

T5 Radiodifusión Audio/Vídeo Digital

Roberto Lorente

5.1 Introducció

5.2 Codificació digital

5.2.1 Modulacions

5.2.2 Codificació y compresió

5.3 Televisió Digital Terrenal

5.4 Difusió Digital Satélite

5.5 Difusió Audio Digital (DAB)

¿Porqué aparece la difusión digital?

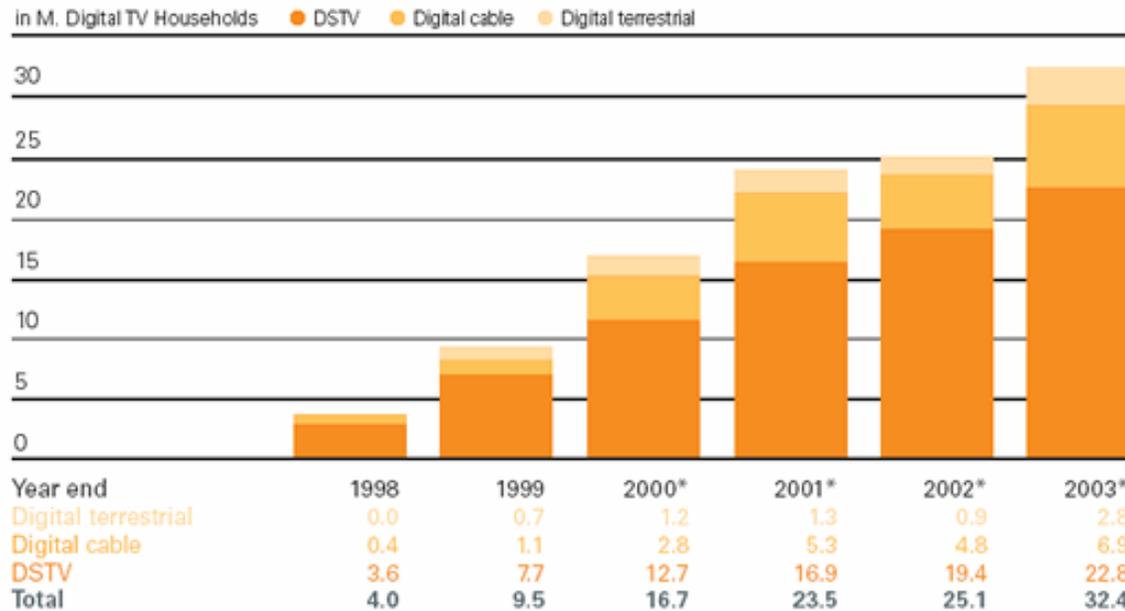
- Nuevos servicios TV y Datos:
 - + Canales tradicionales
 - + Canales temáticos
 - + Canales PPV (pago por visión)
 - Transmisión de datos: videojuegos, datos, internet, ...
 - Sonido digital (home cinema, etc.)



Estándar DVB:

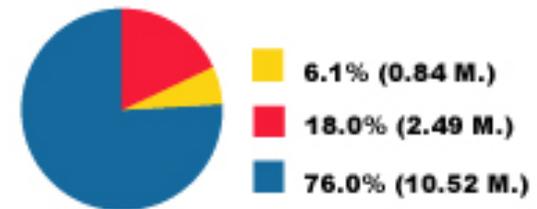
- Emisiones TV digital por cable, satélite o terrestre.
 - ↓ DVB-C, DVB-S, DVB-T
- Codificación digital MPEG-2

Recepción Digital



Spain

**13.84 M.
TV Homes**



ASTRA Coverage* 85.1%
Digital TV Homes 14.4%

***within satellite and cable homes**

Satellite **Cable** **Terrestrial**

*Europe and 8 additional countries: Belarus, Bulgaria, Estonia, Latvia, Lithuania, Romania and Ukraine and Greece (only in 2001)

Source: SES ASTRA, Satellite Monitors

Source: SES ASTRA, Satellite Monitors

Fundamentos TV digital

- TV analógica:
 - La información está contenida en la forma de onda
 - Objetivo: propagación **sin distorsión**
- TV digital:
 - La información está contenida en una cadena de bits
 - Objetivo: transmisión secuencia de bits **sin errores**
- Las señales TV en origen son analógicas (vídeo y audio):
 - Se digitalizan mediante conversión A/D:
 - ✓ Muestreo: información sólo en ciertos *instantes*
 - ✓ Número finito de niveles (depende número de bits)

Fundamentos TV digital

- Señal vídeo compuesta por RGB
- Ojo humano más sensible a variación brillo (luminancia) que a la de color (crominancia)
- Señal de vídeo se forma:
 - Luminancia Y
 - Dif. Crom. B-Y CB
 - Dif. Crom. R-Y CR
- Muestreo de las imágenes: *pixels*
 - SDTV 720 x 576 x 25 x 8 (4:2:2) → 165 Mbit/s !
 - HDTV 1080 x 1920 x 25 x 8 (4:2:2) → 829 Mbit/s !! ↓

Son necesarias codificación + compresión: MPEG2

Fundamentos TV digital

- Compresión vídeo MPEG-2 (pixels, bloques, y cuadros)
 - Pixels: diezmado señal crominancia (4:2:0)
 - Bloques: elimina bloques iguales (redundancia espacial)
 - Cuadros: elimina cuadros iguales (redundancia temporal)
- Tasas binarias MPEG-2:
 - DVB-T permite un rango de 5 a 32 Mbit/s
 - TV convencional 4 a 5 Mbit/s
 - Película calidad 6 Mbit/s
 - Deportes 8 Mbit/s
 - Además: audio, varios canales, guía electrónica TV, datos, ...
 - Todo debe caber en un canal de 8 MHz

Fundamentos TV digital

- Compresión audio MPEG-2:
 - Basado en percepción oído:
 - Enmascaramiento en frecuencia y tiempo
 - 32 subbandas
 - Características técnicas:
 - Señal entrada muestreo: $44100 \times 16 \times 2 = 1,4 \text{ Mb/s}$
 - *Layer II* 384 kb/s (MUSICAM)
 - Permite:
 - Mono
 - Estéreo
 - Multicanal (5.1)

5.1 Introducció

5.2 Codificació digital

5.2.1 Modulacions

5.2.2 Codificació y compresió

5.3 Televisió Digital Terrenal

5.4 Difusió Digital Satélite

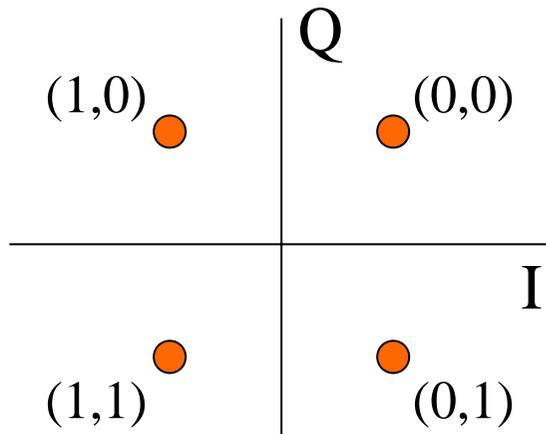
5.5 Difusió Audio Digital (DAB)

- Modulaciones digitales en transmisión de TV:
 - Terrestre → COFDM
 - Satélite → QPSK
 - Cable → QAM (16 o 64)
- QPSK y QAM:
 - Portadora con diferentes amplitudes y fases
- COFDM:
 - Múltiples portadoras
 - Cada una QPSK o QAM

