

Televisión digital
Aspectos de codificación y
modulación

Guillermo Langwagen
Universidad ORT Uruguay
Academia Nacional de Ingeniería

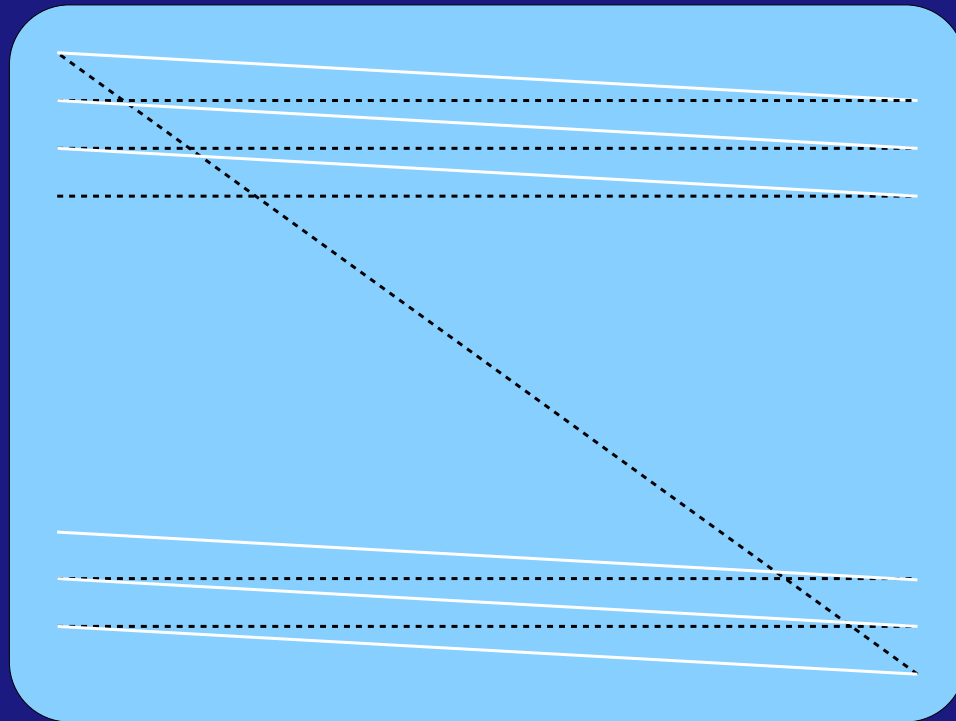
Mayo 2008

Temario

- **Television analógica**
- **Digitalización de video y audio**
- **Compresión de imágenes, video y audio**
- **Transmisión terrestre de televisión**

