

Sistema transmisor ISDB-T

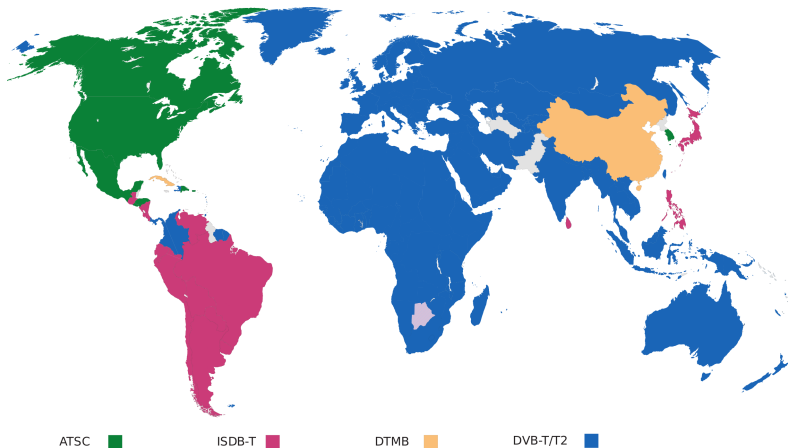
Pablo Flores Guridi, pablof@fing.edu.uy

Curso Tecnología de Servicios Audiovisuales
Instituto de Ingeniería Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de la República
Montevideo, Uruguay

