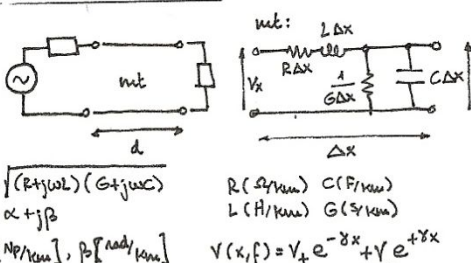
$$\gamma = j\omega\sqrt{LC}$$

$$\epsilon = j\omega\sqrt{LC} \sqrt{1 + \frac{R}{j\omega L}} \sqrt{1 + \frac{G}{j\omega C}}$$

$$\approx j\omega\sqrt{LC} + \frac{1}{2}\sqrt{LC} \left(\frac{R}{L} + \frac{G}{C} \right)$$

$j\beta \quad \alpha$

LÍNEAS TX METÁLICAS:



APLICACIÓN SEÑAL MOD. BANDA ESTRECHA:

$$x(t) = S(t) e^{j\omega_c t} \rightarrow X(f) = S(f - f_0)$$

Aproximación B. Estn. $f_0 \gg W$

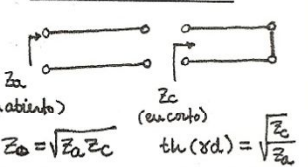
- $|H(f)| \approx |H(f_0)|$
- $\beta(f) \approx \beta(f_0) + \beta'(f_0) \cdot (f - f_0)$

$$y(t) = |H(f_0)| S(t - t_{\text{grupo}}) e^{j\omega_c(t - t_{\text{fase}})}$$

$$t_{\text{grupo}} = \frac{1}{2\pi} \beta'(f_0) \cdot d = \frac{\partial \beta}{\partial \omega} \bigg|_{\omega=\omega_0} \cdot d$$

$$v_{\text{grupo}} = \frac{t_{\text{grupo}}}{d} \quad v_{\text{grupo}} = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{\frac{\partial \beta}{\partial \omega} \big|_{\omega=\omega_0}} = \frac{\partial \omega}{\partial \beta} \bigg|_{\omega=\omega_0}$$

MEDIDA DE PARÁMETROS



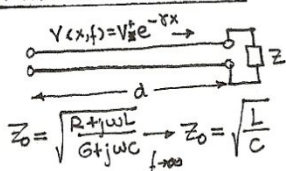
LÍNEA SIN DISTORSIÓN:

$$\frac{\partial \alpha}{\partial f} = 0 \quad \frac{\partial \beta}{\partial f} = 0 \Rightarrow RC = LG$$

Cond. Heaviside

$$\alpha = \sqrt{RG} \quad \beta = \omega\sqrt{LC} \quad Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

LÍNEA TERMINADA EN Z:



LÍNEA SIN PÉRDIDAS:

$$R = G = 0 \Rightarrow \gamma = j\omega\sqrt{LC}$$

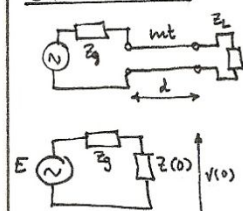
$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$V(0) = \frac{E}{Z_0 + Z_L} \cdot Z_L$$

$$V(0) = V_L(0) [1 + \rho(0)]$$

$$V_L(0) = \frac{E}{Z_0 + Z_L} \cdot Z_L$$

CASO GENERAL:



$$V(x, t) = V_0 e^{j\omega t - \gamma x} + V_0' e^{j\omega t + \gamma x} = V_L(x, t) + V_r(x, t)$$

incidente reflejada

$$I(x, t) = \frac{V_0}{Z_0} e^{j\omega t - \gamma x} + \frac{V_0'}{Z_0} e^{j\omega t + \gamma x}$$

$$Z(x) = \frac{V(x, t)}{I(x, t)}$$

$$\rho(x) = \frac{V_r(x, t)}{V_i(x, t)} = \frac{V_0'}{V_0} e^{+2\gamma x} = \rho(0) e^{+2\gamma x}$$