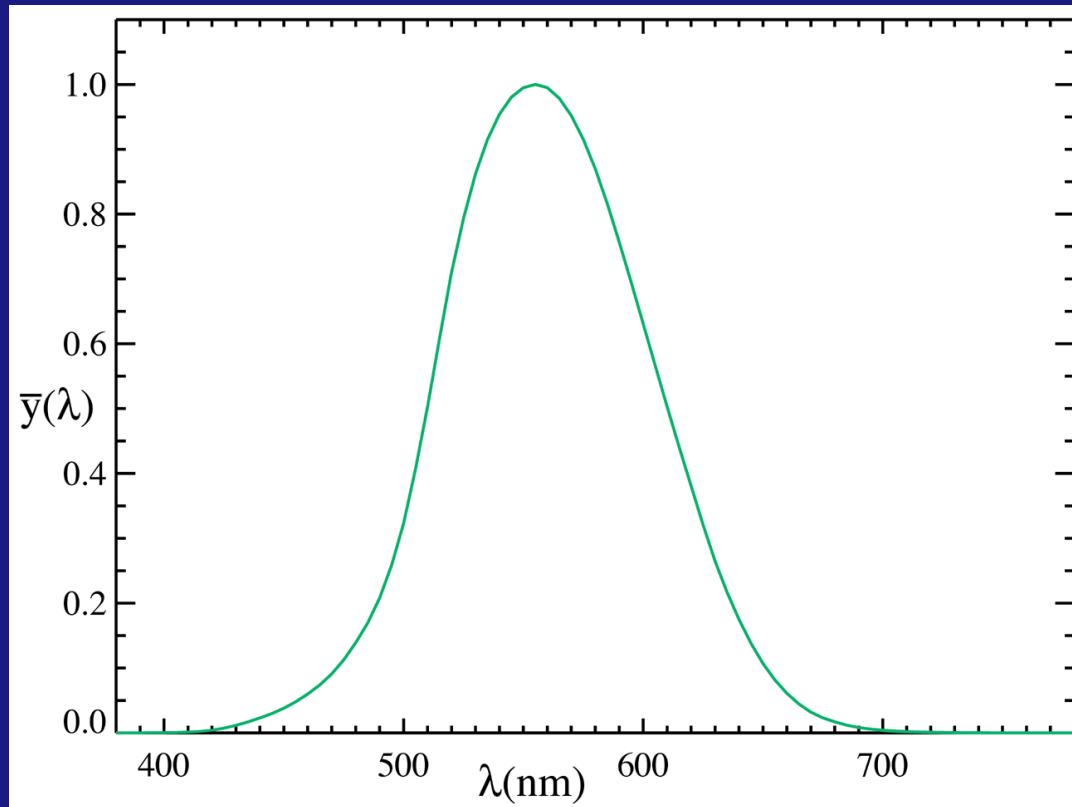
Televisión analógica monocromática

- sucesión de cuadros o fotos fijas
- cada cuadro barrido de izquierda a derecha de arriba abajo por un haz luminoso



Características de la percepción

- curva de sensibilidad espectral



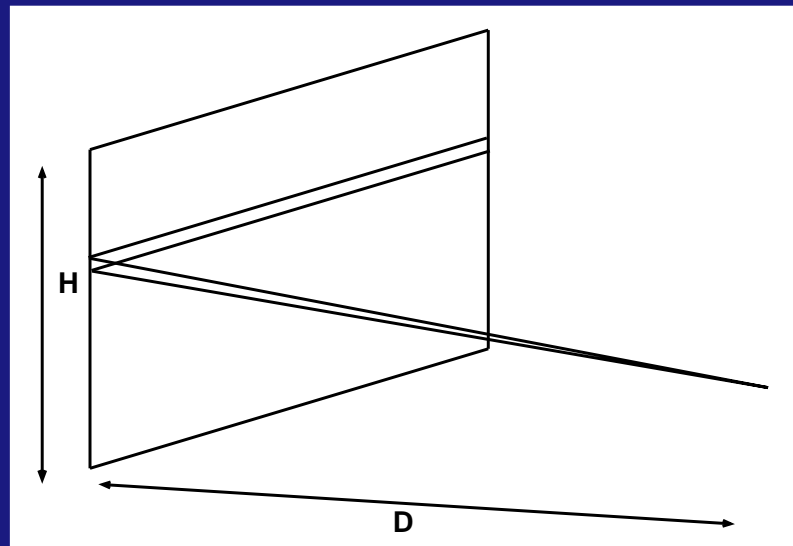
http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:CIE_1931_Luminosity.png

Características de la percepción

- sensación de movimiento suave: más de 16 cuadros/segundo
- no percepción del parpadeo: más de 50-70 cuadros/segundo
- acuidad visual: ángulo subtendido alrededor de 1 minuto de arco

