

**PROYECTO INTEGRADOR DE LA CARRERA
DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES**

**MEJORA DE LA DETECCIÓN EN RADARES
BIESTATICOS PASIVOS BASADOS EN LA
SEÑAL DE TELEVISIÓN DIGITAL ISDB-T A
PARTIR DE LA RECONSTRUCCIÓN DE LA
MISMA**

Mangieri Gianfranco

Dr. Javier Areta

Director

27 de diciembre de 2025

Universidad Nacional De Rio Negro
Argentina

To my family and mentors...

Acronimos

| | |
|---------------|--|
| 16QAM | Modulación de amplitud en cuadratura de 16 estados, por sus siglas en inglés. |
| 64QAM | Modulación de amplitud en cuadratura de 64 estados, por sus siglas en inglés. |
| BW | Ancho de banda, por sus siglas en inglés. |
| CAF | Función de ambigüedad cruzada, por sus siglas en inglés. |
| COFDM | Multiplexación por división de frecuencias ortogonales codificada, por sus siglas en inglés. |
| DBPSK | Modulación por desplazamiento de fase binaria diferencial, por sus siglas en inglés. |
| FEC | Corrección de errores hacia adelante, por sus siglas en inglés. |
| FFT | Transformada rápida de Fourier, por sus siglas en inglés. |
| IFFT | Transformada rápida de Fourier inversa, por sus siglas en inglés. |
| IQ | En fase y cuadratura, por sus siglas en inglés. |
| ISDB-T | Radiodifusión Digital de Servicios Integrados - Terrestre, por sus siglas en inglés. |
| OFDM | Multiplexación por división de frecuencias ortogonales, por sus siglas en inglés. |
| PRBS | Secuencia binaria pseudo-random, por sus siglas en inglés. |
| QAM | Modulación de amplitud en cuadratura, por sus siglas en inglés. |
| QPSK | Modulación por desplazamiento de fase cuaternaria, por sus siglas en inglés. |
| RCS | Sección equivalente de radar, por sus siglas en inglés. |
| RS | Reed-Solomon. |
| SNR | Relación señal a ruido, por sus siglas en inglés. |
| TDT | Televisión digital terrestre. |
| TMCC | [completar]. |
| CFAR | [completar] |
| DSI | [completar] |

Índice general

| | |
|--|-----------|
| Acronimos | 2 |
| Índice de figuras | 5 |
| Índice de tablas | 6 |
| Resumen | 1 |
| 1 Transmisión de Señal de TV Digital Terrestre ISDB-T | 1 |
| 1.1 Dispersión de energía | 3 |
| 1.2 Código RS | 3 |
| 1.3 Entrelazador de byte | 3 |
| 1.4 Código Convolutacional | 3 |
| 1.5 Entrelazador de bit | 4 |
| 1.6 Mapeo de símbolos QAM | 4 |
| 1.7 Entrelazador de tiempo y frecuencia | 8 |
| 1.8 Estructura de frame OFDM | 8 |
| 1.9 Frecuencia de muestreo y frecuencias centrales | 9 |
| 2 Recepcion | 10 |
| Bibliografía | 11 |

Índice de figuras

| | | |
|------|---|---|
| 1.1 | Orden de los segmentos en el canal de 8 MHz. | 1 |
| 1.2 | Recepción total y parcial. | 2 |
| 1.3 | Codificación de canal. | 2 |
| 1.4 | Entrelazador de bytes. | 3 |
| 1.5 | Diagrama en bloques del código convolucional. | 4 |
| 1.6 | Mapecto de bits a símbolos QPSK. | 5 |
| 1.7 | Mapecto de bits a símbolos 16 QAM. | 6 |
| 1.8 | Mapecto de bits a símbolos 32 QAM. | 7 |
| 1.9 | Estructura de datos en el frame OFDM. | 8 |
| 1.10 | Distribucion de portadoras pilotos. | 9 |
| 1.11 | Generador de secuencia binaria pseudo aleatoria | 9 |

Índice de tablas

Resumen

This is where you write your abstract. It should provide a concise summary of your research, including the problem statement, methodology, key findings, and conclusions. Typically, an abstract is between 150-350 words.