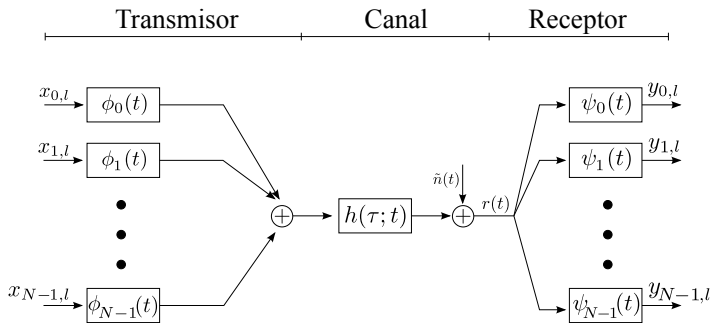
5 de noviembre de 2018



Integrated Services Digital Broadcasting, Terrestrial

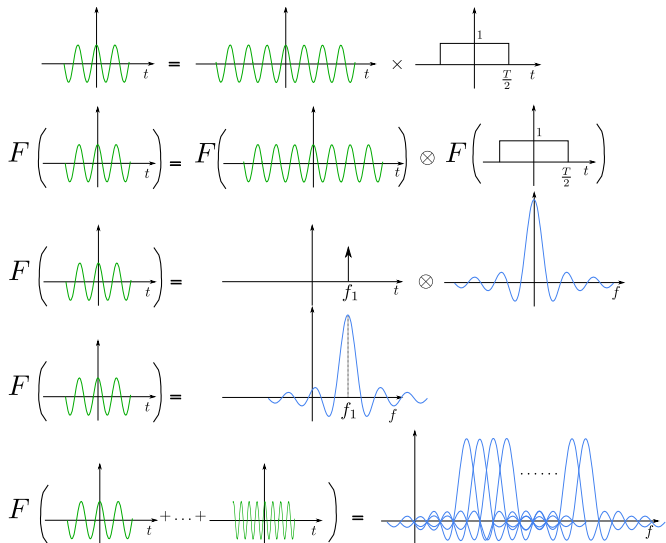


OFDM: modelo continuo

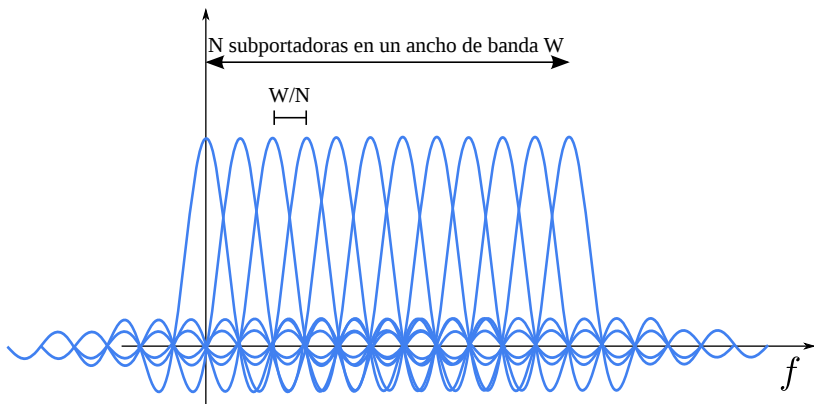


- $\phi_k(t) = e^{j2\frac{\pi}{T_s}kt} \cdot \Pi\left(\frac{t}{T_s}\right)$
 - $\mathcal{F}\left\{e^{j2\frac{\pi}{T_s}kt}\right\} = \delta\left(f - \frac{k}{T_s}\right)$
 - $\mathcal{F}\left\{\Pi\left(\frac{t}{T_s}\right)\right\} = T_s \cdot \text{sinc}(fT_s) = \frac{\text{sen}(\pi \cdot T_s f)}{\pi f}$

OFDM: formación del espectro



OFDM: espectro resultante



$$\Rightarrow \frac{W}{N} = \frac{1}{T_s} = f_s \quad (1)$$

OFDM: uso de la IFFT

- ¡modelo continuo es imposible sin ICI!
- señal transmitida para el símbolo l -ésimo:

$$s_l(t) = \sum_{k=0}^{N-1} x_{k,l} \phi_k(t - lT) = \sum_{k=0}^{N-1} x_{k,l} e^{j2\frac{\pi}{T_s} kt} \quad (2)$$

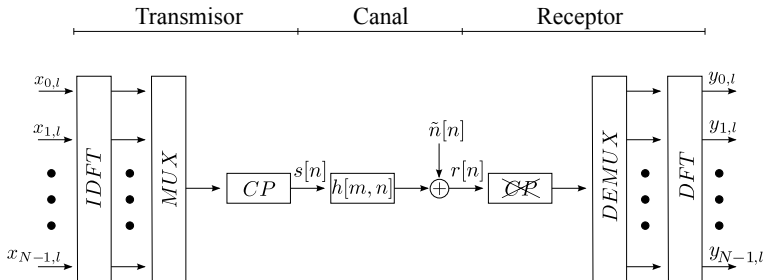
- observando N veces por símbolo OFDM, evaluamos para $t = \frac{T_s}{N} n$:

$$s_l\left(\frac{T_s}{N} n\right) = \sum_{k=0}^{N-1} x_{k,l} \phi_k(t - lT) = \sum_{k=0}^{N-1} x_{k,l} e^{j2\pi \frac{k}{N} n} \quad (3)$$

- De manera equivalente:

$$\mathbf{s}_l = IDFT \{ \mathbf{x}_l \} \quad (4)$$

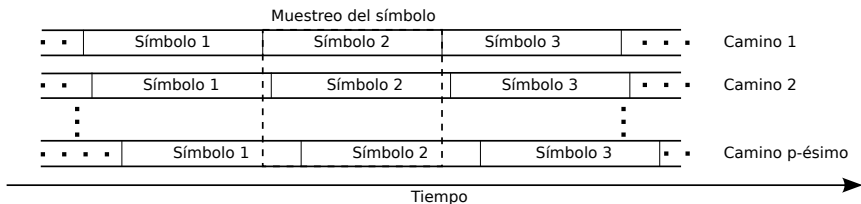
OFDM: modelo discreto



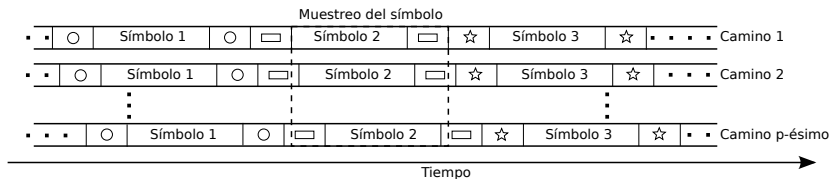
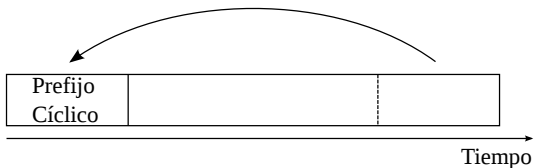
- por ser computacionalmente más eficiente se utiliza la FFT (IFFT)
- la cantidad de *constellation points* es siempre potencias de dos (2^m)
- f_{IFFT} : frecuencia a la que se transmiten las muestras calculadas

OFDM: prefijo cíclico (1)

- en sistemas inalámbricos hay multicamino!
- el receptor recibe varias versiones retardadas de la misma señal
- esto genera ISI en recepción



OFDM: prefijo cíclico (2)



OFDM: señal recibida

$$\mathbf{y}_l = DFT(IDFT(\mathbf{x}_l) \circledast \mathbf{h}_l + \tilde{\mathbf{n}}_l) = DFT(IDFT(\mathbf{x}_l) \circledast \mathbf{h}_l) + \mathbf{n}_l$$

donde

- \mathbf{y}_l es un vector con los N puntos recibidos
- \mathbf{x}_l son los N *constellation points* transmitidos
- \mathbf{h}_l es el vector respuesta al impulso del canal
- $\tilde{\mathbf{n}}_l$ es el ruido introducido por el canal
- $\mathbf{n}_l = DFT(\tilde{\mathbf{n}}_l)$ se considera ruido blanco, Gaussiano y aditivo.

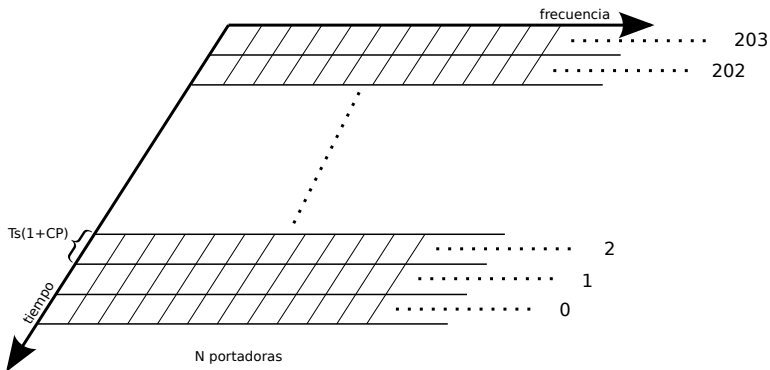
El teorema de la convolución es válido en la DFT sólo si la convolución es **cíclica**:

$$\mathbf{y}_l = \mathbf{x}_l \cdot DFT(\mathbf{h}_l) + \mathbf{n}_l = \mathbf{H}_l \cdot \mathbf{x}_l + \mathbf{n}_l$$

donde \mathbf{H}_l es la respuesta en frecuencia del canal durante el símbolo l -ésimo.

⇒ ver que el CP hace a la convolución cíclica en cierta ventana de observación

Estructura de cuadro OFDM



- 204 símbolos OFDM forman un cuadro OFDM
- cada símbolo dura $T_s(1 + CP)$
- separación entre portadoras es $\frac{1}{T_s}$
- 4 valores para CP posibles en ISDB-T: $1/4, 1/8, 1/16, 1/32$

