

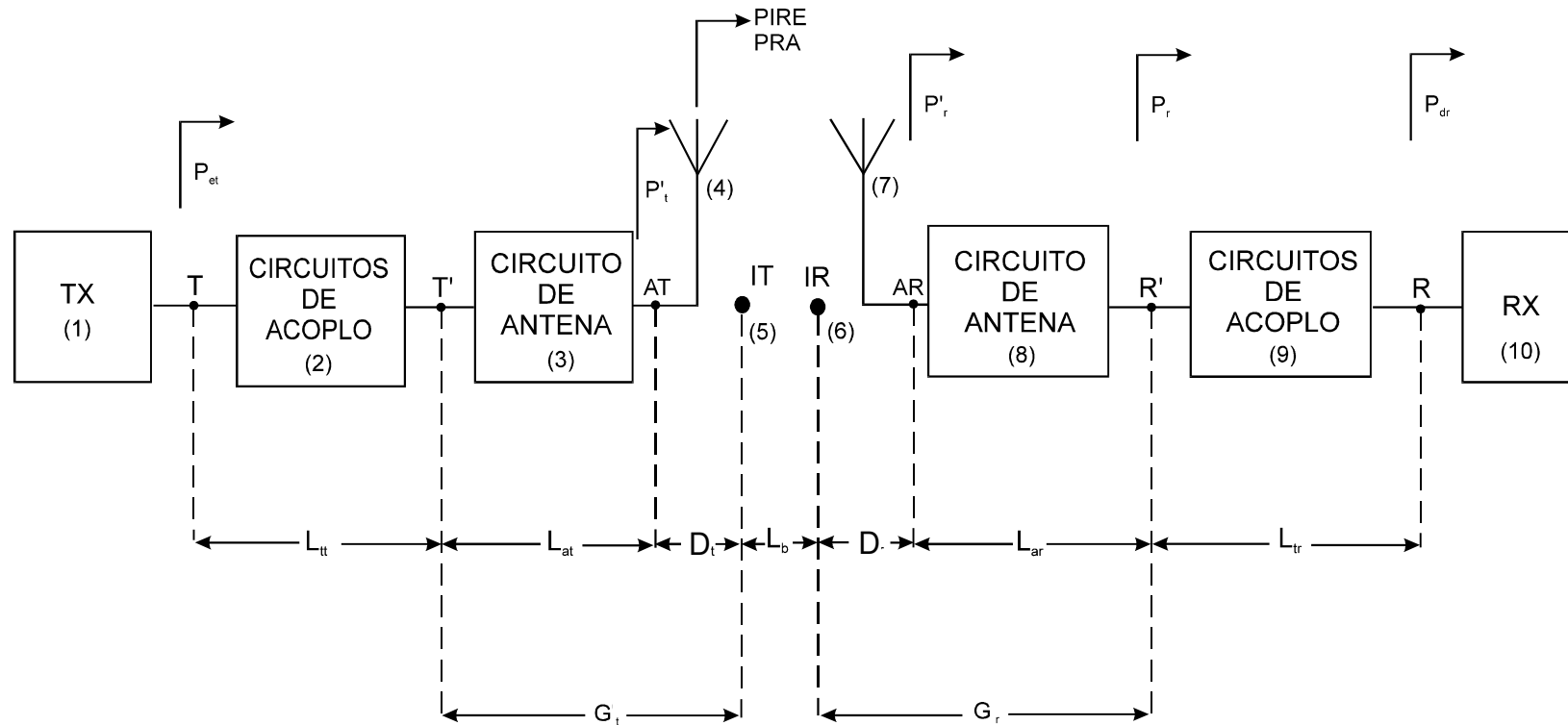
Capítulo 2: Fundamentos de la interfaz radio

Fundamentos de la interfaz radio

1. Modelo energético.
2. Modulaciones utilizadas en comunicaciones móviles.
3. Codificación de canal en comunicaciones móviles.
4. Acceso múltiple y multiplexación.