Keywords: keyword1, keyword2, keyword3, keyword4

Capítulo 1

Transmisión de Señal de TV Digital Terrestre ISDB-T

En Argentina, la transmisión de TDT está regulada por el ENACOM a través de la resolución 7/13. Esta establece el esquema ISDB-Tb definido por la norma ABNT NBR 15601. Además, en el Anexo 1 se establece las especificaciones técnicas, tales como el tratamiento de datos, la modulación y la transmisión. En este documento también se definen los modos de recepción, especificándose la recepción total o parcial, denominada 1-seg. Asimismo, la normativa describe cómo se divide el espectro de un canal de 8 MHz en 13 segmentos, siendo el segmento central el destinado a la recepción parcial. Además, en la Figura X se presenta la cadena completa de procesamiento.

En la Figura 1.3 puede observarse todos los bloques de procesamiento aplicado en un transmisor de TDT. Este capítulo se encarga de explicar cada uno de ellos en el contexto de transmisión y recepción parcial 1-seg.

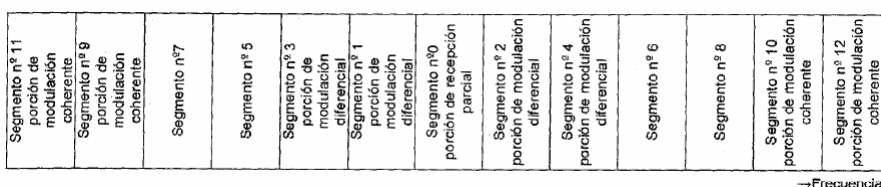


Figura 1.1: Orden de los segmentos en el canal de 8 MHz. Fuente: [2].

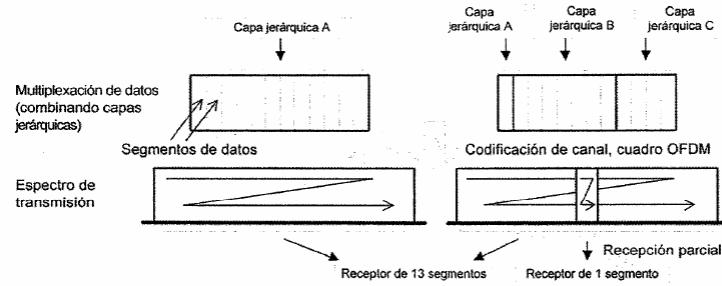


Figura 1.2: Recepción total y parcial. Fuente: [2].

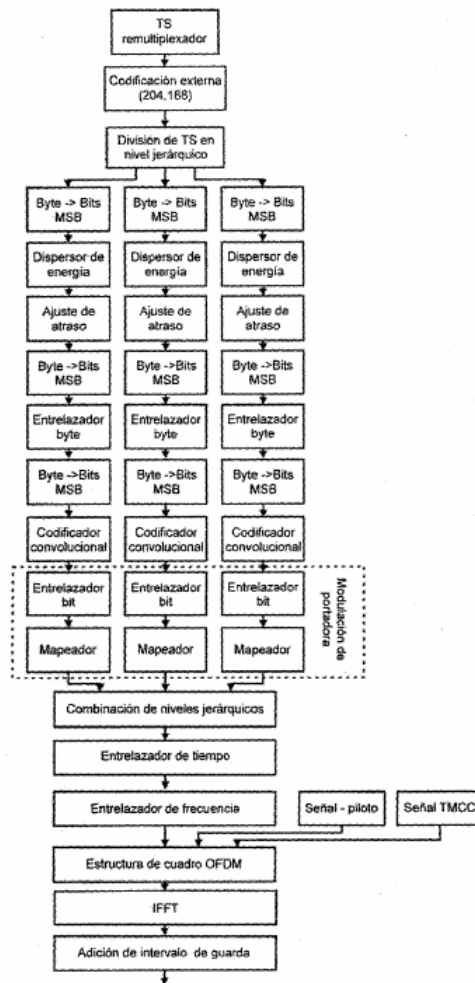


Figura 1.3: Codificación de canal. Fuente: [2]

1.1. Dispersión de energía

Luego del tratamiento de los *transport streams*, el primer bloque es el dispersor de energía. Para ello se utiliza una secuencia pseudoaleatoria que modula los bits. Esto se hace a partir de un shift register retroalimentado, el cual genera la secuencia, y una compuerta XOR que invierta los datos en función de la secuencia. La configuración inicial del generador esta dada por la semilla [] y el polinomio [], como se muestra en la Figura X.