QPSK/QAM

■ QPSK

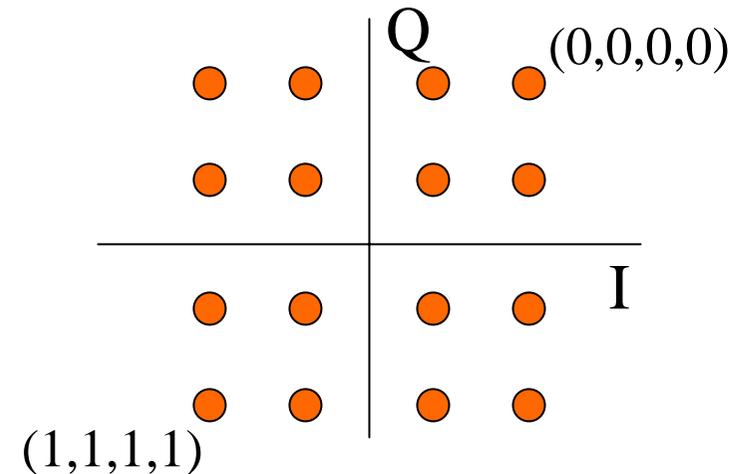
$$V_T = 2 \text{ bit/seg/Hz}$$



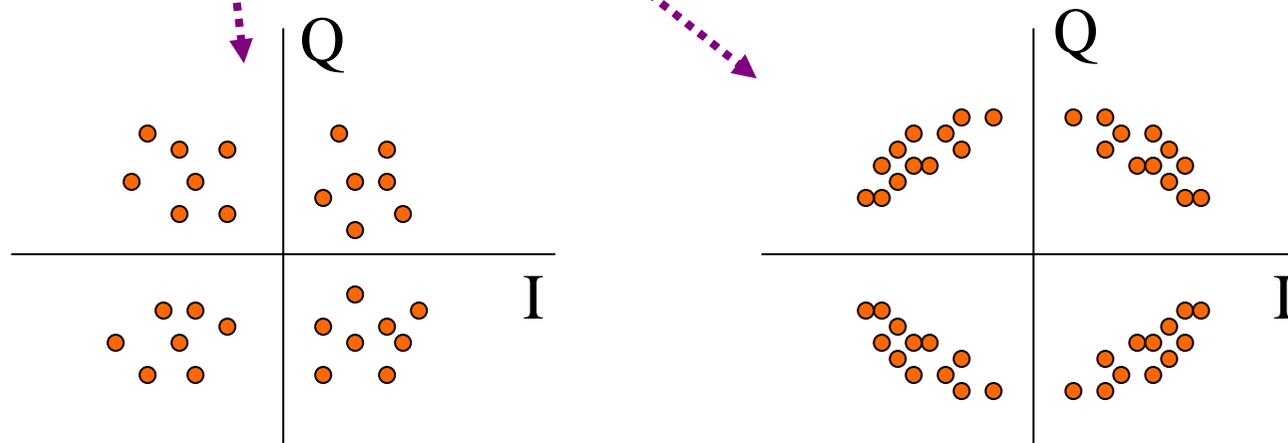
■ 16/64 QAM

$$V_T = 4 \text{ bit/seg/Hz}$$

$$V_T = 8 \text{ bit/seg/Hz}$$



- Distorsiones en transmisión:
 - Ruido térmico (dispersa amplitud constelación)
 - Ruido de fase en osciladores (gira constelación)
 - Multicamino (ecos): interferencia entre símbolos ISI



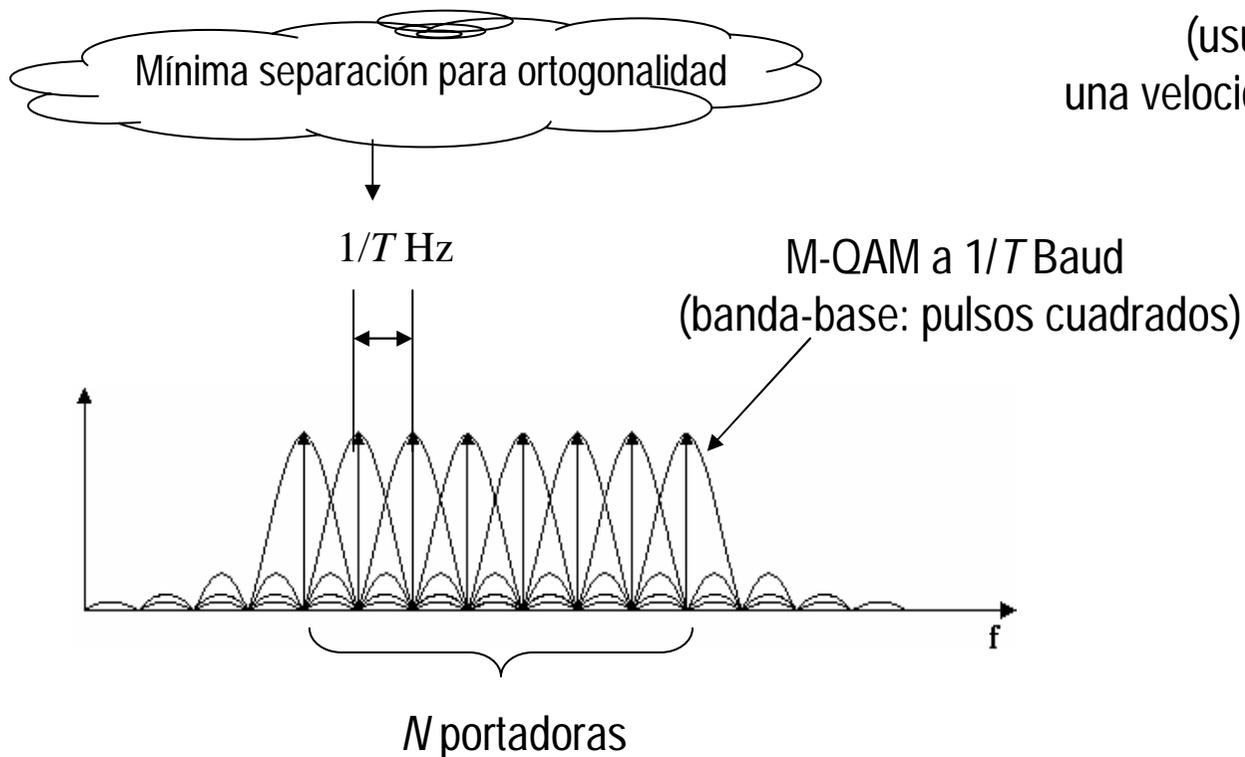
- Para una tasa binaria de 30 Mb/s
 - **QPSK**
 - B = 15 MHz
 - T = 67 ns
 - **16 QAM**
 - B = 7,5 MHz → Cabe BW canal TV analógico
 - T = 134 ns
 - **64 QAM**
 - B = 3,75 MHz
 - T = 267 ns

- Medida de la calidad señal recibida: **BER**
- BER objetivo: $9 \cdot 10^{-5}$ (a la entrada del dec. Reed-Solomon)
 - Generalmente BER inferior 10^{-2} es suficiente gracias a sistema corrección errores
- QPSK utiliza mayor ancho de banda pero es más robusta:
 - Tolera bien ruido térmico
 - Útil cuando C/N es baja (satélite)
- QAM muy sensible a errores:
 - Se emplea fundamentalmente en redes de cable

OFDM: Modulación multiportadora

OFDM: *Orthogonal Frequency Division Multiplex*

“Conjunto de portadoras separadas $1/T$ Hz (ortogonales), moduladas cada una de ellas (usualmente en M-QAM) a una velocidad de modulación de $1/T$ Bd”



Generación: N moduladores QAM sincronizados
Recepción: N demoduladores QAM sincronizados

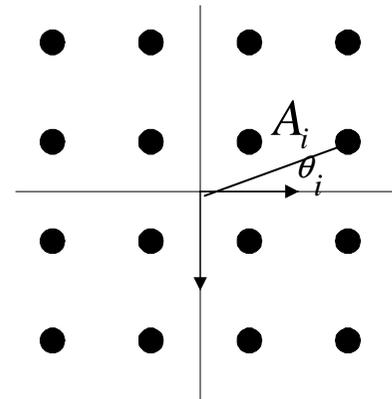
¡Impráctico!