1. Modelo energético

Modelo energético

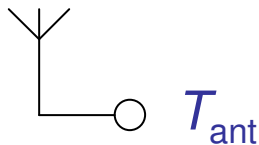


$$P_{dr} = P_{et} - L_{tt} + G_t - L_b + G_r - L_{tr}$$

$$E(dBu) = PIRE(dBm) + 20 \cdot \log f(MHz) - L_b + 77,2$$

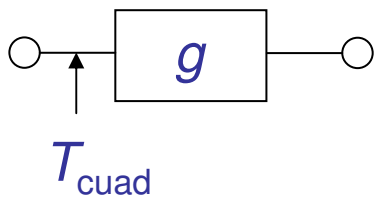
Definiciones de factor de ruido

- Dipolo (antena)



$$f_{\text{ant}} = \frac{T_{\text{ant}}}{T_0}$$

- Cuadripolo

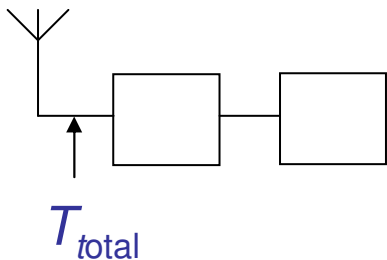


$$f_{\text{cuad}} = \frac{T_{\text{cuad}}}{T_0} + 1$$

$$T_{\text{cuad}} = (f_{\text{cuad}} - 1) T_0$$

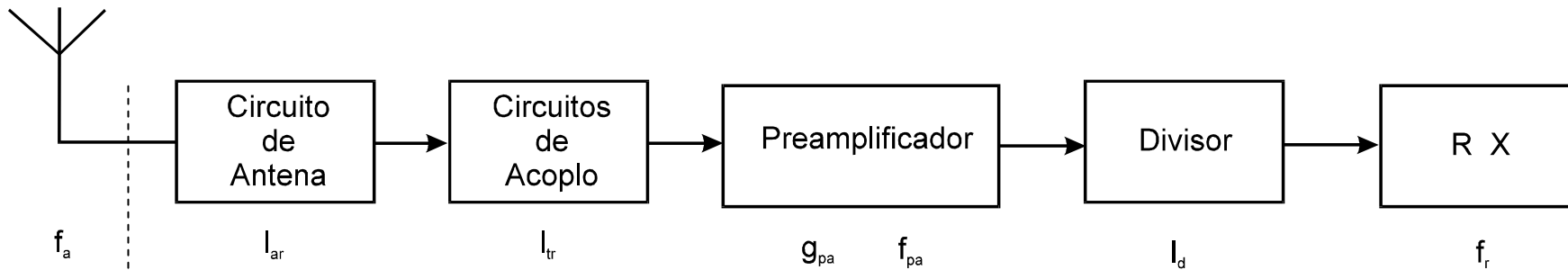
Para un cuadripolo pasivo a T_0 : $f_{\text{cuad}} = 1 = 1/g$

- Sistema



$$f_{\text{sis}} = \frac{T_{\text{total a la entrada}}}{T_0}$$

Ruido en el receptor



$$N = kT_0 f_{sis} W$$

N : potencia de ruido

W : ancho de banda

$$f_{sis} = f_a + l_{ar}^{-1} + \frac{l_{tr}^{-1} - 1}{l_{ar}} + \frac{f_{pa}^{-1} - 1}{l_{ar} l_{tr}} + \frac{l_d^{-1} - 1}{g_{pa} l_{ar} l_{tr}} + \frac{f_r^{-1} - 1}{g_{pa} l_{ar} l_{tr} l_d}$$

$$\frac{E_B}{N_0} = \frac{W S}{R N} = \frac{S}{N_0 R} = \frac{S}{kT_0 f_{sis} R}$$

S : potencia de señal

R : tasa binaria (usualmente se considera la de fuente)

Ruido e interferencia

- En general se tienen en el receptor:
 - Señal deseada, con potencia S ;
 - Ruido, con potencia N ;
 - Interferencias, con potencia total I .
- En algunos sistemas se tratan por separado ruido e interferencia:
 - El ruido debe cumplir una cierta S/N : relación señal/ruido, **SNR**.
 - La interferencia debe cumplir una cierta S/I : relación señal/interferencia. El valor mínimo exigido se llama relación de protección, **R_p** .
- En otros sistemas se agrupan los efectos de ruido e interferencia:
 - Debe cumplirse una cierta $S/(I+N)$: relación señal/(ruido+interferencia), **SINR**. A veces se la llama simplemente relación señal/interferencia, **SIR** (considerando el ruido incluido en la interferencia).