Hipótesis y preferencias

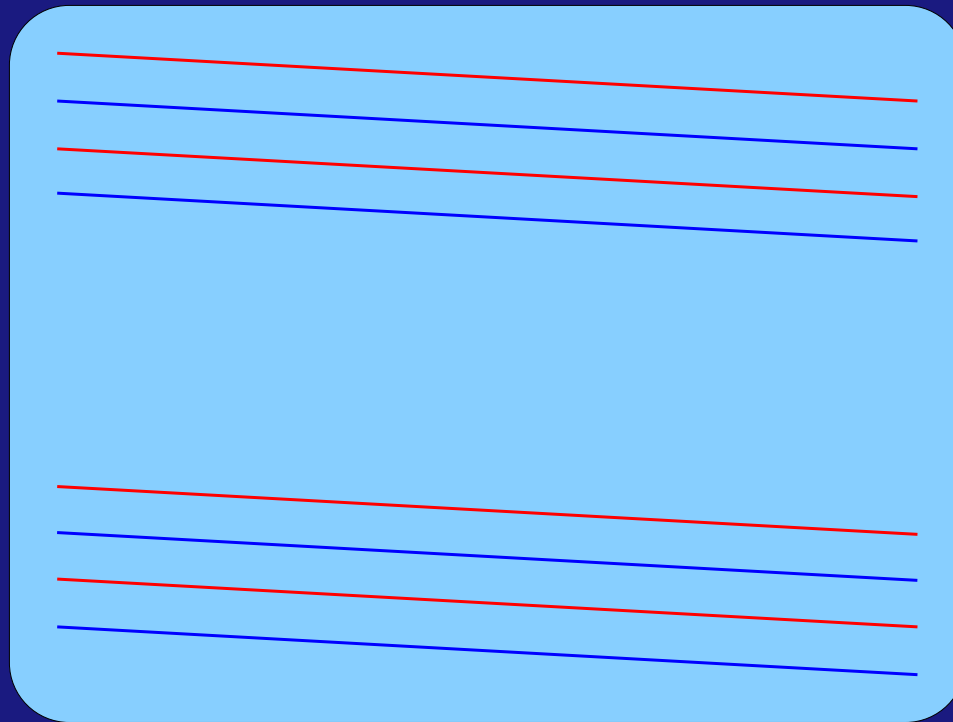
- distancia de visualización entre 5 y 6 veces la altura de la imagen
- relación aspecto (ancho:alto) 4:3



$$\alpha \approx \tan(\alpha) \approx \frac{H/N}{D} \approx \frac{1}{6N}$$

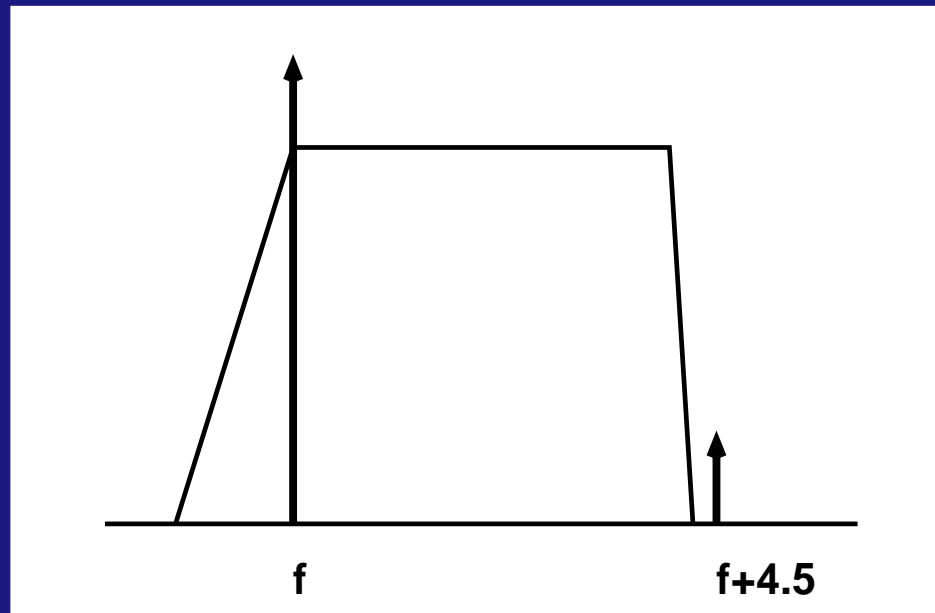
Parámetros barrido SDT

- 30 cuadros/s, 525 líneas (USA)
- 25 cuadros/s, 625 líneas (Europa)
- Barrido entrelazado