Cada portadora: tono con cierta amplitud y cierta fase (**QAM**)

$$s_k(t) = A_i e^{j2\pi f_k t + \theta_i}$$

Señal OFDM: **suma** de estas portadoras moduladas

$$s_{OFDM}(t) = \sum_{k=-N}^N A_i e^{j2\pi f_k t + \theta_i}$$

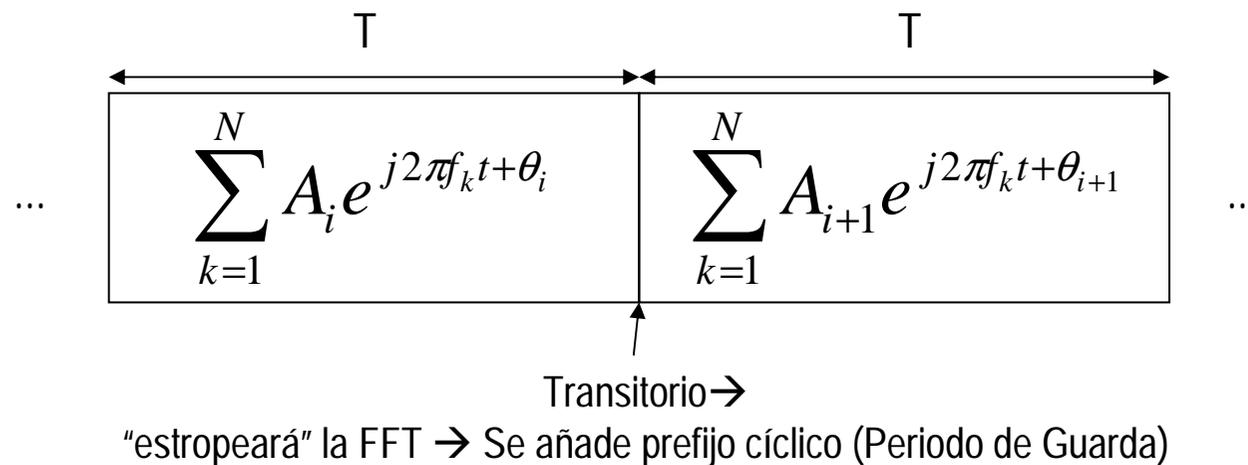


Solución: **IFFT** (*Inverse Fast Fourier Transform*) → Demodulación: FFT

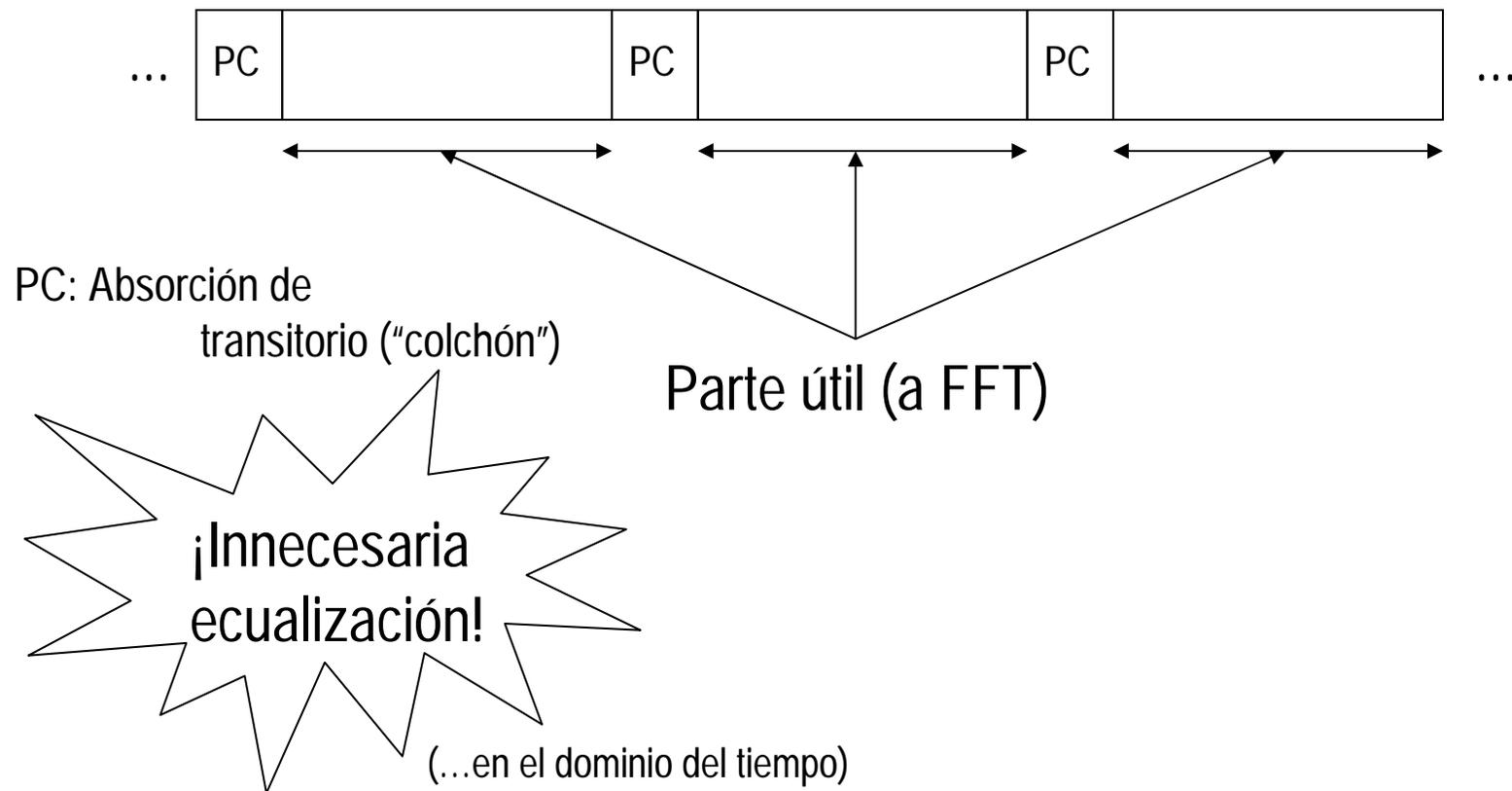
- El régimen binario total será: $R_{total} = N \frac{1}{T} \log_2 M$ bit/s

(N portadoras moduladas todas en M -QAM)