En este caso:

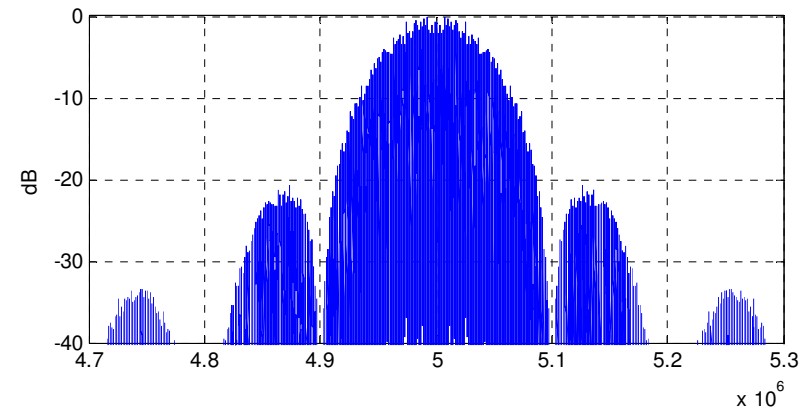
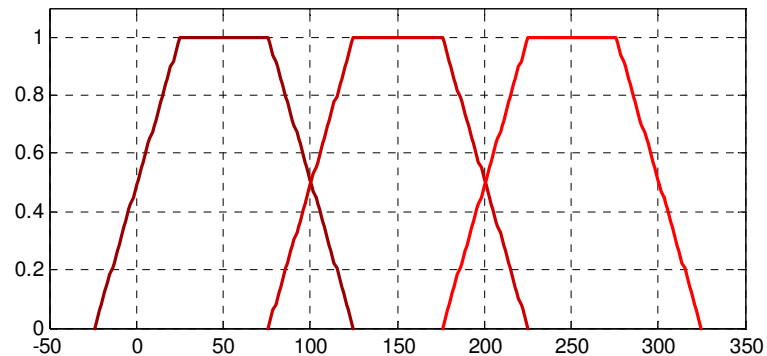
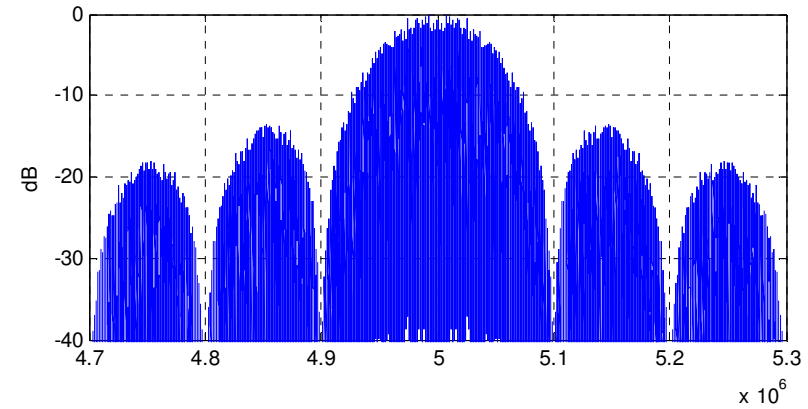
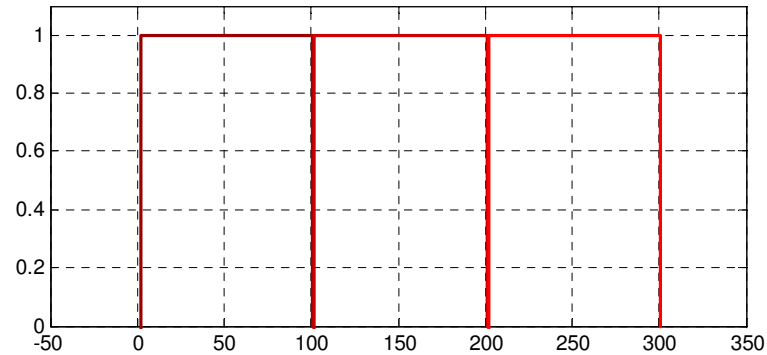
$$\frac{E_B}{N_0} = \frac{W}{R} \frac{S}{N+I}$$

2. Modulaciones utilizadas en comunicaciones móviles

Modulaciones digitales

- Modulaciones utilizadas en Comunicaciones Móviles
 - BPSK
 - QPSK
 - GMSK (equivalente a BPSK con conformación de pulsos)
 - 8-PSK, 16-QAM, 64-QAM (utilizadas junto con técnicas de adaptación al canal radio)
- Receptor:
 - Para símbolos independientes: Filtro adaptado (óptimo)
 - En presencia de ISI: Filtro adaptado y algoritmo de Viterbi (óptimo) o ecualizador (subóptimo: ZF, MMSE, DF).
- Conformación de pulsos:
 - Reducción de lóbulos laterales
 - Posible ISI.