$$\rho(d) = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \Rightarrow \rho(x) = \frac{Z(x) - Z_0}{Z(x) + Z_0}$$

$$P = |V(d) \cdot I^*(d)|$$

$$P_m = |Re[V(d) \cdot I^*(d)]|$$

Si Z_0 es Real

$$P_m = \frac{|V_L(d)|^2}{Z_0} (1 - |\rho_d|^2)$$

CABLES DE PARES:

$$0,4 \leq \phi \leq 1,3 \text{ (mm)} \quad T_{ref} = 20^\circ C$$

$$R_{cc}(20^\circ C) = \rho / A \text{ [}\Omega/\text{km]}$$

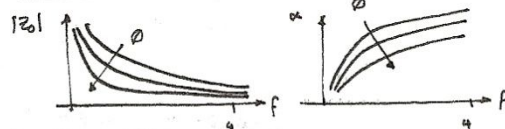
$$R_{cc}(t) = R_{cc}(20^\circ C) \cdot [1 + 0,004(t - 20)] \text{ [}\Omega/\text{km]}$$

$$R_{ga}(t) = R_{cc}(t) \cdot \frac{1}{4} \left[1 + \frac{6}{35 + 8u^6} \right]; u = c / \sqrt{2\pi f}$$

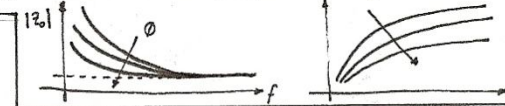
(LEVASSEUR)

$$\text{Cobre: } u = 21,4 \sqrt{f} = 0,0107 \phi \text{ (mm)} \sqrt{f}$$

AUDIO ANALÓGICO BANDA BASE:



TRANS. SEÑALES MODULADAS:



$$\alpha = \frac{R}{2Z_0} \\ R = \sqrt{f} \Rightarrow \alpha = \sqrt{f}$$

CABLES COAXIALES:

$$T_{ref} = 10^\circ C$$

$$|Z_0| = 75 \Omega \quad Z_0(f) = 74,4 + (1-j) \frac{0,92}{\sqrt{f \text{ (MHz)}}}$$

$$\alpha(f) = 0,01 + 2,3 \sqrt{f \text{ (MHz)}} + 0,003 f \text{ (MHz)}$$

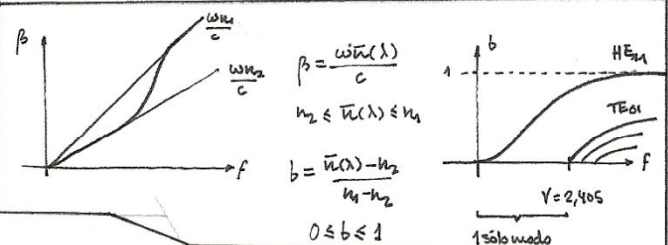
$$\alpha(t) = \alpha(10^\circ C) [1 + 0,002(t - 10)]$$

FIBRAS ÓPTICAS:

$$n = \frac{c}{v} \geq 1 \quad n = \frac{\lambda_{vacío}}{\lambda_{medio}}$$

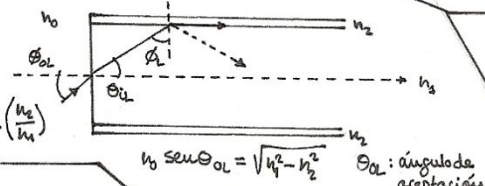
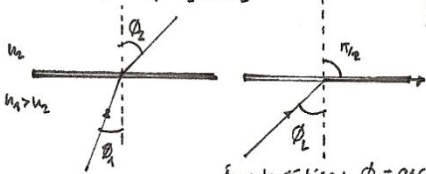
Frecuencia normalizada:

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$



APROX. TEORÍA DE RAYOS:

$$\text{Snell: } n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$



TIPOS FIBRAS:

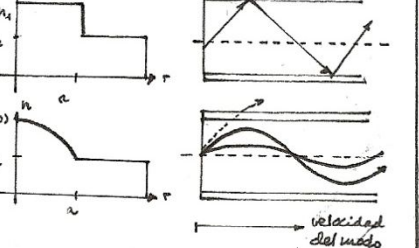
Monomodo ($V < 2,405$)