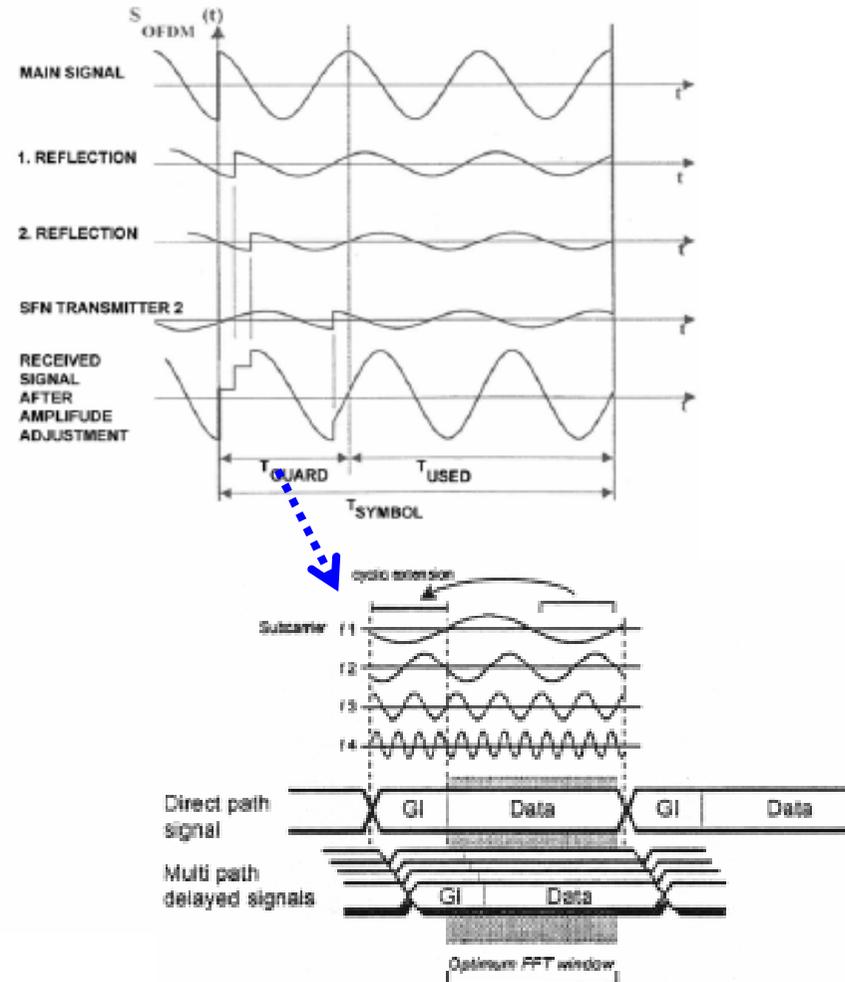
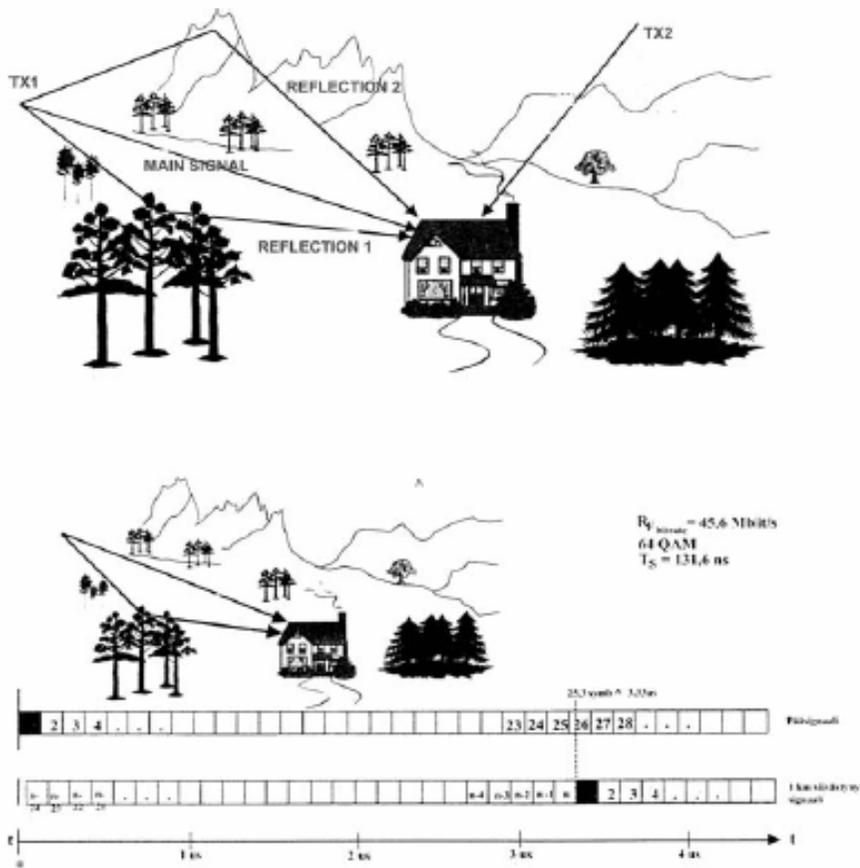
- Espectro **compacto** conforme crece M
- Secuencia de símbolos OFDM:



■ Prefijo cíclico



Resistencia Frente a Multipath



Implementación OFDM

- Requisito esencial: **HW rápido** para FFT e IFFT

Es necesaria ecualización en el dominio de la frecuencia:

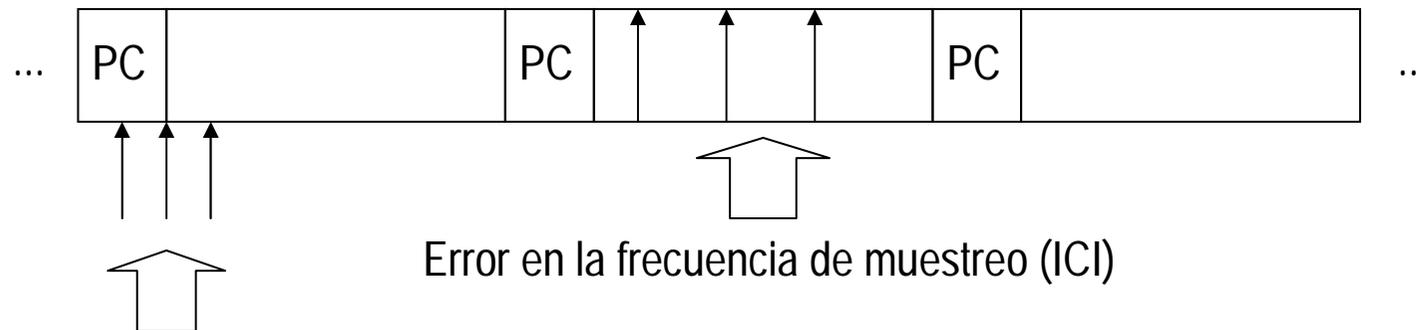
→ Ecualización en constelaciones de cada portadora: amplitud y fase.