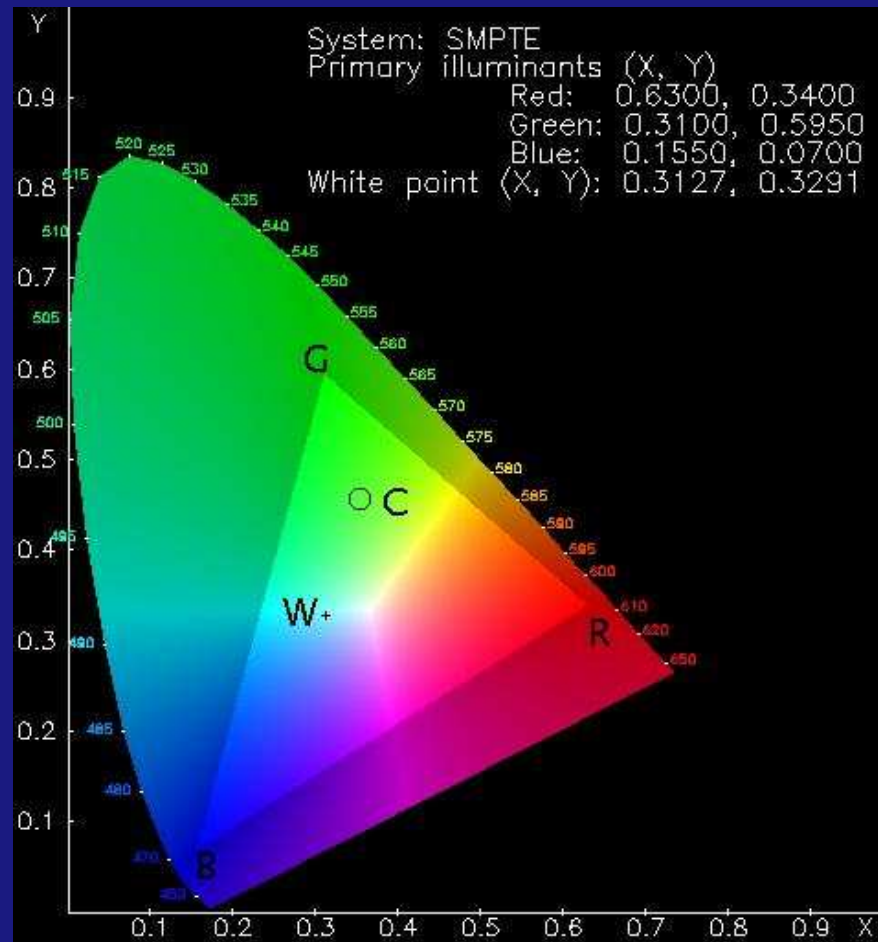
Modulación

- video - modulación de amplitud en banda lateral vestigial, canales de 6 MHz (EEUU) a 8MHz (Europa)
- audio - modulación en frecuencia sobre portadora independiente



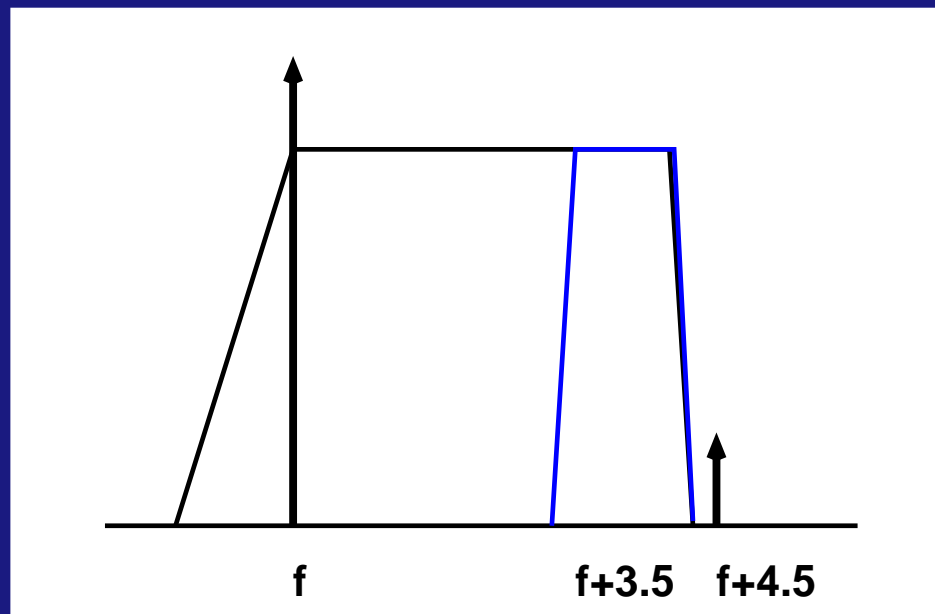
Adición del color

- basada en la teoría tricromática de la visión



Retrocompatibilidad

- la señal de luminancia y dos señales que llevan la información de color, el croma
- $R, G, B \longrightarrow Y, B-Y, R-Y$
- las diferencias de color se modulan en cuadratura sobre la portadora de color con menor ancho de banda