Multimodo

APERTURA NUMÉRICA

$$AN = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \approx \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

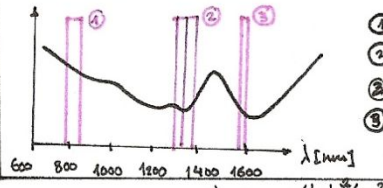


MODELO SLI EN F.O.

$$c(x,t) = E_0 e^{j\omega t} e^{-\gamma x}$$

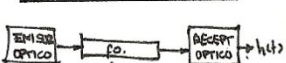
VENTANAS:

Zonas de menor atenuación



- ① MULTIMODO 790-910 [850]
- ② MULTIMODO 1285-1330 [1300]
- ③ MONOMODO 1285-1330 [1310]
- ④ MONOMODO 1550-1575 [1550]

MODELO F.O. BANDA BASE:

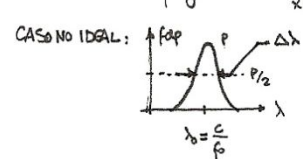


$$P_R \text{ [dBm]} = P_T \text{ [dBm]} - A_L \text{ [dB]}$$

$$P_R \text{ [mW]} = P_T \text{ [mW]} 10^{-\frac{A_L}{10}} \propto \text{[dB/km]} \cdot d \text{ [km]}$$

$$x(t) \rightarrow \text{EMISOR ÓPTICO} \rightarrow y(t) = A(t) \cos \frac{2\pi c}{\lambda_0} t$$

CASO IDEAL: $y(t) = \begin{cases} \sqrt{x(t)} \cos \omega t & x(t) > 0 \\ 0 & x(t) \leq 0 \end{cases}$



CASO NO IDEAL: $\Delta \lambda$

DISPERSIÓN FIBRAS MONOMODO:

$$\sigma_{INTRA} = \sigma_{MAT} + \sigma_{GO} \quad D(\lambda) = M(\lambda) + G(\lambda)$$

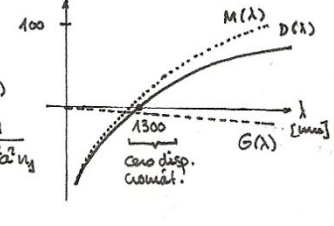
$$\sigma_{MAT} = \frac{1}{2,35} d \text{ [km]} \Delta \lambda \text{ [nm]} M(\lambda) \left[\frac{\text{ps}}{\text{nm}} \right]$$

$$M(\lambda) = -\frac{\lambda}{c} \frac{d^2 n_1}{dn_1^2} \frac{d^2 n_1}{d\lambda^2}$$

$$\sigma_{GO} = \frac{1}{2,35} d \Delta \lambda G(\lambda)$$

$$G(\lambda) = -\frac{\lambda}{c} \frac{1}{4\pi^2 n_1^3} \frac{d^2 n_1}{d\lambda^2}$$

$$B = \frac{0,44}{[\text{GHz}] \Delta \lambda \cdot d \cdot |D(\lambda)|}$$



LUCIANO RUBIO ROMERO
HOJA 4 / 6

DISPERSIÓN FIBRAS MULTIMODO:

$$\sigma^2 = \sigma_{MOD}^2 + (\sigma_{MAT} + \sigma_{GO})^2 \Rightarrow \sigma^2 \approx \sigma_{MOD}^2 + \sigma_{MAT}^2$$

$$\sigma'_{MOD} = \frac{0,189}{B_0 \text{ [GHz} \cdot \text{km}]} \quad \sigma_{MOD} = d \cdot \sigma'_{MOD} \quad \begin{cases} d < L_c & \approx 1 \\ d > L_c & 0,5 < x < 0,6 \text{ (IE/SI)} \\ & 0,7 < x < 0,8 \text{ (IG)} \end{cases}$$

UTILIZACIÓN F.O.:

• MONOMODO

$$a \sim 10 \mu\text{m}$$

$$b \sim 125 \mu\text{m}$$

$$A.N. \sim 0,1$$

MULTIMODO

$$a \sim 50 \mu\text{m}$$

$$b \sim 125 \mu\text{m}$$

$$A.N. \sim 0,2 - 0,3$$

$$A_L \begin{cases} 1V & 2,0 \text{ dB/km} \\ 2V & 0,5 \text{ dB/km} \end{cases}$$

$$B \begin{cases} 1V & B_0 > 200 \text{ MHz} \cdot \text{km} \\ 2V & B_0 > 500 \text{ MHz} \cdot \text{km} \end{cases}$$

UNIÓN DE FIBRAS:

$$A_e \text{ [dB]} = A_e \text{ [dB]} \text{ [dB/km]} \cdot d \text{ [km]}$$

$$\alpha_e = \frac{A_e \text{ [dB]} \text{ [dB/km]}}{d \text{ [km]}}$$

REFLECTÓMETRO:

$$P_i \text{ [dBm]} \rightarrow P_i(x) \rightarrow P_i(d) = P_i(x) 10^{-\frac{\alpha d}{10}}$$

$$P_b \text{ [dBm]} \rightarrow P_b(x) \rightarrow P_b(d) = P_b(x) 10^{-\frac{\alpha d}{10}}$$

$$P_b(0) = P_i(0) 10^{-\frac{\alpha d}{10}} = P_i(0) 10^{-\frac{2\alpha d}{10}}$$

$$P_b(x) \text{ [dBm]} = P_i(x) \text{ [dBm]} + B - 2\alpha d$$

$$B = \frac{0,44}{[\text{GHz}] \Delta \lambda \cdot d \cdot |D(\lambda)|}$$

$$L_{ic} = \frac{P_i(d)}{P_o(d)} > 1 \text{ pérdida de inserción}$$

$$L_{ec} = \frac{P_i(d)}{P_o(d)} > 1 \text{ pérdidas de retorno}$$

$$L_{ic} = \frac{P_i(d)}{P_o(d)} > 1 \text{ pérdida de inserción}$$

$$L_{ec} = \frac{P_i(d)}{P_o(d)} > 1 \text{ pérdidas de retorno}$$

$$L_{ic} = \frac{P_i(d)}{P_o(d)} > 1 \text{ pérdida de inserción}$$

$$L_{ec} = \frac{P_i(d)}{P_o(d)} > 1 \text{ pérdidas de retorno}$$

$$L_{ic} = \frac{P_i(d)}{P_o(d)} > 1 \text{ pérdida de inserción}$$

$$L_{ec} = \frac{P_i(d)}{P_o(d)} > 1 \text{ pérdidas de retorno}$$

$$L_{ic} = \frac{P_i(d)}{P_o(d)} > 1 \text{ pérdida de inserción}$$

$$L_{ec} = \frac{P_i(d)}{P_o(d)} > 1 \text{ pérdidas de retorno}$$

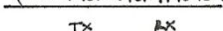
$$L_{ic} = \frac{P_i(d)}{P_o(d)} > 1 \text{ pérdida de inserción}$$

$$L_{ec} = \frac{P_i(d)}{P_o(d)} > 1 \text{ pérdidas de retorno}$$

$$L_{ic} = \frac{P_i(d)}{P_o(d)} > 1 \text{ pérdida de inserción}$$

$$L_{ec} = \frac{P_i(d)}{P_o(d)} > 1 \text{ pérdidas de retorno}$$

TRANSMISIÓN POR RADIO:



$$\Phi = \frac{P_e}{4\pi d^2} \quad P_r = \frac{\lambda^2}{4\pi} \Phi \quad P_r = P_t \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

$$g = \frac{\Phi_{\text{antena}}}{\Phi_{\text{isotropía}}} \equiv G = 10 \log(g) \quad \Phi = \frac{P_e}{4\pi d^2} \cdot g_e \quad P_r = P_t \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \cdot g_r \cdot g_r$$

$$L_f = L_{pf} - G_t - G_r$$

$$L_f = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \cdot \frac{1}{g_t \cdot g_r} = L_{pf} \cdot \frac{1}{g_t \cdot g_r}$$