1.2. Código RS

Una vez dispersada la energía, se aplica el primer nivel de codificación. Se utiliza un código RS () con capacidad para detectar y corregir hasta x errores. Para esto se utiliza el polinomio generador [].

1.3. Entrelazador de byte

Posteriormente, los datos se entrelazan a nivel de byte mediante un interleaver convolucional, consistente en una cascada de shift registers con distintos niveles de profundidad, tal como se muestra en la Figura X, de manera que las distintas ramas sufran distintos retardos y así generar el entrelazamiento.

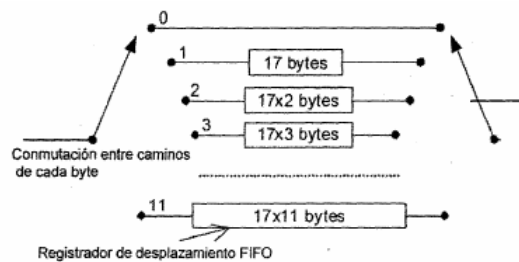


Figura 1.4: Entrelazador de bytes. Fuente: [2].

1.4. Código Convolutivo

A continuación, comienza el segundo nivel de codificación. En esta etapa se emplea un código convolutivo puntuado, cuyos polinomios característicos son [] y [] para las señales X e Y. Dependiendo del patrón de puntuado, la combinación correspondiente de

estas señales se utilizará como salida. En la Tabla X se detallan las combinaciones asociadas a cada patrón.

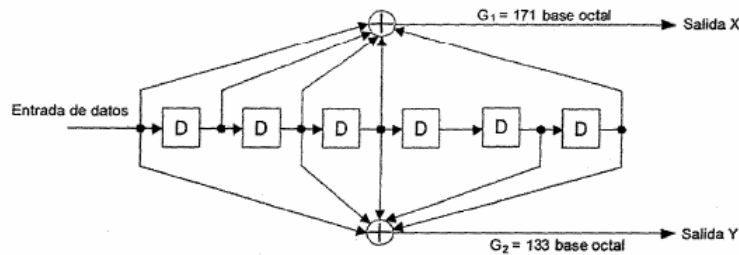


Figura 1.5: Diagrama en bloques del código convolucional. Fuente: [2].

1.5. Entrelazador de bit

Análogamente al entrelazador de bytes, se utiliza un interleaver convolucional en donde el tamaño del registro es un bit y la cantidad de ramas y retardos, dados por la profundidad de los registros, depende del modo y modulación de operación.

1.6. Mapeo de símbolos QAM

Una vez completado el segundo nivel de codificación, se aplica una segunda etapa de entrelazado, esta vez a nivel de bit. De manera análoga a la anterior, se utiliza un *interleaver* convolucional, aunque en este caso cada registro almacena únicamente un bit. Finalmente, los bits se mapean a símbolos de una de las tres modulaciones QAM disponibles: QPSK (grupos de 2 bits), 16-QAM (grupos de 4 bits) y 64-QAM (grupos de 6 bits). En todos los casos, los bits pares e impares representan la parte real e imaginaria, respectivamente, siguiendo el mapeo especificado.