Metas de calidad y uso del espectro

- calidad óptima requiere $S/N > 50\text{dB}$
- esto obliga a asignar con sumo cuidado la misma frecuencia o las frecuencias adyacentes en la transmisión terrestre de televisión

Razones para la digitalización

- eliminar interferencia y ruido en la transmisión terrestre
- ofrecer una señal de calidad mejorada para competir con otros medios: cable o satélite
- para mejorar la eficiencia del uso del espectro

Recomendación ITU-R BT.601 (CCIR 6001)

- frecuencia de muestreo 13.5 MHz, 10 bits/muestra
- familia de resoluciones espaciales 4:2:2, 4:4:4, 4:1:1
- 4:2:2 = una señal de luminancia 6MHz
dos diferencias de color de 3MHz c/u
- barrido M (525 líneas) → 720 x 480
barrido N (625 líneas) → 720 x 576

Tasa de transmisión de información

- una señal de video resolución estándar en el formato 4:2:2 requiere 270 Mb/s
- dos canales de audio a 48KHz, 16b/muestra requieren 1.5 Mb/s
- usando una estimación razonable (3b/Hz) se pueden transmitir 18-24 Mb/s por un canal de televisión

Compresión JPEG

- **compresión por transformadas con pérdidas**
 - **cálculo de la transformada coseno discreta (DCT) en bloques de 8 x 8**
 - **cuantificación selectiva de los coeficientes de Fourier (con pérdidas)**
 - **codificación de entropía para almacenar los coeficientes (sin pérdidas)**

Compresión JPEG

16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	55
14	13	16	24	40	57	69	56
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	56	68	109	103	77
24	35	55	64	81	104	113	92
49	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

Tabla de cuantificado típica ISO/IEC 10918-1

Comparación compresión JPEG



original, 1010 × 675, 2MB

Comparación compresión JPEG



compresión v1, 1010 × 675, 122 KB, RC=16

Comparación compresión JPEG



compresión v2, 1010 × 675, 36 KB, RC=57

Comparación compresión JPEG



detalle original

Comparación compresión JPEG



detalle compresión v2

Relaciones de compresión obtenidas

- cantidad de información por pixel inicial 3 x 8 bitios

opinión	b/pixel	compresión
indistinguible	1.5 a 2.0	16 a 12
excelente	0.75 a 1.5	32 a 16
muy buena	0.5 a 0.75	48 a 32
razonable	0.25 a 0.5	96 a 48

Relaciones de compresión y calidad de imagen
Wallace, 1991

Compresión de video MPEG

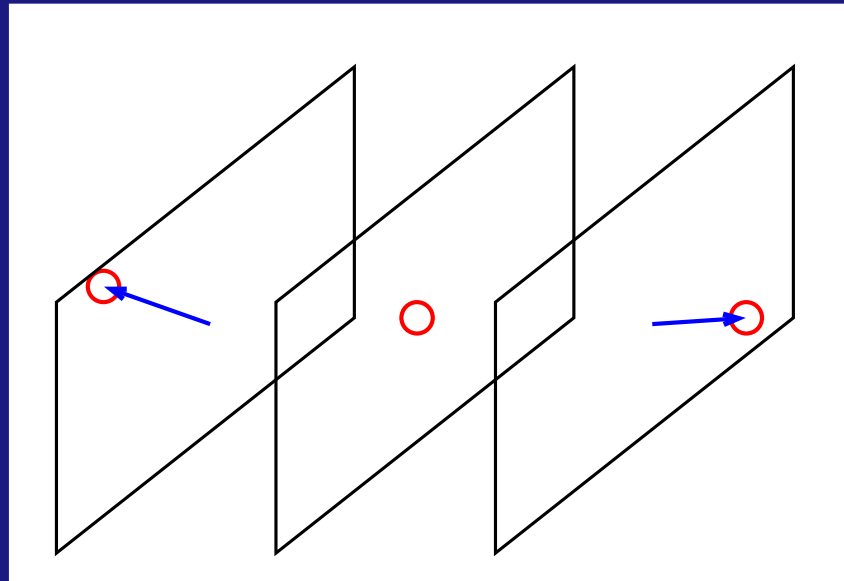
- basada en JPEG, incorpora compensación del movimiento buscando bloques similares en cuadros consecutivos
- cada cuadro puede ser
 - I intracodificado
 - P predictivamente codificado
 - B bidireccionalmente predictivamente codificado

