

TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE

NORMA ISDB-Tb

Autores: Ing. en Electrónica Hugo Oliveros / Ing. Electrónico-Electricista Hector Ferrari

Posgrado: Ingenieros Especialistas en Telecomunicaciones Telefónicas

Universidad Nacional de Córdoba - Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

Avenida Velez Sarsfield 1610 - Ciudad Universitaria - Córdoba

Ing_oliveros@arnet.com.ar

hdferrari@gmail.com

Tutor: MSc Ing. Pedro Danizio

Resumen:

Esta presentación tiene por objetivo ilustrar el Estándar Internacional Japonés: **ISDB-T** (Integrated Services of Digital Broadcasting), adaptado primeramente por Brasil, con sus modificaciones al: **ISDB-Tb** (**b** = brasilero), que luego fue adoptado definitivamente por la mayoría de países Latinoamericanos; con el consiguiente mercado normalizado para los fabricantes de equipos de TVD, decodificadores digitales, potencia RF, antenas y software para interactividad.

Introducción:

Desde los comienzos de la Radiodifusión, el planeamiento de frecuencias ha tenido como principal objetivo evitar las interferencias causadas por la superposición de las áreas de servicio de los transmisores, atendiendo permanentemente la tarea de reasignación de frecuencias y potencias, y definiendo los límites de reutilización de canales.

Cabe aclarar que además existen otros fenómenos de interferencias adicionales, como lo son las generadas por el canal radioeléctrico terrestre, el cual responde a un modelo de propagación muy complejo, llamado propagación multitrayectoria, provocando reflexiones y ecos interferentes.

Por último aparecen también las interferencias por Efecto Doppler, que son derivas de frecuencias que se producen especialmente en los casos de recepción móvil.

Para sortear esta degradación provocada por el canal físico, el método que se emplea tradicionalmente consiste en incrementar la potencia de la señal directa (aumentando la potencia de salida del transmisor, por ejemplo); pero de esta manera se extienden los límites para la posible reutilización del canal, con la consecuente ocupación innecesaria del espectro radioeléctrico disponible.

A principios de los años 80, el laboratorio francés **CCETT** (Center Commun d'Études en Télédiffusion et Télécommunication) trabajó en el desarrollo de un sistema de modulación robusto y eficiente, con dos objetivos: transportar señales digitales y ahorrar espectro radioeléctrico. Logran entonces la Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales: **OFDM**.

Metodología:

Nuestra presentación tratará de aclarar y difundir los conceptos y las definiciones vertidas en la Norma Japonesa-Brasileira, mediante: Traducción ; Interpretación ; Ilustración Gráfica ; Desarrollo y Modelización Matemática.

Se comenzará presentando un Diagrama de Bloques General, donde nos centraremos en el *Bloque de entrada: Que es el encargado de la generación de las tramas binarias: **BTS**.

*Bloque de modulación: Que es la esencia del Estándar Japonés-Brasileiro: **COFDM**.

Se planteará, cómo se determinan las cantidades de portadoras necesarias en este sistema de modulación multiportadora, responsable de transportar a dichas tramas digitales (a los BTS).

Finalmente se enumerarán las posibilidades que permite la **TDT**, mediante las **configuraciones** del multiplexor digital.

Desarrollo:

El Gobierno Nacional aprovecha la plataforma tecnológica digital terrestre para satisfacer y cubrir dos aspectos pertinentes a la **Nueva Ley de Medios Audiovisuales**, la cual pretende, entre sus argumentos, el de "democratizar las informaciones":

a- El aspecto geográfico propone llegar con las informaciones a todo el Territorio Nacional y en forma gratuita. Esto se logra enlazando a todo el País (televisión terrestre) por medio de torres en capitales de provincias y principales ciudades. Las transmisiones hacia las torres se realizarán primeramente vía-satélite (convenio con ARSAT); luego mediante fibra óptica. Sus retransmisiones se preveen a través de redes de frecuencias únicas (SFN) (convenios con INVAP).

b- El aspecto diversidad propone llegar con las informaciones desde dos o más fuentes diversas. Esto se logra gracias a la bondad digital (televisión digital) de ahorrar espectro y distribuir nuevas frecuencias dentro del mismo espectro radioeléctrico (saturado y monopolizado...).