Conformación de pulsos

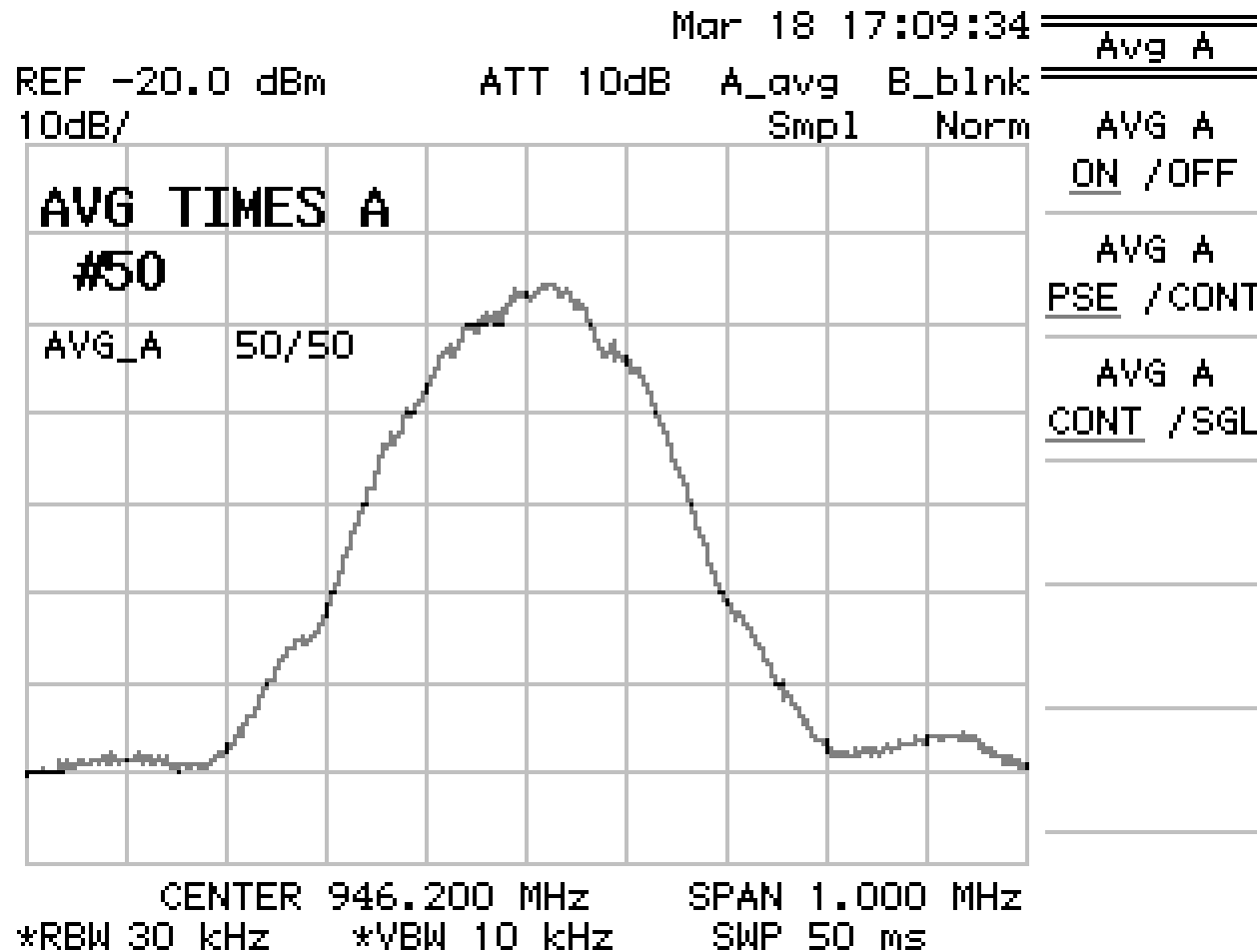


Tiempo

Frecuencia

Conformación de pulsos

Ejemplo: espectro de señal GSM



3. Codificación de canal en comunicaciones móviles

Codificación de canal

Tipos de códigos:

- Detección de errores / corrección de errores.
- Bloque / convolucional / turbo.