... sin embargo, es muy crítico en el sincronismo → Fenómenos de error:

(a cualquier nivel)

- ISI (InterSymbol Interference)

- ICI (InterCarrier Interference)



Error de inicio de símbolo (ISI)

Error en la frecuencia de muestreo (ICI)

Si hay up/down-conversion, un error de IF → **ICI !!**

- COFDM más robusta frente problema multicamino

Ecos naturales $7 \mu s$

COFDM utiliza intervalo guarda (7 a $224 \mu s$)

División en 2000 o 8000 subportadoras

- Ejemplo 2000 portadoras QPSK:

$30 \text{ Mb/s} / 2000 = 15 \text{ kb/s}$

$B_{\text{sub}} = 7,5 \text{ kHz}$

$T_{\text{sub}} = 133 \mu s$

Intervalo $7 \mu s$ es sólo 5% duración símbolo

- **Modulación más alta, o mayor número portadoras:**
 - Duración símbolo mayor
 - Permite utilizar intervalo guarda mayor
- **Permite Redes de frecuencia única (SFN)**
 - Intervalo de guarda de al menos 200 μ s (60 km)
 - Facilita la planificación de frecuencias:
 - Mismo canal todo el país
 - Mismo canal toda una autonomía
 - Gap filler* (zonas mala cobertura, doméstico)

5.1 Introducció

5.2 Codificació digital

5.2.1 Modulacions

5.2.2 Codificació y compresió

5.3 Televisió Digital Terrenal

5.4 Difusió Digital Satélite

5.5 Difusió Audio Digital (DAB)

Codificación Imagen

- Recomendación CCIR-601
- Muestreo a 720 muestras/línea (independiente sistema)
- 576 líneas (sist.625 líneas) ó 480 líneas (sist. 525 líneas)
- Imagen representada por 24 bits por pixel (3x8 bit)
RGB → R'G'B' (gamma corrected-RGB)
- Video se divide en luminancia (Y) y Crominancia (C)

$$R'G'B' \rightarrow Y' C_B C_R$$

$$Y' = 0.299R' + 0.587G' + 0.114B'$$

$$C_B = 0.564(B'-Y')$$

$$C_R = 0.713(R'-Y')$$

- Nomenclatura: Luminancia –vs- Luma (Y –vs- Y')

Y es la luminancia directa

Y' is la luminancia (llamado Luma) cuando se usa corrección-gamma

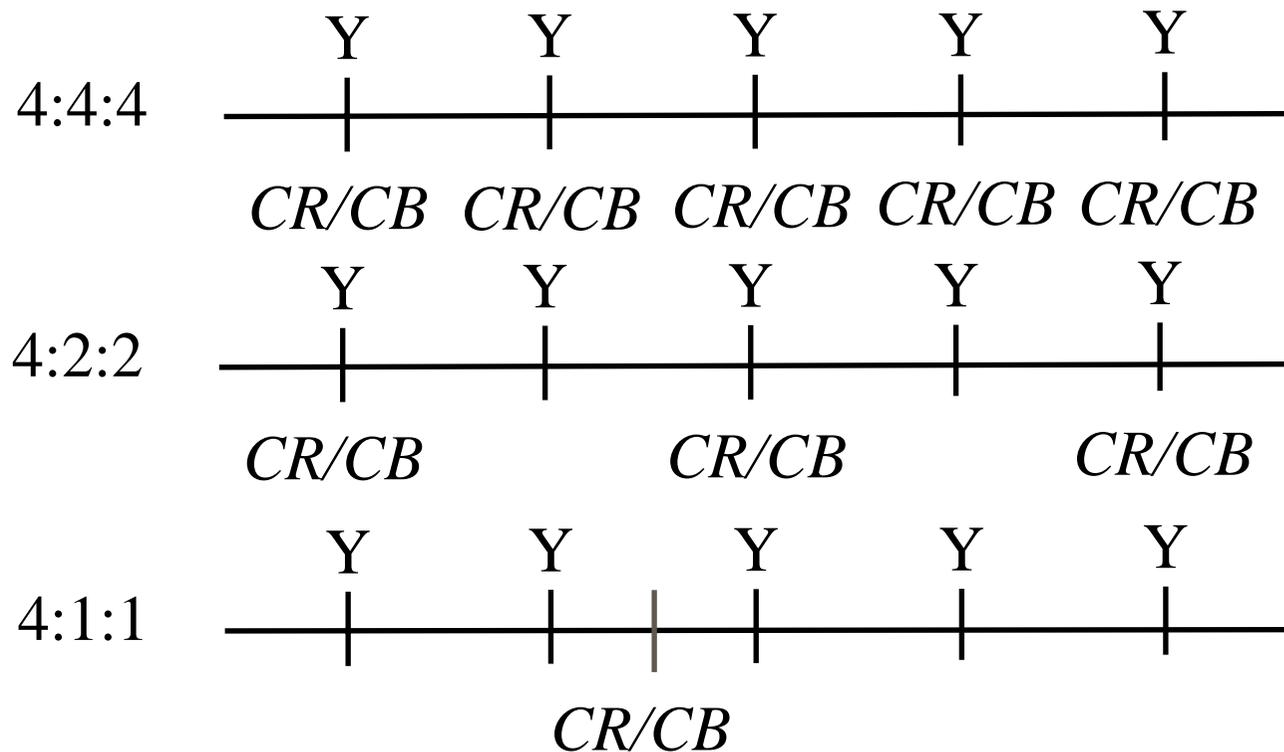
Submuestreo Croma

- Submuestro Croma (reducción bit/pixel)
 - 2 Croma/Luma → 16 bpp
 - 1 Croma/Luma → 12 bpp
- Notación: a:b:c
 - a → muestras de Luma
 - b → muestras de Croma por línea impar
 - c → muestras de Croma por línea par
- Ejemplo: 4:4:4, 4:2:2, 4:1:1, 4:2:0, ...

Muestreo Imagen Digital

- Estándar CCIR601. (ITU-R. 601)
- Frecuencias de muestreo estándar:
 - Muestreo tipo 4:2:2
Luma muestreada a 13.5MHz, Cromas a 6.75MHz (2x3.375MHz)
 - Muestreo tipo 4:1:1
Luma muestreada a 13.5MHz (4x3.375MHz), Cromas a 3.375MHz
 - Muestreo tipo 4:2:0
Luma muestreada a 13.5MHz, Cromas a 6.75MHz (entrelazado)
 - Muestreo tipo 4:4:4
Luma y Cromas muestreadas a 13.5MHz