QPSK

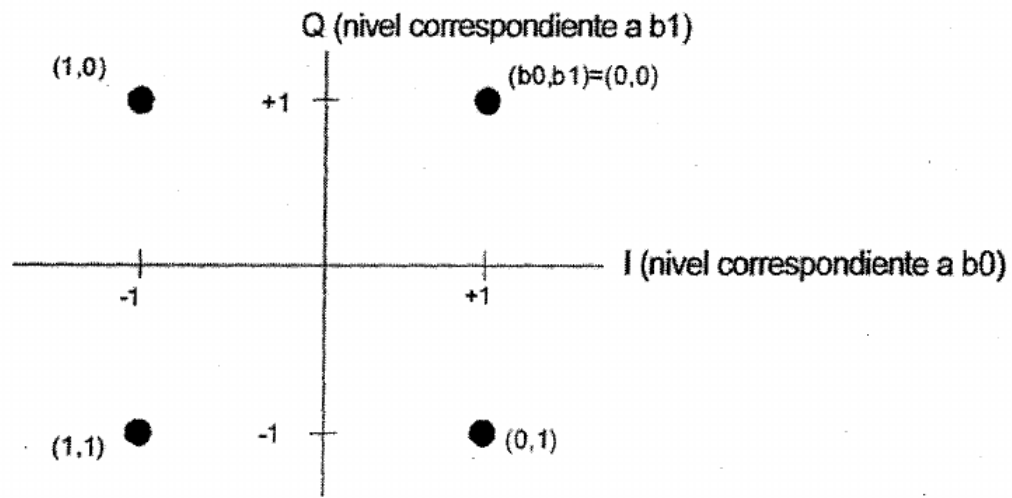


Figura 1.6: Mapeo de bits a símbolos QPSK. Fuente: [2].

$$a_k = 1 - 2b_0 + j - 2jb_1 \quad (1.1)$$

16 QAM

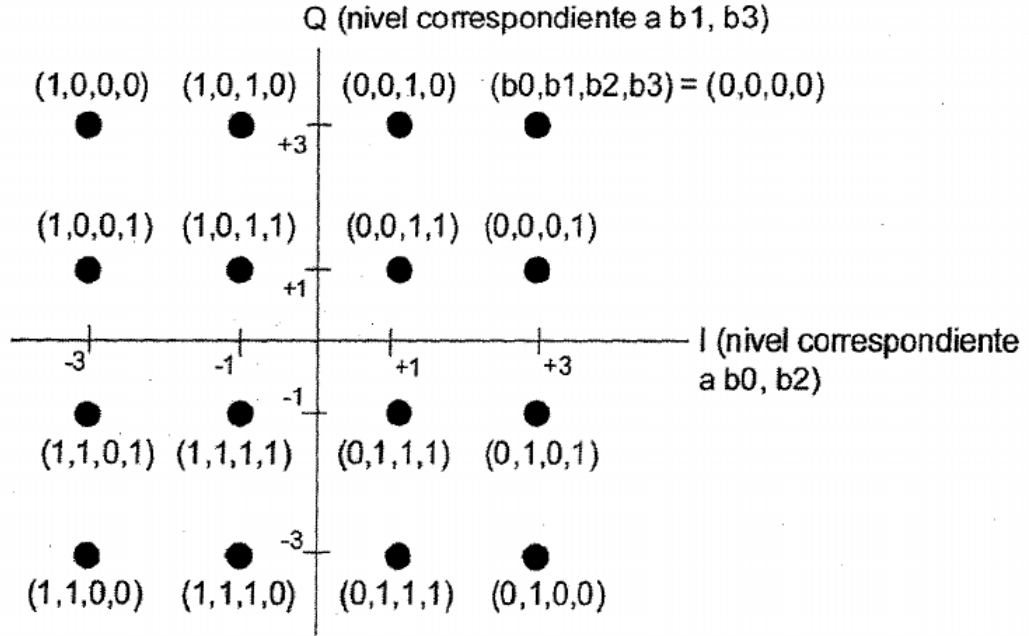


Figura 1.7: Mapeo de bits a símbolos 16 QAM. Fuente: [2].