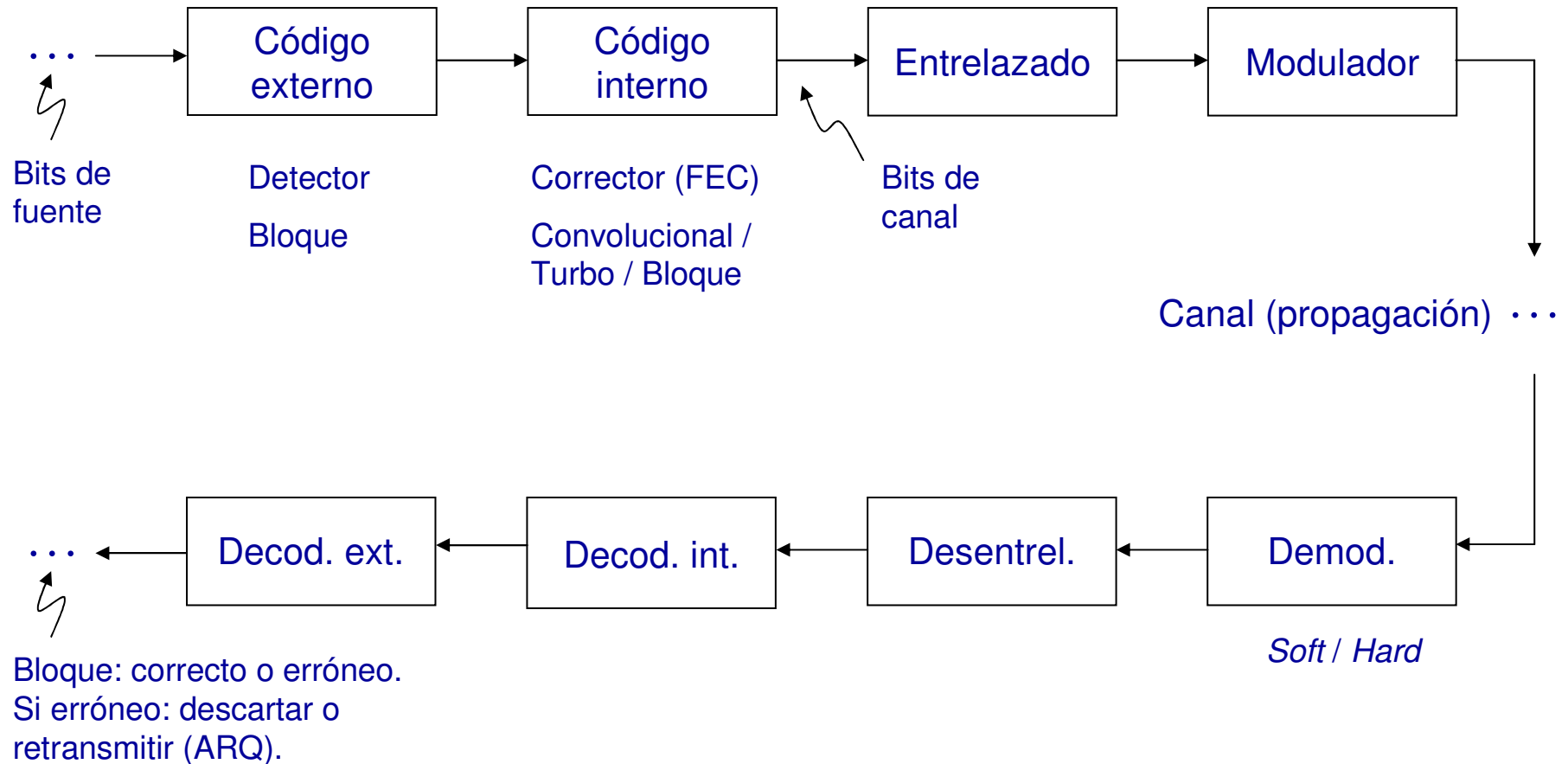
Formas de decodificación:

- *Soft / hard.*

Utilización en Comunicaciones Móviles:

- Código externo: detector (bloque)
- Código interno: corrector (convolucional o turbo; a veces bloque)
- Entrelazado.

Codificación de canal



Código corrector (FEC)

Hay que distinguir E_B/N_0 de fuente y de canal. Normalmente se trabaja con la E_B/N_0 de fuente (es decir, referida a la tasa binaria de fuente).