Muestreo de Línea

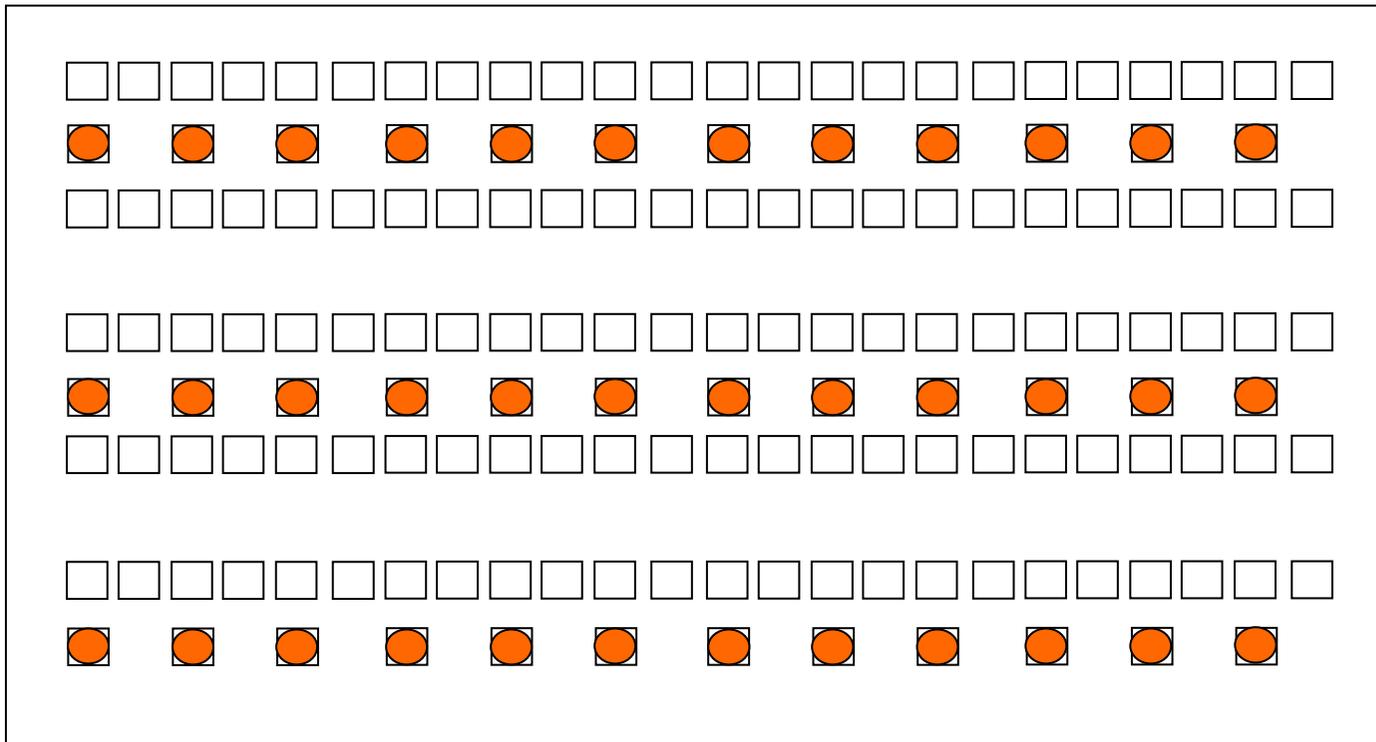


4:2:2 → Calidad Producción

4:2:0 → Calidad Difusión (Broadcast) → Base codificación MPEG2

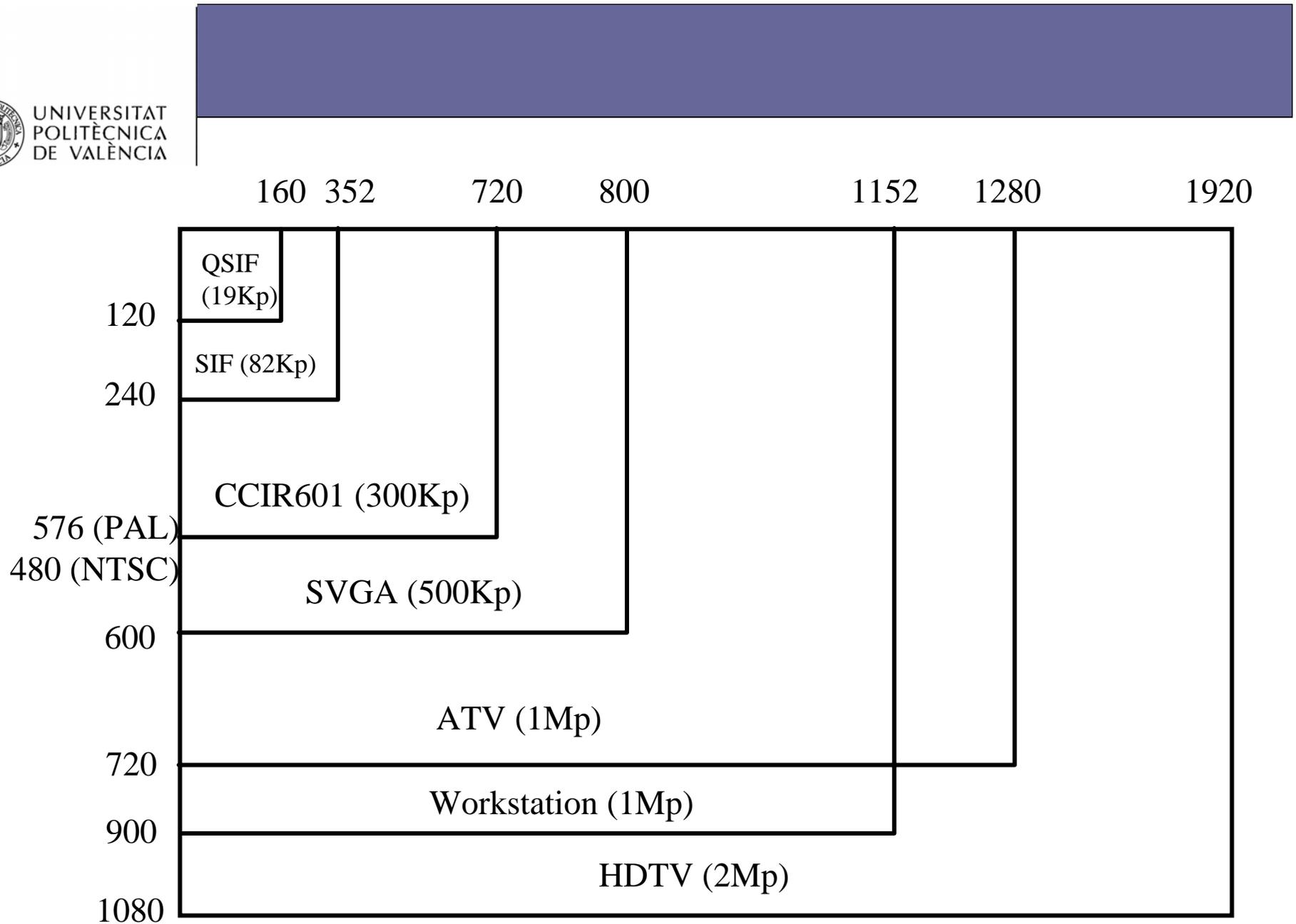
4:1:1 → Calidad VHS

Muestreo 4:2:0 (MPEG2)



- Muestra Luma*
- Muestra Cromo*

Tamaño imagen





NTSC	
640 x 480	Square pixels
720 x 480	Non-square pixels
720 x 540	Square pixels CCIR-601 standard
PAL	
768 x 576	Square pixels CCIR-601 standard
720 x 576	Non-square pixels CCIR-601 standard

- NTSC:**
- ◆ National Television Standards Committee
 - 525 scan lines, 60 Fields, 15.734kHz line, Sub-Carrier 3.580MHz
 - resolution 720x486 @ 29.97 fps
- PAL:**
- ◆ Phase Alternate Line
 - resolution 720x576 @ 25 fps

Table 1: Different rasterization used in PAL/NTSC to digital conversion

¿De que regímenes binarios estamos hablando ?

- CCIR-601

720x576 → Calcular... pixels/frame

4:2:2 → Calcular... → (167Mbit/s)!

4:4:4 → Calcular...