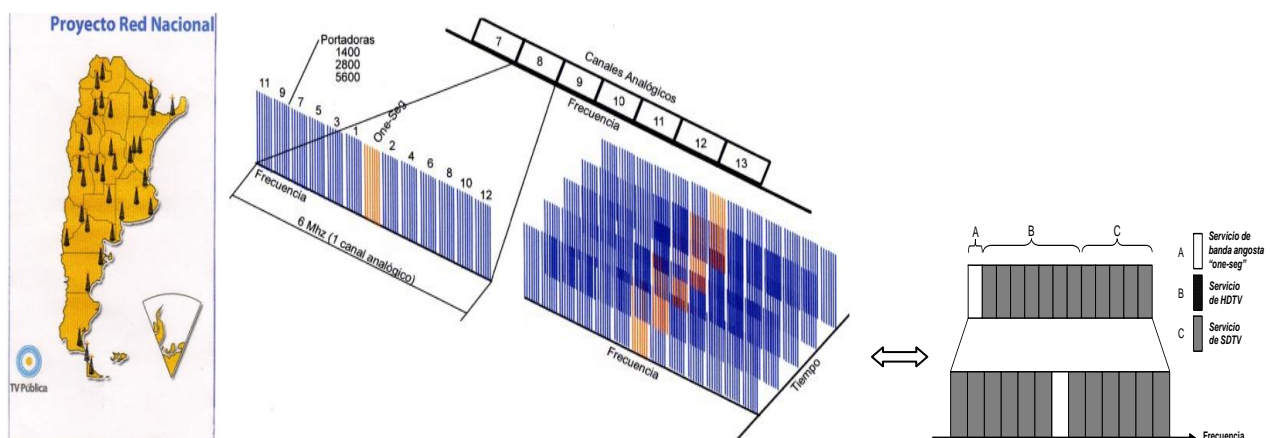


Figura 1: Aspecto Geográfico y Aspecto de Diversidad

- * Son flujos binarios sincrónicos constituidos por tramas o paquetes de 204 bytes.
- * Tienen tasas de transmisión constante de 32,5079 Mbps.
- * Resuelven la transmisión jerárquica y la recepción parcial.
- * Agrega cabecera de 16 bytes de información: configuraciones, sincronismos, programación,...

Bloque Modulación:

Supongamos que se está sintonizando un canal radioeléctrico y se puede visualizar la señal transmitida con la ayuda de un analizador de espectro:

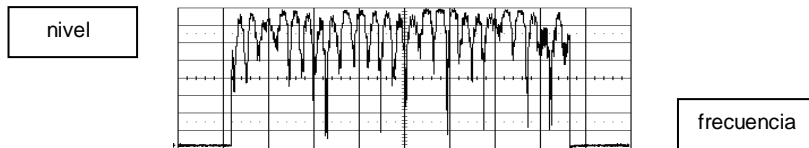


Figura 4: Espectro de la señal recibida

Es posible apreciar que la respuesta en frecuencia no es la misma para todas las frecuencias incluidas dentro de la anchura de la banda del canal: hay suma y restas de señales directas y reflejadas (además de desvanecimientos por propias atenuaciones que produce el canal).

Si se modulara una sola portadora, podría suceder que en varios momentos se desvaneciera la señal totalmente, perdiendo toda la información modulante. En cambio, resulta muy beneficioso distribuir los datos (TSP) en una gran cantidad de frecuencias estrechamente separadas que no interactúen entre sí (**OFDM**); y poder recuperar parte de la información transmitida a partir de las frecuencias que no han sufrido alteración durante el proceso de propagación.

Los datos restantes corruptos se intentarán recuperar gracias a las técnicas generadas por los códigos correctores de errores (**COFDM**); cual son Código Reed-Solomon y Código Vitervi.

Lamentablemente las características del canal radioeléctrico no se mantienen constante en el tiempo. Si a la figura 4 se la obtiene en otro instante, aparecerán degradaciones en frecuencias diferentes. Entonces, debemos utilizar el canal (transmitir) en intervalos de tiempo durante los cuales las condiciones se mantienen constante. Por tanto, tendremos diagramas donde el nivel es función de las frecuencias y es función del tiempo, generando dos posibles inconvenientes:

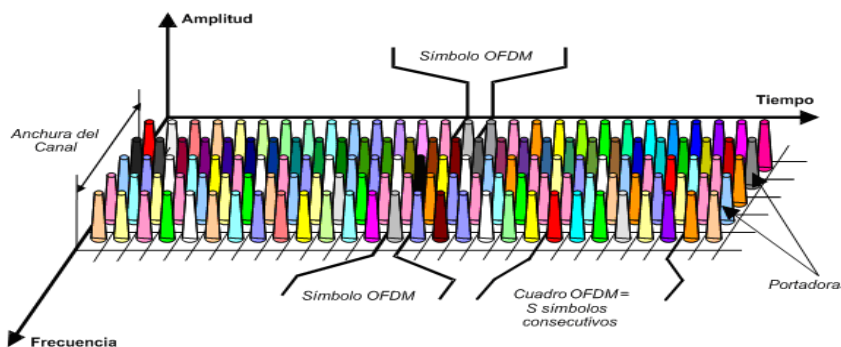


Figura 5: Inserción de portadoras

1- En el eje de las frecuencias, podrían generarse **intermodulaciones entre portadoras (ICI)**. Por ello, es que se utilizan portadoras ortogonales, cuyo principio explicaremos seguidamente: Nuestra información binaria a transmitir (stream de información) constituye una ráfaga de pulsos de anchura T_u (tiempo útil) y de período T_s (tiempo de símbolo). Por Fourier, tiene su espectro definido por la función envolvente discreta de la función: $\frac{\sin x}{x}$

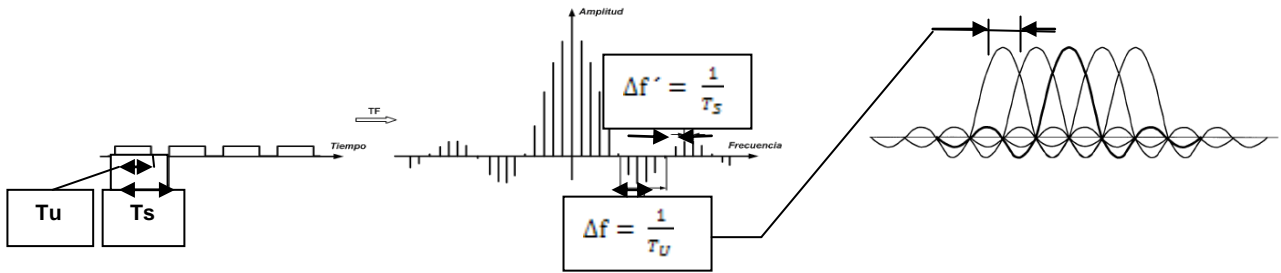


Figura 6: Representación de ráfagas digitales en el tiempo y su espectro en frecuencia.

*Su cruce por cero es la separación de las frecuencias ortogonales $\Delta f = \frac{1}{T_u}$ y T_u es el **tiempo útil**.

*Su separación espectral es $\Delta f' = \frac{1}{T_s}$ y T_s es el **tiempo del símbolo** (donde $T_s = T_u + T_g$).

*El espaciado temporal entre pulsos se define como T_g : **tiempo de guarda**.

*La relación de guarda $\Delta = T_g/T_u$ es **configurable** en valores: 1/4 ; 1/8 ; 1/16 ; 1/32 .

La separación espectral tiende a cero cuando se rellena el espacio entre pulsos; así la función envolvente discreta $\frac{Sf(x)}{x}$ pasa a ser continua y no se pierden sincronismos en el receptor. Dicho relleno se hace con la parte final del símbolo y equivale a **función inversa a la autocorrelación**.

2- En el eje de los tiempos, podrían generarse **intermodulaciones entre símbolos (ISI)**, por:

*propagación multitrayectoria: diferente recorrido entre onda directa y onda reflejada (o eco).

*transmisiones en redes de frecuencia única: diferente recorrido de 2 ondas directas (2 torres).

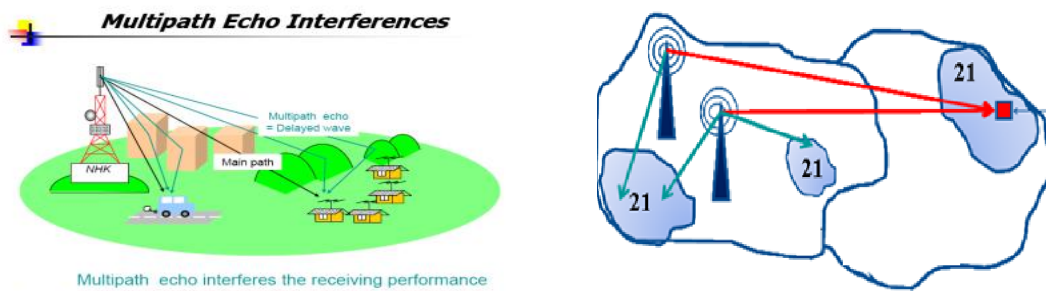


Figura 7: Propagación multitrayectorias y transmisiones en SFN

Para ambos casos, y con el fin de preveer los retardos de ondas electromagnéticas moduladas digitalmente, que viajan a la velocidad de la luz pero que recorren diferentes distancias, es que se añade el **tiempo de guarda (Tg)** y se definen los símbolos como S_n de duración total T_s :