Compresión de video MPEG

- cuadros I se codifican por sí mismos (JPEG)
- c/bloque en un cuadro P puede codificarse por sí mismo o buscar el 'más parecido' en el cuadro I o P que le precede
- para c/bloque en un cuadro B se agrega la posibilidad de codificarse respecto de un cuadro I o P siguiente o un promedio entre dos bloques en los cuadros I o P precedente y siguiente

Compresión de video MPEG

- para bloques intercodificados
 - se almacenan los vectores de desplazamiento
 - se restan pixel a pixel los valores del bloque de referencia
 - se aplica la compresión por transformadas a la diferencia



Compresión MPEG

- valores típicos de cantidad de información y razón de compresión

cuadros	b/pixel	compresión
I	1.0	15 a 30
P	0.1	150 a 300
B	0.015	1000 a 2000

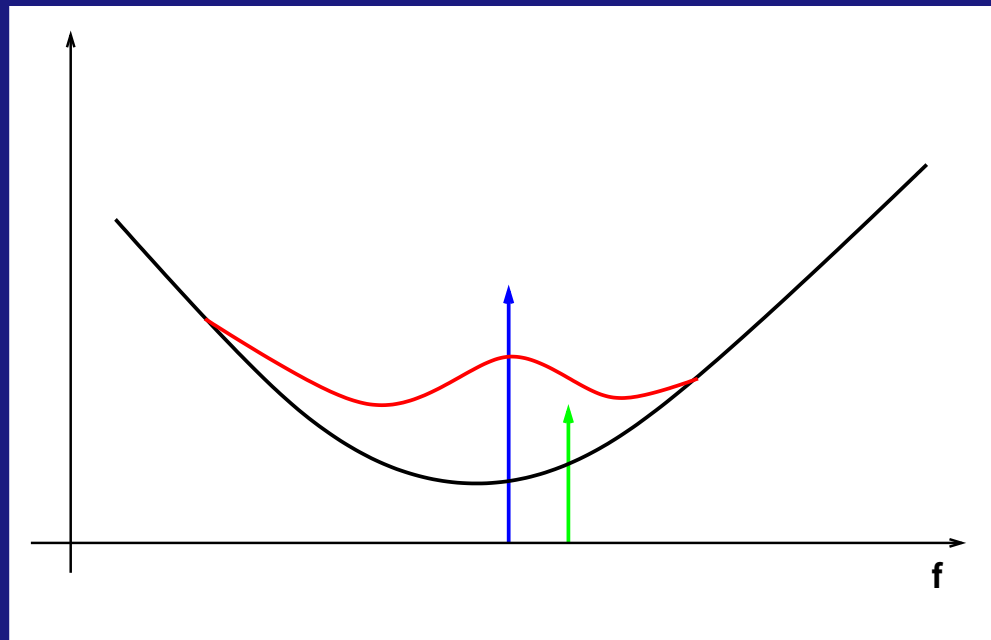
MPEG FAQ de Berkeley Multimedia Research Center

Grupo de imágenes GOP típico

I-B-B-P-B-B-P-B-B-I

Compresión de audio en MPEG

- **compresión perceptual basada en el fenómeno de ‘enmascarado’**
 - **los tonos más intensos determinan umbral de percepción**
 - **número mínimo de bits para que el ruido de cuantificado no sea audible**



Algunas variantes posibles en MPEG-2

- relación aspecto 4:3, 16:9
- frecuencia de cuadros 24,25,30,50,60
- barrido entrelazado y progresivo
- formatos de croma 4:2:2, 4:2:0