- ATV (MPEG MP@ML)

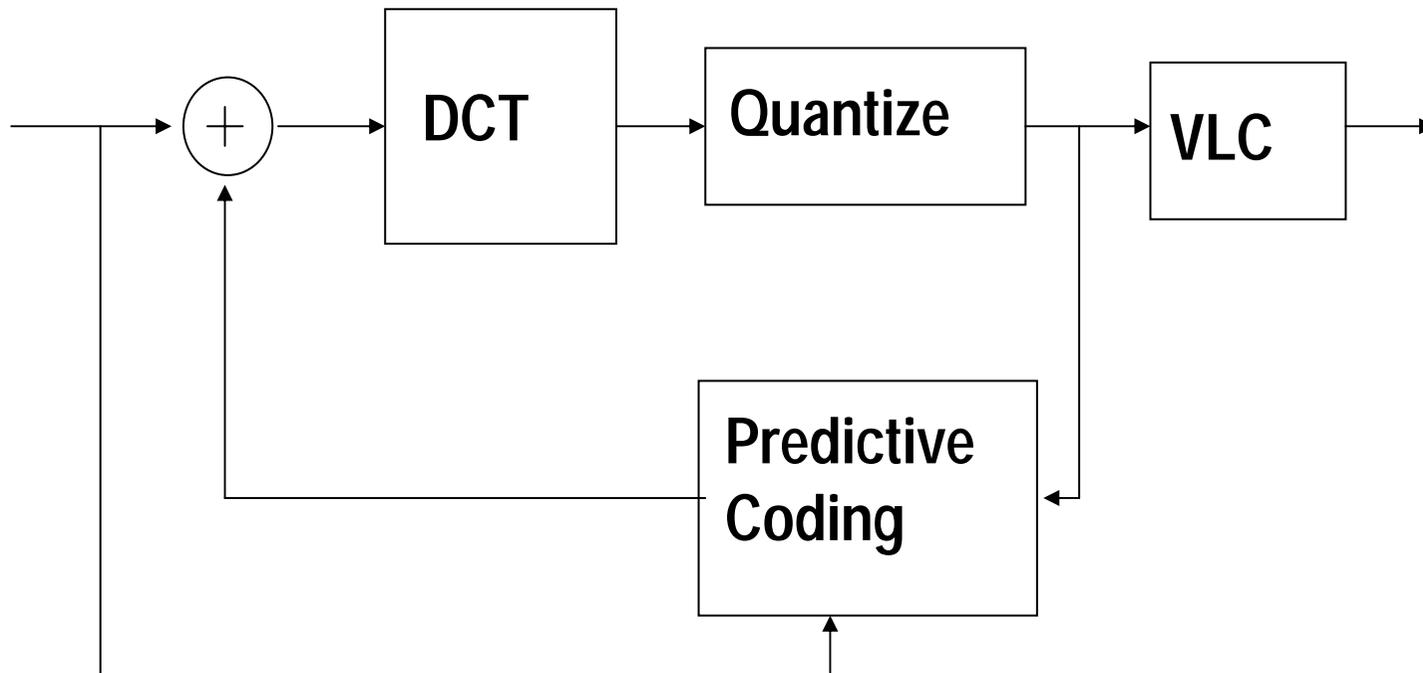
1280x720 = 921,600 pixels/frame

4:2:0 → Calcular...

(Nota: streams MPEG2 ocupan 1.5-80 Mbs)

- Motion Picture Experts Group
 - MPEG-1 (ej: Layer 3(audio)→ MP3), MPEG-2, MPEG-4
- Formato de compresión de vídeo: eficiencia máx. 55:1
- Motion Estimation Predictive Coding
- Basado en DCT (Discrete Cosine Transform)

MPEG-2: Esquema básico compresión



MPEG-2: Pasos Compresión

Imagen Fija:

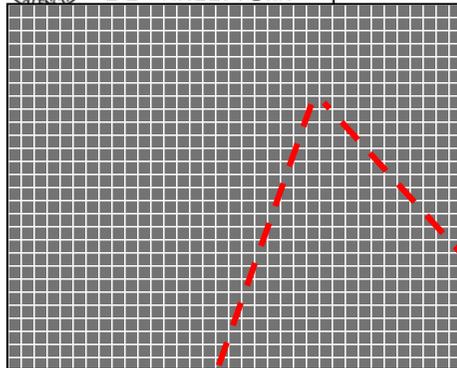
- 1) Descomposición imagen en bloques 8x8 pixel
- 2) DCT sobre matriz 8x8 → Resultado matriz 8x8 espectral
- 3) Cuantificación coeficientes matriz (fijar umbral respuesta ojo)
- 4) Zig-zag scan (+ eficiente) → Generamos Bit stream
- 5) Run-length coding (RLC) → Sustituimos n° ceros por cifra
- 6) Variable-length coding (VLC) Huffman → Codificación secuencias en función su prob.

Movimiento:

- 7) Codificación predictiva a nivel de cuadro

MPEG-2: tecnologías Clave

- Discrete Cosine Transform → Comp. a nivel Bloques
 - Basado en Bloques 8x8 píxel
 - Cuantificación por bloque
- RLC+VLC → Comp. a nivel Bits
 - Algoritmo Huffman: basado en la prob. de secuencias bits
 - Aplicado sobre los bits resultantes DCT
 - Zig-Zag o Alternate scan
- Predictive Coding → Compresión a nivel de cuadros