$$\mathbf{R}\{a_k\} = 3 - 6b_0 - 2b_2 + 4b_0b_2 \quad (1.2)$$

$$\mathbf{I}\{a_k\} = 3 - 6b_1 - 2b_3 + 4b_1b_3 \quad (1.3)$$

32 QAM

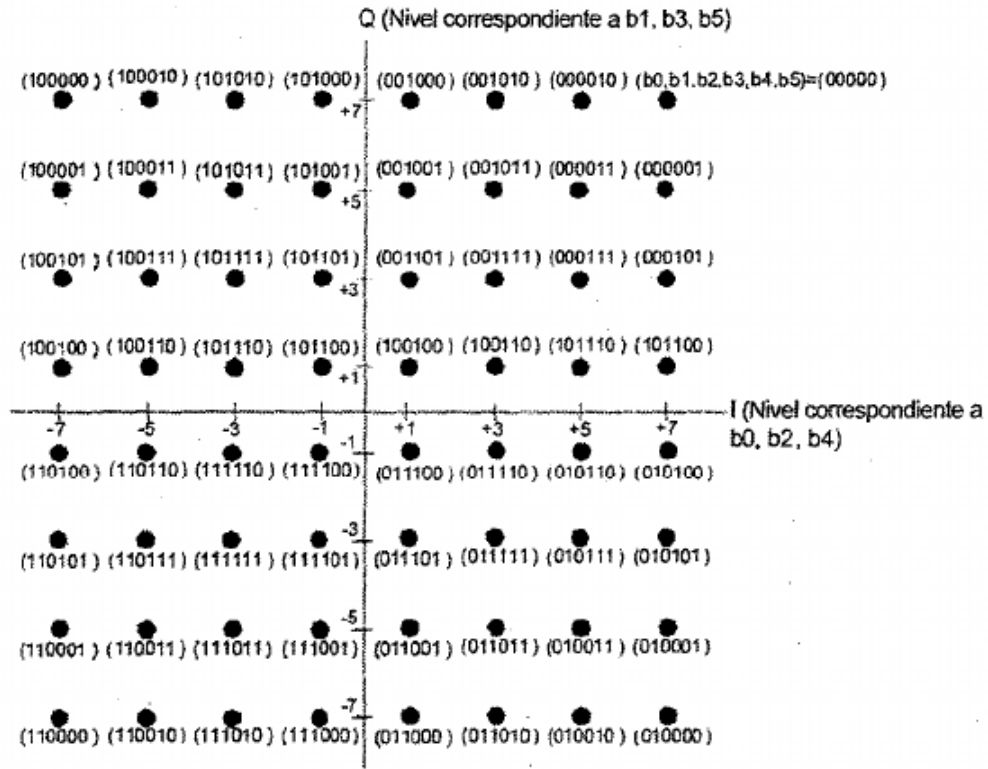


Figura 1.8: Mapeo de bits a símbolos 32 QAM. Fuente: [2].

$$\mathbf{R}\{a_k\} = 7 - 14b_0 - 6b_2 - 2b_4 + 12b_0b_2 + 4b_0b_4 + 4b_2b_4 - 2b_0b_2b_4 \quad (1.4)$$

$$\mathbf{I}\{a_k\} = 7 - 14b_1 - 6b_3 - 2b_5 + 12b_1b_3 + 4b_1b_5 + 4b_3b_5 - 2b_1b_3b_5 \quad (1.5)$$

1.7. Entrelazador de tiempo y frecuencia

1.8. Estructura de frame OFDM

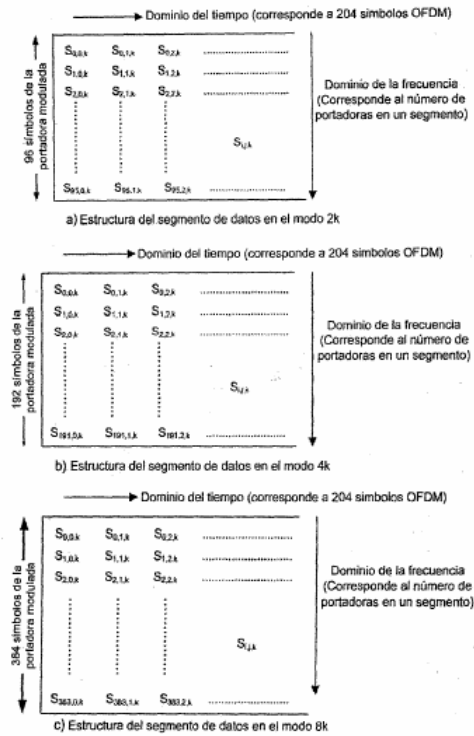


Figura 1.9: Estructura de datos en el frame OFDM. Fuente: [2].