Efectos de la codificación de canal:

(1) (–) Reducción de E_B/N_0 de canal, para una E_B/N_0 de fuente dada

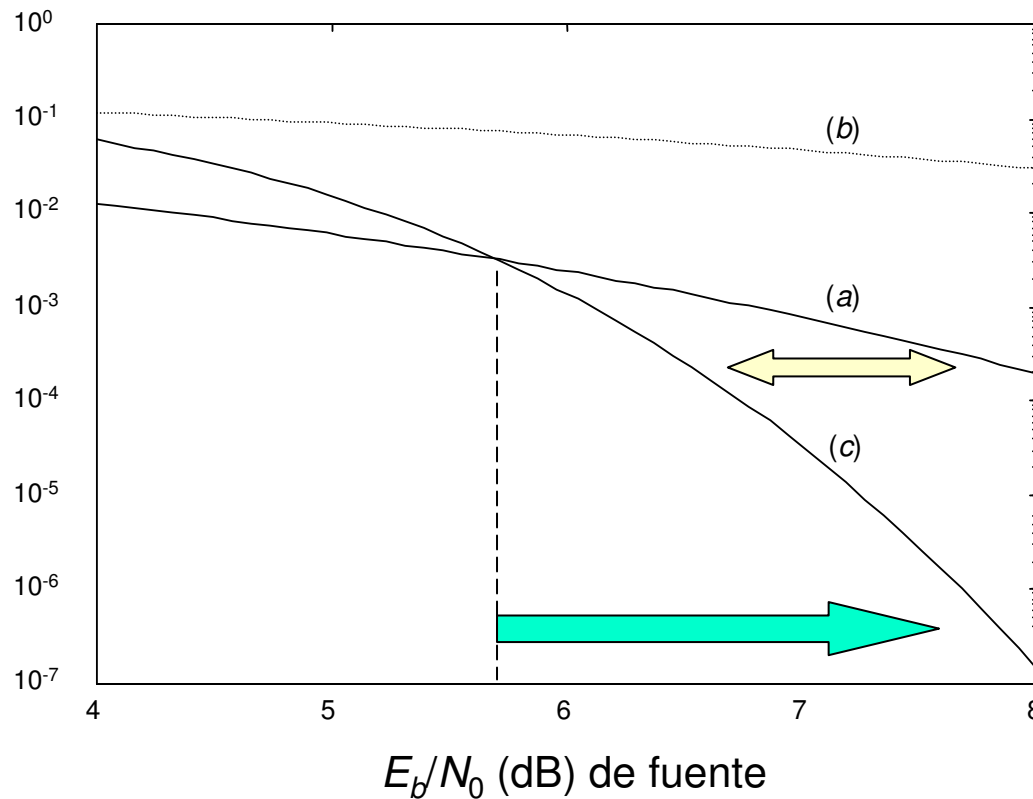
(2) (+) Capacidad correctora

(3) (–) Aumento de la tasa binaria

- (1) y (2) afectan a la BER final. El código es útil cuando (2) supera a (1).
- (3) afecta al ancho de banda, salvo en sistemas de espectro ensanchado.

Código corrector (FEC)

Ganancia de codificación

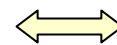


Ejemplo: código BCH (127,36)