H	V	
352	240,288	LDTV
720	480,576	SDTV, EDTV
1280	720	HDTV
1920	1080	HDTV

Tasas transmisión información en MPEG-2

- SDTV
 - noticieros 2 a 3 Mb/s
 - películas 2 a 5 Mb/s
 - deportes 4 a 8 Mb/s
- HDTV 15 a 20 Mb/s

Estándar ATSC

- **Advanced Television Systems Committee**
- **modulación 8 niveles con pulsos de Nyquist de 11.5% de exceso de ancho de banda**
- **banda lateral superior sobre canal de 6 MHz (8-VSB)**
- **velocidad de modulación 10.76 MBaud**
- **tasa útil de transmisión de información 19.39 Mb/s**

Estándar ATSC

- flujo de transporte MPEG-2, perfil principal, niveles principal y alto

H	V	F
1920	1080	24,30
1280	720	24,30,60
704	480	24,30,60
640	480	24,30,60

- flujo de audio AC-3, 48KHz, 16 a 24 b/muestra, 1 a 5.1 canales

Estándar DVB-T

- Digital Video Broadcasting terrestrial services
- p/minimizar ISI por multicaminos reduce velocidad de modulación hasta que $T_S \gg T_D$
- peor caso $T_D \approx 200\mu s$ (60 Km a c), $T_S \approx 1ms$
- p/minimizar uso espectro todas las portadoras multiples de $1/T_S$

$$\int_{T_S} \cos(2\pi f_1 t) \cos(2\pi f_2 t) dt = 0$$

$$\iff (f_1 \pm f_2)T_S = k \in \mathbb{Z}, k \neq 0$$

- OFDM Orthogonal Frequency Division Multiplexing

Estándar DVB-T

- 8K portadoras múltiples de 1116 Hz en canal de 8 MHz
- para construir el modulador usamos la DFT inversa

$$z(t) = \sum x_k \cos\left(2\pi \frac{k}{T_S} t\right) + y_k \sin\left(2\pi \frac{k}{T_S} t\right)$$

$$t = \frac{nT_S}{M} \quad a_n = \frac{1}{M} \sum \hat{a}_k e^{j2\pi \frac{nk}{M}}$$

- ingresan símbolos x_k, y_k en paralelo, salen las muestras $z\left(\frac{nT_S}{M}\right)$ de la señal modulada en serie

Estándar DVB-T

- para demodular usamos la DFT

$$x'_k = \int_{T_S} z'(t) \cos\left(2\pi \frac{k}{T_S} t\right) dt$$

$$t = \frac{nT_S}{M} \quad \hat{a}_k = a_n e^{-j2\pi \frac{nk}{M}}$$

- ingresan en serie las muestras $z'\left(\frac{nT_S}{M}\right)$ de la señal a demodular y salen en paralelo los símbolos recibidos x'_k, y'_k

Variantes posibles en DVB-T

- 8K o 2K portadoras en canales de 6, 7 u 8 MHz
- modulación 4QAM, 16QAM o 64QAM
- intervalos de guarda $1/4$, $1/8$, $1/16$ o $1/32$ de T_S
- codificación de error $1/2$, $2/3$, $3/4$, $4/5$, $5/6$ o $7/8$
- tasas de transmisión de información entre 5 y 32 Mb/s
- dos flujos de datos: de alta y baja prioridad
- redes de frecuencia única SFN

Codificación audio y video en DVB

- flujo de transporte MPEG-2, perfil principal, niveles principal y alto

H	V	F	RA
1920	1080	24,25,30	16:9
1280	720	24,25,30,50,60	16:9
720	576	25,50	4:3, 16:9
720	480	24,30,60	4:3, 16:9

- flujo de audio MPEG-1 layer I y II, 32, 44.1 o 48KHz, 16 b/muestra, 1 o 2 canales

Algunos comentarios

- analógico vs digital
- SDTV o HDTV
- retrocompatibilidad
- Uruguay adoptó DVB-T

Sites interesantes

- www.dvb.org
- www.atsc.org
- www.mpeg.org
- www.televisiondigital.es
- www.digitaltelevision.gov.uk
- www.dtv.gov
- www.bbc.co.uk/rd