$$L_f = L_{pf} - G_t - G_r$$

$$L_f = L_{pf} - G_t - G_r$$

$$L_f = L_{pf} - G_t - G_r$$

$$L_f = L_{pf} - G_t - G_r$$

$$L_f = L_{pf} - G_t - G_r$$

MODELO SII ANTENAS REALES:

$$V_{prop} = c$$

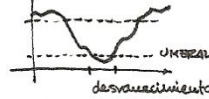
$$\psi(f) = -j\omega\mu_0 c$$

$$H(f) = \frac{1}{4\pi d} \sqrt{g_t \cdot g_r} e^{-j\omega\mu_0 c}$$

PROPAGACIÓN CERCANA SUP. TERRESTRE:

$$a_e = \left(\frac{e_0}{e}\right)^2 \quad \begin{matrix} e_0: \text{campo elect. espacio} \\ e: \text{campo elect. real} \end{matrix}$$

$$A_e = 10 \log a_e = 20 \log \left(\frac{e_0}{e}\right)$$



PROPAGACIÓN MULTITRAYECTO:

$$h(t) = a_1 \delta(t - \frac{d}{c}) + a_2 \delta(t - \frac{d+\Delta d}{c})$$

$$h(f) = a_1 \delta(f - \frac{1}{T}) + a_2 \delta(f - \frac{1}{T} + \frac{\Delta f}{T})$$

$$|H(f)| = 2a_1 \left| \sin(\pi f \tau) \right|$$

4) TRANSMISIÓN ANALÓGICA DE SEÑALES:

PERTURBACIONES:

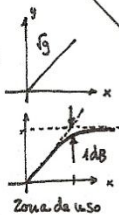
- Retardo
- Atenuación
- Perturbación

DISTORS. NO LINEAL

$$x \rightarrow y(t) = \sqrt{g} x(t)$$

$$[g] = W$$

$$x \rightarrow y = f(x(t))$$



$$L = L_f - G_t - G_r + A_e$$

ANÁLISIS PARA 1 TONO:

$$x(t) = V \cos \omega_0 t \quad y(t) = V_0 + V_1 \cos \omega_0 t + V_2 \cos 2\omega_0 t$$

$$u_n \approx \frac{1}{2^{n-1}} a_n v^n$$

$$f_0: \text{primer armónico o fundamental}$$

$$d_n = \frac{u_n}{v_1} \quad D_n = 20 \log d_n$$

$$d = \sqrt{\sum d_i^2}$$

$$A_n (dB) = 20 \log \frac{v_n}{v_1} = -D_n$$

$$A_n (dB) = 20 \log \frac{v_n}{v_1} = -D_n$$

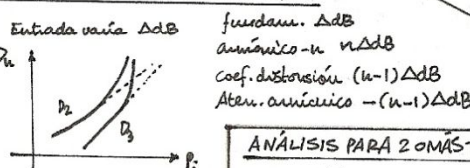
$$P_n [dBm] = 10 \log P_1 [dBm] + M_n^*$$

$$M_n^* = 10 \log \left[m_n \left(\frac{R}{1000} \right)^{n-1} \right]$$

$$m_n = \left(\frac{v_n}{v_1} \right)^2$$

$$D_n + 20 \log(n)$$

VARIACIÓN CON EL NIVEL DE ENTRADA:



fundam. ΔdB
armónico $-n \Delta dB$
coef. distorsión $(n-1) \Delta dB$
Aten. armónico $-(n-1) \Delta dB$

DIAFONÍA:

$$R_d [dB] = 10 \log \frac{P_2}{P_1}, A_d = -R_d$$

$$C_u = 20 \log \left(\frac{v_2}{v_1} \right) = 120 - A_d$$

$$0 \text{ CW} \equiv A_d = 120 \text{ dB}$$

ANÁLISIS PARA 2 ONAS TONOS (INTERMODULACIÓN):

$$x(t) = V (\cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t)$$

$$y(t) = \dots$$

$$\dots$$

$$\dots$$

$$\dots$$

$$\dots$$

ANÁLISIS PARA 3 TONOS DISTINTA AMPLITUD:

$$x(t) = A \cos \omega_1 t + B \cos \omega_2 t + C \cos \omega_3 t$$

$$y(t) = \dots$$

$$\dots$$

$$\dots$$

$$\dots$$

$$\dots$$

RUIDO:

RUIDO TÉRMICO:

$$\langle i_n^2 \rangle = \frac{4kTb}{R}$$

$$\langle v_n^2 \rangle = 4kTbR$$

$$k = 1,381 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

RUIDO GRANALLA:

$$\langle i_n^2 \rangle = 2 \cdot e \cdot I_b$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ [C]}$$

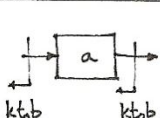
CARACTERIZ. CUADRIPOLOS:

$$S_i, i_i \rightarrow S_o, i_o \quad S_o = g S_i$$

$$i_o = g i_i + i_{int}$$

$$\left(\frac{S_o}{i_o} \right) < \left(\frac{S_i}{i_i} \right)$$

RUIDO INTERNO ATENUADOR PASIVO:

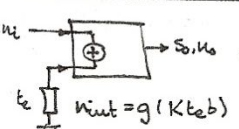


$$k_t b = \frac{1}{a} k_t b + i_{int} \Rightarrow t_e = t_o(a-b)$$

$$\frac{1}{a} k_t b \quad t_e = t_o(a-1)$$

$$f = 1 + \frac{t_e}{t_o} (a-1) \Rightarrow f = a$$

REPRESENT. TEMP. EQUIVAL.



FACTOR DE RUIDO:

$$f = \frac{(S_o/i_o)}{(S_o/i_o)_0} = 1 + \frac{i_{int}}{g i_i}$$

$$F = 10 \log(f) \quad i_i = k_t b$$

$$f = 1 + \frac{i_{int}}{g k_t b} \quad t_o = 290 \text{ K} = 17^\circ \text{C}$$

$$f = 1 + \frac{t_e}{t_o} \quad t_e = t_o(f-1)$$

CADENA CUADRIPOLOS:

$$i_i \rightarrow g_1 \frac{t_1}{f_1} \rightarrow g_2 \frac{t_2}{f_2} \rightarrow \dots \rightarrow g_M \frac{t_M}{f_M} \rightarrow i_o$$

$$t_e = t_{e1} + \frac{t_{e2}}{g_1} + \frac{t_{e3}}{g_1 g_2} + \dots + \frac{t_{eM}}{g_1 g_2 \dots g_{M-1}}$$

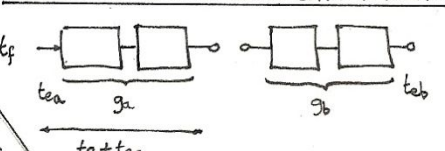
$$f-1 = f_1-1 + \frac{f_2-1}{g_1} + \frac{f_3-1}{g_1 g_2} + \dots + \frac{f_M-1}{g_1 g_2 \dots g_{M-1}}$$

CARACTERIZ. DIPOLOS:

$$i_o = k_t b \Rightarrow t_e = \frac{i_o}{k_t b}$$

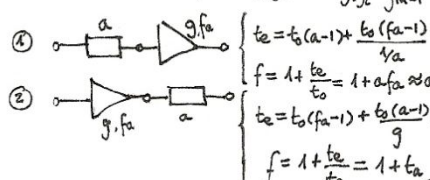
$$i_o = k_t b f \Rightarrow f = \frac{i_o}{k_t b}$$

TEMPERATURA DE RUIDO REFERIDA A UN PUNTO:



$$i_o = g k (t_f + t_e) b = k [g (t_f + t_e)] b$$

$$t_e = g_a (t_f + t_{ea}) + t_{eb}$$



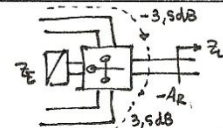
$$t_e = t_o(a-1) + \frac{t_o(fa-1)}{a}$$

$$f = 1 + \frac{t_e}{t_o} = 1 + a f_a \approx a f_a$$

$$t_e = t_o(fa-1) + \frac{t_o(a-1)}{g} \approx t_o f_a$$

$$f = 1 + \frac{t_e}{t_o} = 1 + t_a$$

ATENUACIÓN DE EQUILIBRIO AR:



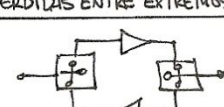
ATENUAC. TRANSFERIDA:

$$A_{th} [dB] = F + A_R$$

$$A_R [dB] = 20 \log \frac{1}{\rho} = 20 \log \left| \frac{Z_1 + Z_2}{Z_1 - Z_2} \right|$$

$$DESATAP. TOTAL \quad 0 \leq A_R \leq \infty \quad ADAPT. TOTAL \quad Z_E = Z_L$$

PÉRDIDAS ENTRE EXTREMOS A 2H:



$$T [dB] = F + \sum L - \sum G$$

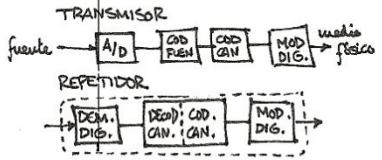
$$\text{Pérdidas de Bucle: } M = 2(T + A_R)$$

$$\text{Margen de Cunto } S [dB] = \frac{M}{2} = T + A_R \geq 3 \text{ dB}$$

GENERACIÓN DE ECOS:

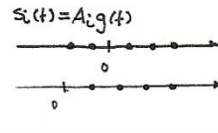
• Eco con respecto al que habla
Retardo respecto señal emitida.
 $t_d = 2(a_1 + t) + A_R$
Atenuación $A_E = 2(t_a + t)$
• Eco con respecto al que escucha:
Retardo: $t_d = 2t_2$
Atenuac. $A_E = 2(T + A_R)$

5 SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DIGITAL:

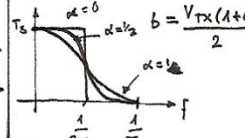


Período Símbolo T_s
Velocidad TX $v_{TX} = \frac{1}{T_s}$
Regímen binario $R_b = \frac{\log_2 M}{T_s}$

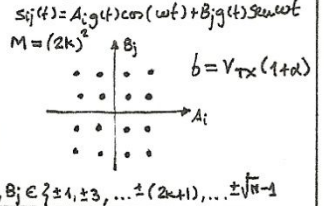
PAM:



RCCA



QAM:



EFICACIA MOD:

$$\frac{S}{N} = \frac{E_s/T_s}{N_b \cdot b} \quad \eta \left[\frac{b/s}{Hz} \right], P \left[\frac{b/s}{W} \right]$$

$$M-PAM: \eta = \frac{2 \log_2 M}{1+\alpha}$$

$$M-QAM: \eta = \frac{\log_2 M}{1+\alpha}$$

CODIFICACIÓN DE CANAL:

Redundancia = $\frac{\text{bits extra}}{\text{bits inf.}}$
CAPACIDAD DE CANAL:
 $C = b \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$

VENTAJAS TX DIGITAL:

- Robustez frente a ruido:
- Compartición de canal (TDM/FDM)
- Versatilidad equipos
- Flexibilidad y eficacia uso canal

SENSIBILIDAD:

Nominal:
 $S_0 [dBm]$ tal que $P_E \leq P_{Edg}$
Efectiva
 $S_{ef} [dBm] = S_0 + I$
Penalización por IES: I_{2dB}

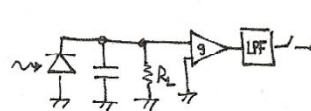
RUIDO TÉRMICO:

$$\frac{1}{2} \langle u_a^2 \rangle = 4 k T \cdot R_L \cdot b_g$$

$$\langle u_a^2 \rangle = \frac{4 k T}{R_L}$$

RUIDO AMPLIFICADOR:
 $\langle u_a^2 \rangle [V^2/Hz]$
 $\langle u_a^2 \rangle = \langle u_a^2 \rangle \cdot b_g [V^2]$

RUIDO EN RX ÓPTICO:



RUIDO GRANALLA:

$$\langle u_g^2 \rangle = \langle u_g^2 \rangle \cdot R_i^2$$

$$\langle u_g^2 \rangle [V^2/Hz] = 2 \cdot e \cdot (i_s + i_{os}) M^{2+\alpha}$$

$$\langle u_g^2 \rangle = \langle u_g^2 \rangle \cdot b$$

$$\langle u_g^2 \rangle = 2 e b (i_s + i_{os}) M^{2+\alpha} R_i^2 \cdot g$$

RUIDO TOTAL:

$$\sigma_n^2(i_s) = [2 e (i_s + i_{os}) M^{2+\alpha} R_i^2 + 4 k T R_L + \langle u_a^2 \rangle] b_g$$

POWER PENALTY:

$$PP [dB] = 10 \log \left(\frac{P_{opt}}{P_{opt, opt}} \right) = 10 \log \left(\frac{P_{opt}}{P_{opt, opt}} \right)$$

BANDA ESTRECHA:

Emisor $\Delta \lambda \uparrow$, Señal $V_b \uparrow$
 $\sqrt{|P_{21}| \cdot d} < k_{RX} \cdot T \Rightarrow |P_{21}| \cdot d < k_{RX}^2 \cdot T^2$
 $D = -\frac{\omega}{\lambda} \cdot P_{21} = -\frac{2 \pi f}{\lambda} \cdot P_{21}$

BANDA ANCHA:

$$\frac{1}{2.35} \Delta \lambda \cdot d \cdot |D| < k_{RX} \cdot T$$

Cont. RX $\rightarrow \left. \begin{array}{l} I = 1dB \quad k = 0.2 \\ I = 2dB \quad k = 0.498 \end{array} \right\}$

CARACTERIZACIÓN PROBABILÍSTICA DEL DESVANECIMIENTO:

$$P[\text{desv} > F [dB]] = k_0 \cdot 10^{-F/10}$$

COMUNICACIONES POR SATELITE:

P_t limitada. Transm. de la frecuencia.

MOD. SEÑAL
Ejemplo: cta (2PSK, 4PSK...)

LUCIANO RUBIO ROMERO HOJA 6/6

RADIOENLACES DIGITALES:

Plan 1 frecuencia
 $f_1 \rightarrow f_2 \rightarrow f_3 \rightarrow f_4 \rightarrow f_5$
Plan 2 Frecuencias
 $f_1 \rightarrow f_2 \rightarrow f_3 \rightarrow f_4 \rightarrow f_5$
 $G = 20 + 10 \log k + 20 \log f + 20 \log D$
 $P_r = \Phi \cdot \frac{\lambda^2}{4 \pi} G_r = \Phi \cdot S_e \cdot S_{oc} = \left(\frac{D}{2} \right)^2$
Sup. equiv.

DISEÑO SECCIÓN REGENERAC:

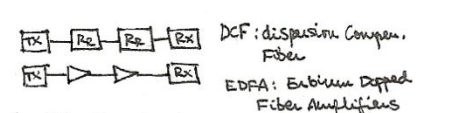
$$d_{max} = \min \{ d_{max, S.R.}, d_{max, IES}, d_{max, Sef} \}$$

$$d_{max, IES}: I \left\{ \begin{array}{l} 1dB \quad \sigma_{P_0} < 0.2T \\ 2dB \quad \sigma_{P_0} < 0.498T \end{array} \right\}$$

$$d_{max, Sef}: P_{RX} \geq S_{ef} \Rightarrow P_{TX} - [2k + d_{max}(\alpha + \alpha_0)] + P.P. + M_s \geq S_0 + I$$

Power Penalty
2cond. At. fibra y empalmes
Ningún Seguridad

AMPLIFICACIONES ÓPTICAS:



Amplificadores:
 $g = \frac{S_o}{S_i} f: (S_{W})_i, (S_{W})_o$
 $\eta_{ASE} = \frac{f \cdot h \nu}{2} [W/Hz]$

CONVERSIÓN EN EL RX:

$$\langle u_{ASE}^2 \rangle = 4 r^2 P_{op} \eta_{ASE}$$

ACCESO MÚLTIPLEX DIGITAL:

E.B. célula
 $r_{ipcc} = \frac{\min(s)}{\max(i)} = \frac{k p_e}{R^k} = \left(\frac{D}{R} \right)^k$