Pilotos y PRBS

Tabla 22. Arreglo de las portadoras AC y TMCC en el modo 3 y modulación síncrona

| Número del segmento | 11 | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 |
|---------------------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| AC1_1 | 10 | 20 | 4 | 98 | 11 | 76 | 7 | 61 | 35 | 8 | 53 | 74 | 40 |
| AC1_2 | 28 | 40 | 89 | 101 | 101 | 97 | 89 | 100 | 79 | 64 | 83 | 100 | 89 |
| AC1_3 | 161 | 182 | 148 | 118 | 128 | 112 | 206 | 119 | 184 | 115 | 169 | 143 | 116 |
| AC1_4 | 191 | 208 | 197 | 136 | 148 | 197 | 209 | 209 | 205 | 197 | 208 | 187 | 172 |
| AC1_5 | 277 | 251 | 224 | 269 | 290 | 256 | 226 | 236 | 220 | 314 | 227 | 292 | 223 |
| AC1_6 | 316 | 2295 | 280 | 299 | 316 | 305 | 244 | 256 | 305 | 317 | 317 | 313 | 305 |
| AC1_7 | 335 | 400 | 331 | 385 | 359 | 332 | 377 | 398 | 364 | 334 | 344 | 328 | 422 |
| AC1_8 | 425 | 421 | 413 | 424 | 403 | 368 | 407 | 424 | 413 | 352 | 364 | 413 | 425 |
| TMCC 1 | 70 | 44 | 83 | 23 | 86 | 31 | 101 | 17 | 49 | 85 | 25 | 47 | 61 |
| TMCC 2 | 133 | 155 | 169 | 178 | 152 | 191 | 131 | 194 | 139 | 209 | 125 | 157 | 193 |
| TMCC 3 | 233 | 265 | 301 | 241 | 263 | 277 | 286 | 260 | 299 | 239 | 302 | 247 | 317 |
| TMCC 4 | 410 | 355 | 425 | 341 | 373 | 409 | 349 | 371 | 385 | 394 | 368 | 407 | 347 |

Figura 1.10: Distribucion de portadoras pilotos. Fuente: [2].

$$G(x) = X^{11} + X^9 + 1$$

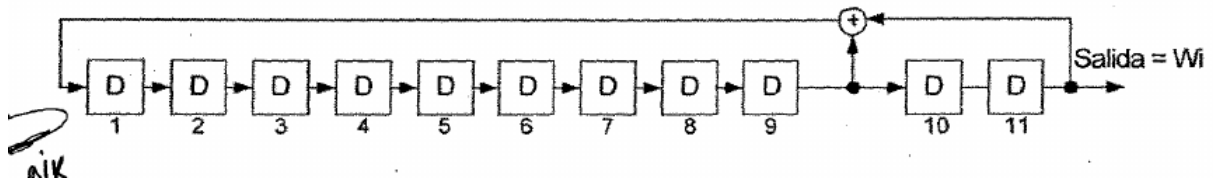


Figura 1.11: Generador de secuencia binaria pseudo aleatoria . Fuente: [2].

1.9. Frecuencia de muestreo y frecuencias centrales

Capítulo 2

Recepcion

Para la recepcion de una señal ISDBT se implean los siguientes bloques de procesamiento

En primer lugar es necesario identificar los simbolos OFDM, esto se hace a traves del prefijo ciclico agergado en la etapa de tranmision. Este al ser una fraccion de la parte final del mensaje puede identificarse usando una correlacion. Al tomar X cantidad de muestras podemos obtener el incio del simbolo como el pico maximo de la correlacion sumado a la duracion del CP.

Una vez identificado el simbolo, el siguiente paso es corregir el error de fase presente en la señal. Esto puede hacerse tambien a partir del CP viendo la diferencia de fase entre este (en el incio del mensaje) y su parte correspondiente en el payload (en el final del mensaje). Sin embargo, esta correccion no es suficiente por si misma. Para terminar de centrar el espectro y ubicar la posicion de las distintas portadores se utilizan las portadoras piloto. Al ser estas una secuencia conocida y en posiciones predeterminadas, pueden ser usadas con una correlacion para encontrar la poscicion de las portadoras usando [eq] en donde el pico maximo indicara que la secuencia conocida se alinea con su contraparte dentro de los datos del simbolo OFDM. Ya con esto pueden extraerse los datos de control y de transmision y proceder con la demodulacion de manera acorde.

Bibliografía

- [1] M. Malanowski, *Signal Processing for Passive Bistatic Radar*. Artech House, 2019.
- [2] Ente Nacional de Comunicaciones (ENACOM), *Resolución 7/2013 – Anexo 1*, Documento PDF, https://www.enacom.gob.ar/multimedia/normativas/2013/Resolucion-7_13-Anexo\%201.pdf, 2013.