Modos de transmisión

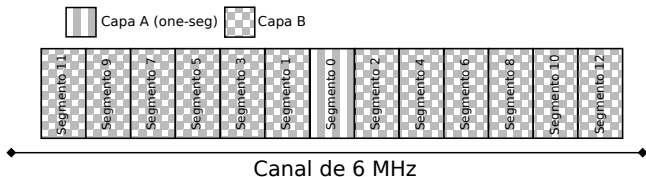
- separación entre portadoras es $\frac{1}{T_s}$
- si aumenta T_s , disminuye espacio entre portadoras
- 3 modos de transmisión en ISDB-T
 - Modo 1 (2K) \rightarrow 2048 portadoras $\rightarrow T_s = 252\mu s$
 - Modo 2 (4K) \rightarrow 4096 portadoras $\rightarrow T_s = 504\mu s$
 - Modo 3 (8K) \rightarrow 8192 portadoras $\rightarrow T_s = 1008\mu s$
- se mantiene ancho de banda constante
- se mantiene bitrate constante
- protección frente a multicamino vs. protección frente a Efecto Doppler

Segmentos



- se dividen los 6 MHz del espectro en 14 porciones idénticas
- $\frac{6 \text{ MHz}}{14} \approx 428,571 \text{ kHz}$
- 13 **segmentos** se utilizan para mandar datos
- la porción restante de deja de guarda a los lados del espectro

Capas jerárquicas



- segmentos se agrupan hasta en 3 capas jerárquicas
- cada una con procesamiento independiente de las demás
- se define en cada caso:
 - cantidad de segmentos asignados
 - tasa de código convolucional ($1/2$, $2/3$, $3/4$, $5/6$, $7/8$)
 - profundidad del entrelazamiento temporal
 - esquema de modulación (*DPSK*, *QPSK*, *16QAM*, *64QAM*)
- receptores *one-seg* y *full-seg*

Señales piloto

- portadoras dispersas (SP, *Scattered Pilots*)
 - utilizadas para estimar el canal
 - tienen posiciones variables en el tiempo
- portadora TMCC (*Transmission and Multiplexing Configuration Control*)
 - da información de las capas jerárquicas al receptor
 - ubicadas en posiciones fijas dadas para cada segmento
- portadoras auxiliares (AC, *Auxiliary Channel*)
 - sirven para transmitir información adicional de control
 - poco especificada en la norma
 - ubicadas en posiciones fijas dadas para cada segmento

⇒ estas portadoras aparecen en todos los segmentos

Ancho de banda y zero-padding (1)

- no todas las portadoras pueden tener datos
- ejemplo para modo 3 (válido en todos los casos):

$$\frac{8192}{1008 \mu s} = 8,127 \text{ MHz}$$

- para cumplir requerimientos de ancho de banda: 6048 portadoras

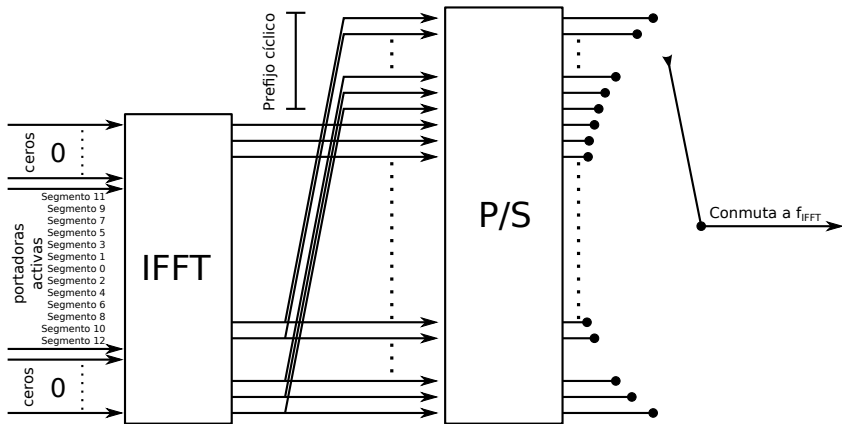
$$\frac{6048}{1008 \mu s} = 6,0 \text{ MHz}$$