Imagen

DCT + Cuantificación

Umbral (0's) + Cuantificación

Quantize Matrix

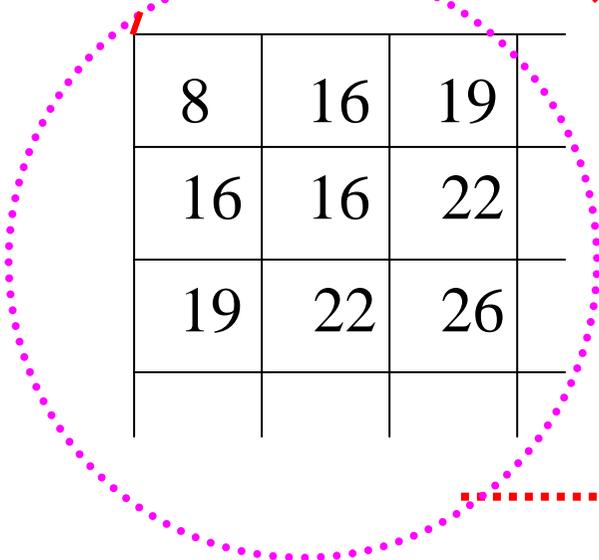
8	16	19	
16	16	22	
19	22	26	

DCT Block

64	24	19	
21	16	14	
41	5	27	

Quantized DCT Block

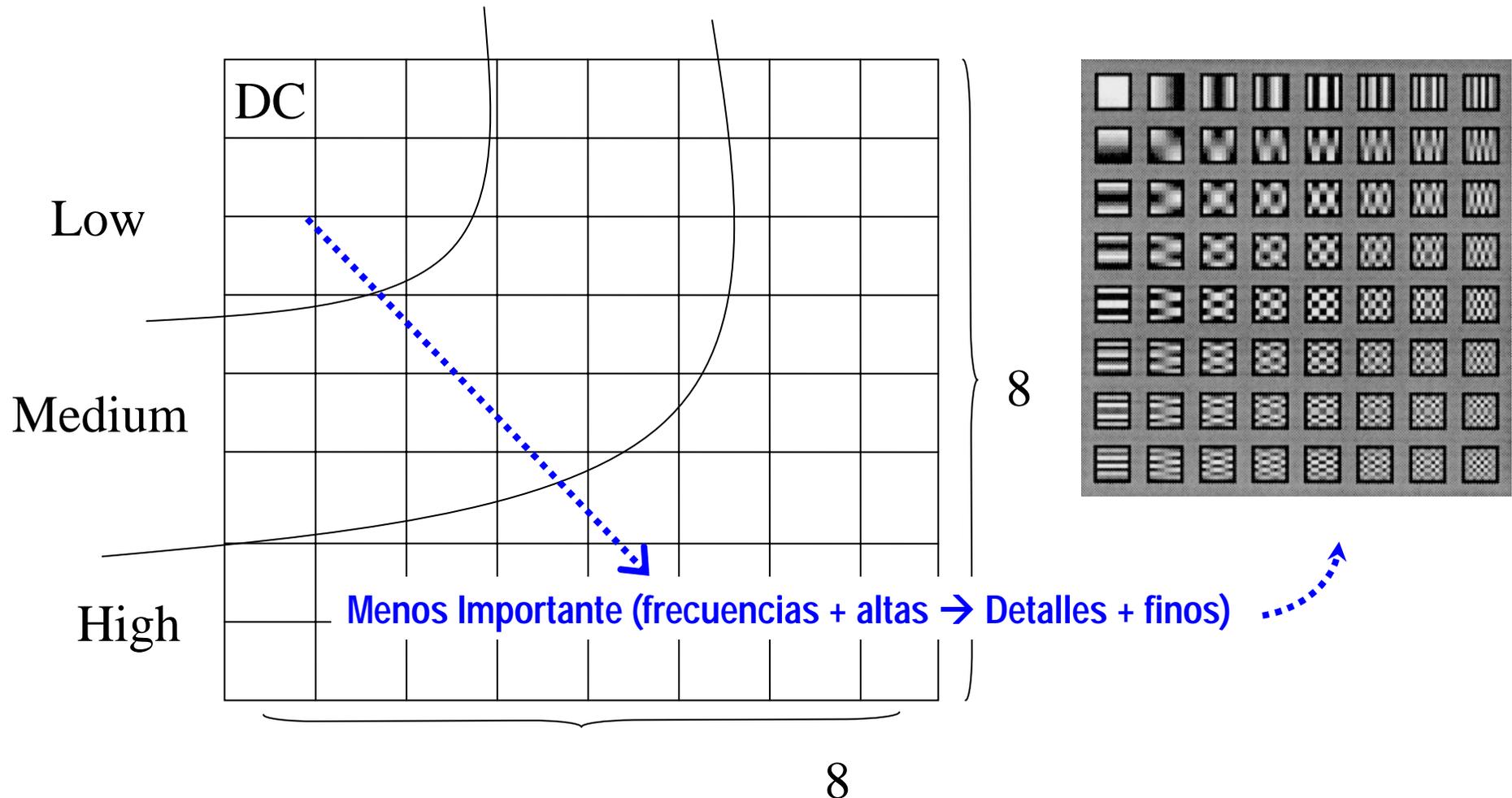
8	1	1	
1	1	0	
2	0	1	



Trozo Bloque 8x8

*Hypothetical Numbers

Contribución componentes DCT



Hoffman/Run-Length Coding (cont.)

- DCT + Cuantificació → Obtenemos muchos valores "Cero"
- RLC + VLC → Aprovecha esto y consigue comprimir por 2 ó 3

RLC [12, 0, 0, 0, 3, 0, 0, 1, 2, 0, 0, 5, 0...0]



12, (3,3) (2,1) (0,2) (2, 5), EOB

VLC Tabla pre-definida

Motion Compensated Prediction

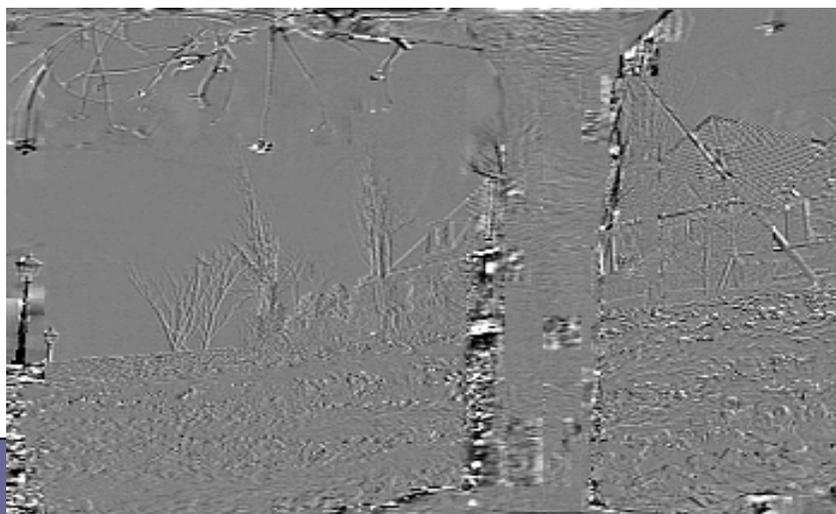
Primer Cuadro



Segundo Cuadro

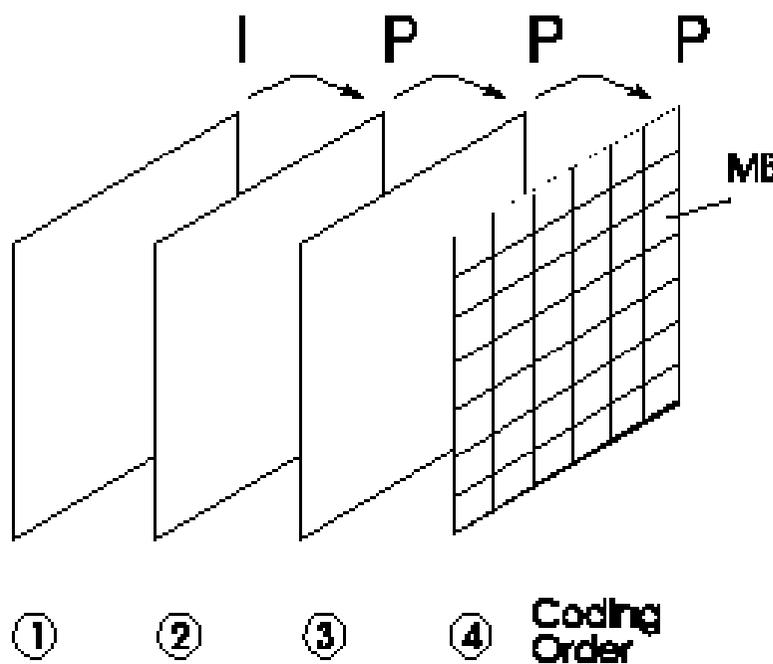


Diferencias



→ Podemos predecir hasta cierto punto el movimiento de las zonas. (TX)

- I frame — Intra-coded frame
- P frame — Inter-coded frame or Predicted frame



A.) Frame Prediction



B.) Macroblock

Movimiento: Motion Estimation Predictive Coding

Predicción: Estimación (mediante búsqueda) de la posición de los macrobloques en el cuadro siguiente

- Cuadro I → Sin predicción. Solo info del cuadro actual
- Cuadro P → Predicción en función del cuadro anterior
- (Singular direction prediction) (compresión media)
- Cuadro P(tipo B) → Predicción en función del cuadro anterior y posterior (Bi-directionally predicted) (máxima compresión)
- Secuencia: IBBPBBPBBPBBPBB (15 cuadros)