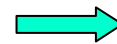
(a) BER sin código

(b) BER de canal con código

(c) BER de fuente con código



Ganancia de codificación: reducción de E_b/N_0 para una calidad objetivo



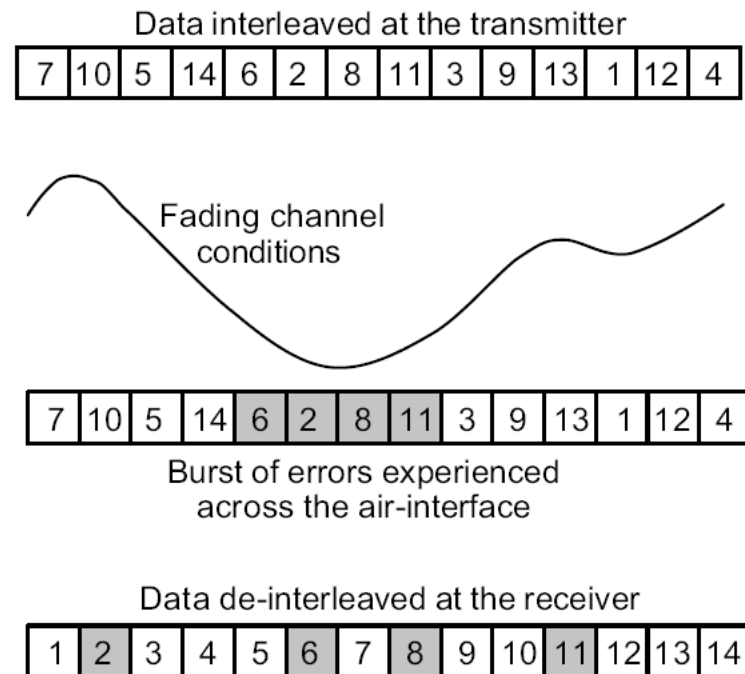
Zona útil: ganancia positiva

Tasa de codificación

- La **tasa de codificación** indica la proporción entre bits de fuente y de canal. Es menor o igual que 1.
- Para códigos convolucionales o turbo son habituales los valores $1/2$, $1/3$.
- La tasa de codificación de un código corrector puede ajustarse de forma fina por medio de:
 - **Repetición:**
 - Se repiten algunos bits de canal
 - Sus posiciones son conocidas en el receptor
 - Esos bits se reciben con más fiabilidad.
 - **Eliminación (*puncturing*):**
 - Se eliminan algunos bits de canal
 - Sus posiciones son conocidas en el receptor
 - El algoritmo de decodificación tiene en cuenta que para esos bits no se dispone de información.

Entrelazado

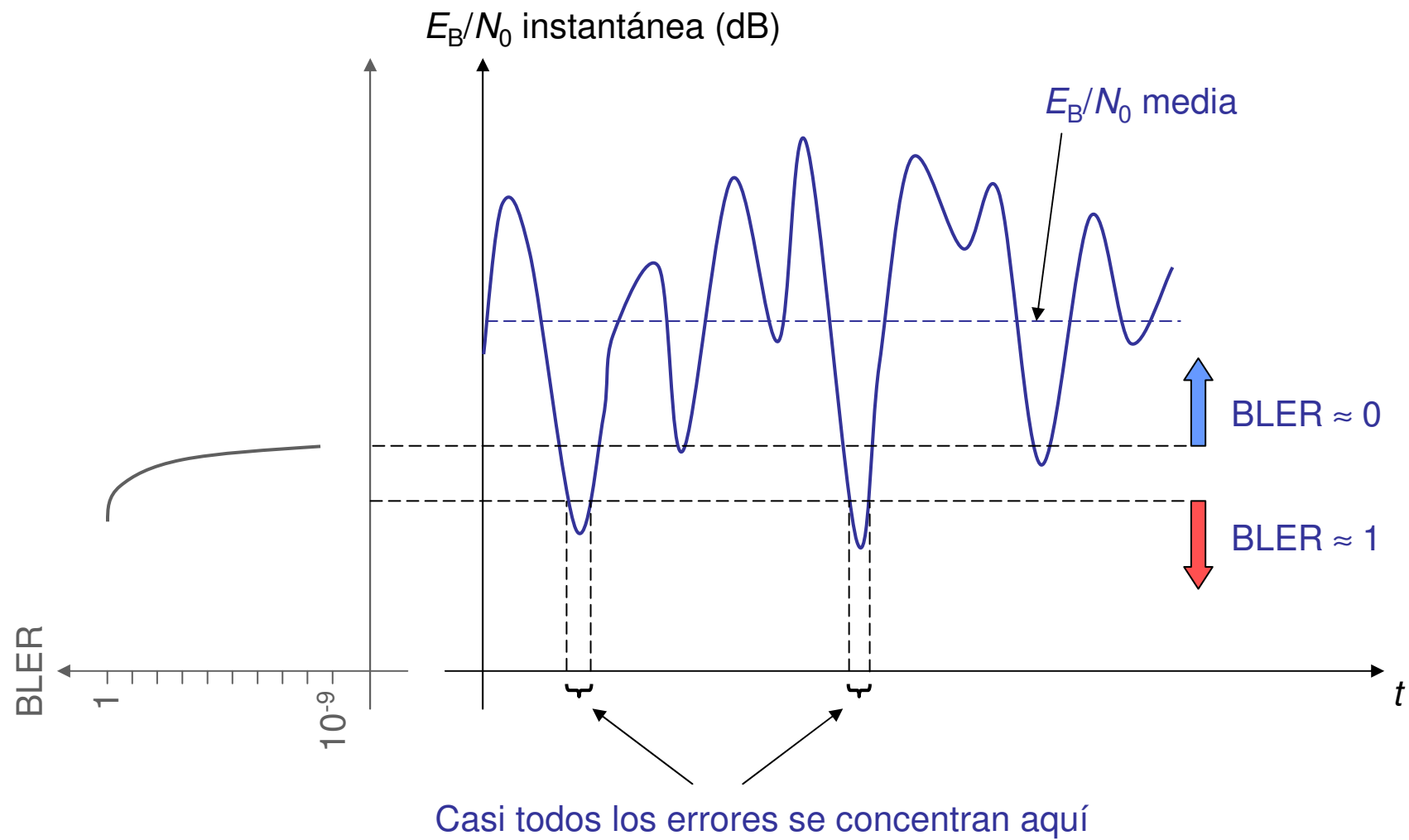
- En un canal de propagación multitrayecto los errores se suelen producir en **ráfagas**, correspondientes a periodos de desvanecimiento.
- El objetivo del entrelazado es **dispersar** los errores, de modo que ya no aparezcan en ráfagas.
- De esta forma el código corrector puede **corregir mejor** los errores.