- portadoras utilizadas:

$$13 \times \frac{6048}{14} = 5616 \text{ (432 por segmento)}$$

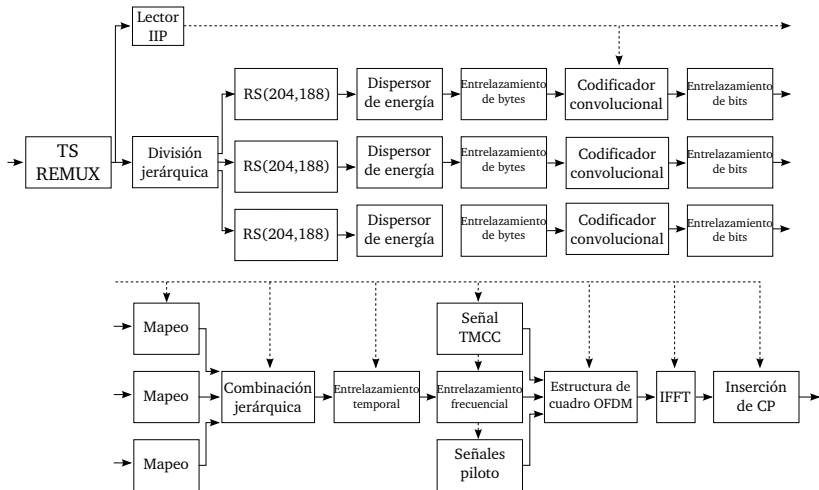
- en rigor 5617 (modo 3) → se agrega un piloto continuo a la derecha

Ancho de banda y zero-padding (2)



$$f_{IFFT} = \frac{\text{cantidad de portadoras}}{T_s} = 8,127 \text{ MHz}$$

Sistema transmisor ISDB-T: bloques



Parámetros en ISDB-T

Parámetros	Valores
Ancho de banda del canal	6 MHz
Cantidad de segmentos	13
Ancho de banda por segmento	$6000/14 \approx 428.57 \text{ kHz}$
Cantidad de portadoras activas por segmento	96 de datos y 12 pilotos (modo 1) 192 de datos y 24 pilotos (modo 2) 384 de datos y 48 pilotos (modo 3)
Duración de símbolo activo	$252 \mu\text{s}$ (modo 1) $504 \mu\text{s}$ (modo 2) $1008 \mu\text{s}$ (modo 3)
Duración del prefijo cíclico	$1/4, 1/8, 1/16, 1/32$ (de duración de símbolo activo)
Tasa de código convolucional	$1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8$
Tasa de código Reed Solomon	188/204
Profundidad del entrelazamiento temporal	0, 1, 2, 4 (modo 1) 0, 2, 4, 8 (modo 2) 0, 4, 8, 16 (modo 3)
Esquemas de modulación	DQPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM
Frecuencia de muestreo (f_{FFT})	$512/63 \approx 8, 127 \text{ MHz}$

Ejercicio 1

- escribir una ecuación para obtener el bitrate útil de un segmento

Ejercicio 2

- ¿cómo configuraría el transmisor de manera de obtener el bitrate útil máximo?
- ¿qué valor tiene ese bitrate máximo?

Ejercicio 3

Calcular el bitrate total de datos para la siguiente configuración en el transmisor:

- modo de transmisión 3
- $CP = 1/8$
- 3 capas jerárquicas
 - capa A: 1 segmento, QPSK, $2/3$, TI 4
 - capa B: 4 segmentos, 16QAM, $3/4$, TI 8
 - capa C: 8 segmentos, 64QAM, $7/8$, TI 8

Soluciones

- ejercicio 1:

$$r = \frac{N_c \cdot m \cdot R_{RS} \cdot R_{CC}}{T_S(1 + CP)}$$

- ejercicio 2:
 - una única capa jerárquica con todos los segmentos asignados
 - modulación: 64QAM, tasa de código convolucional: 7/8, prefijo cíclico: 1/32
 - bitrate: 23,234 Mbps
- ejercicio 3:

$$r \approx 1 \times 416,08 \text{ kbps} + 4 \times 936,19 \text{ kbps} + 8 \times 1638,34 \text{ kbps} = 17,267.6 \text{ Mbps}$$