Código detector: ARQ

- La detección de errores logra una tasa de bloques erróneos (BLER) arbitrariamente pequeña (idealmente 0) por el procedimiento de retransmitir los bloques recibidos incorrectamente (ARQ).
- En comunicaciones móviles, el nivel recibido o E_B/N_0 instantánea tiene variaciones grandes (debidas a multitrayecto). Los errores tienden a producirse cuando el nivel recibido es bajo.
- En un sistema **sin ARQ**, conseguir una BLER muy pequeña requiere un **planteamiento conservador**: exigir niveles medios de E_B/N_0 muy grandes, para que aún cuando el nivel instantáneo baje no se produzcan errores.
- El **uso de ARQ** permite detectar (a posteriori) qué bloques han tenido errores, y tomar las medidas necesarias **sólo para esos bloques**.
 - (+) Menor E_B/N_0 media necesaria
 - (-) Retardo variable para cada bloque

Código detector: ARQ



4. Acceso múltiple. Duplexación.

Acceso múltiple

- FDMA (separación en frecuencia)
 - (+) Sencillez
 - (–) Número de equipos en la base; poca flexibilidad en la tasa binaria; dificultad para incluir señalización asociada
- TDMA (separación en el tiempo)
 - (+) Menos equipos; no duplexor; flexibilidad para canales de distinta tasa binaria; facilidad para señalización asociada
 - (–) (Sólo modulaciones digitales); sincronización estricta; interferencia en equipos (p. ej. de audio)
- CDMA (separación en el “código”)
 - (+) Flexibilidad (como TDMA); más capacidad (discutible)
 - (–) (Sólo digital); control de potencia muy estricto; tecnología compleja
- SDMA (separación en ubicación o dirección espacial)
 - (+) Eficiencia en el uso de los recursos
 - (–) Más equipos (células o sectores); complejidad (antenas inteligentes)

Otras técnicas:

- Aloha ranurado (S-Aloha): para acceso inicial.

Acceso múltiple

- Los sistemas móviles siempre incluyen una componente FDMA. De acuerdo con esto, existen
 - Sistemas FDMA. Ej.: AMPS.
 - Sistemas FDMA/TDMA. Ej.: GSM.
 - Sistemas FDMA/CDMA. Ej.: UMTS.
 - ...
- Se llama **radiocanal** a la unidad mínima de FDMA.
 - Ej.: en GSM un radiocanal (portadora) ocupa unos 200 kHz; y se divide en 8 intervalos de tiempo, según una estructura TDMA.

Duplexación

Los sistemas dúplex (transmisión simultánea en los dos sentidos) pueden funcionar en modo:

- FDD (*Frequency Division Duplex*):
 - Frecuencias separadas para transmisión y recepción.
 - Una comunicación requiere por tanto dos frecuencias.
- TDD (*Time Division Duplex*):
 - Intervalos de tiempo separados para transmisión y recepción, utilizando la misma frecuencia en los dos sentidos.
 - Los intervalos de tiempo son suficientemente cortos, para que la transmisión en los dos sentidos sea aparentemente simultánea.
 - Se utiliza una sola frecuencia para la comunicación.