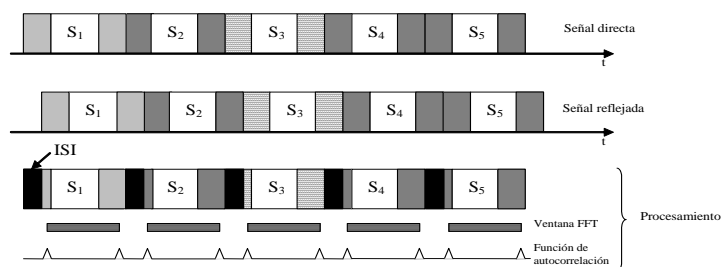


Figura 8: Propagación multitrayectorias y transmisiones en SFN

Empleando métodos convencionales, sería necesario disponer de miles de moduladores en paralelo, cada uno con su mapeador y su sistema de modulación, manteniendo Δf y T_u .

Afortunadamente, existe una manera más sencilla y eficiente de construir un modulador **OFDM**, mediante Procesadores Numéricos que tengan la capacidad de desarrollar la herramienta de la Transformada Rápida de Fourier Inversa (**IFFT**) y su Frecuencia de Muestreo (f_{IFFT}).

A la **IFFT** la calculan los procesadores, mediante una cantidad de puntos, que se traducen en Frecuencias (portadoras) cuyo valor es igual a una potencia entera de 2 (o sea: 2^n); donde:

$$f_{IFFT} = \frac{n^2 \text{ de portadoras necesarias}}{T_u}$$

es la frecuencia de muestreo que requiere la **IFFT**.

Importante es saber, que si en el transmisor realizamos una función inversa del autocorrelación y la IFFT, entonces en el receptor aplicaremos las funciones FFT y Autocorrelación.

- *La función FFT recupera las portadoras (tiene la longitud del símbolo S_n pero no lo posiciona).
- *La Autocorrelación sincroniza a la FFT (porque tiene información del inicio y final del símbolo).

El Teorema de Shannon permite calcular la Capacidad teórica máxima de Transmisión (**C**), con probabilidad de error mínima, conociendo el ancho de banda del canal (**BWc**) y la Señal/Ruido (**S/N**) transmitida:

$$C \text{ [Mbps]} = BWc \text{ [Mhz]} \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \approx R \text{ [Mbps]} = \frac{b_p \cdot L}{T_s}$$

donde $\left\{ \begin{array}{l} b_p = \text{cantidad de bits / portadora.} \\ L = \text{cantidad de portadoras.} \end{array} \right.$

Experimentalmente se encuentra que se necesita una relación $\frac{S}{N} \approx \frac{C}{N} = 18 \text{ [db]} = 64 \text{ [veces]}$ para el caso de TDT con: modulación 64-QAM, redundancia media, en un canal de Rice.

$$\frac{L}{T_s} = 6 \text{ [Mbps]} = \frac{L}{T_u + T_g} = \frac{L}{32 \cdot T_g + T_g} = \frac{L}{33 \cdot T_g} = \frac{L}{33 \cdot 7} \rightarrow L = 33 \cdot 7 \cdot 6 = 1405 \text{ portadoras.}$$

Separación entre portadoras: $\rightarrow \Delta f = \frac{BWc}{L} = \frac{6000}{1405} = 3,968 \text{ [kHz]}$

Tiempo útil: $\rightarrow T_u = \frac{1}{\Delta f} = \frac{1}{3968} = 252 \text{ [us]}$

Frecuencia de Muestreo: $\rightarrow f_{IFFT} = \frac{n^2 \text{ de portadoras}}{T_u} = \frac{2048}{252} = 8,126 \text{ [MHz]}$

Conclusiones:

La Norma ISDB-Tb tiene su esencia en el sistema de modulación de multiplexación por división de frecuencias (**FDM**), que consiste en distribuir las tramas digitales de información (TSP) en una gran cantidad de frecuencias estrechamente separadas, que no interacciones entre sí (**O=ortogonales**) y poder recuperar parte de la información transmitida a partir de las frecuencias que no han sufrido alteración durante el proceso de propagación.

Los datos restantes corruptos se intentarán recuperar gracias a las técnicas posibles generadas por los códigos correctores de errores (**C=codificadas**), cuales son:

*Reed-Solomon: mediante una etiqueta de 16 Bytes permite corregir 8 bytes corruptos.

*Viterbi: mediante una redundancia de bits configurable ($k_1 = \frac{1}{2} ; \frac{2}{3} ; \frac{3}{4} ; \frac{5}{6} ; \frac{7}{8}$).

El sistema prevee también entrelazados de: bits ; bytes ; frecuencias ; tiempos.

Bibliografía:

- **Sistema ISDB-Tb** – Ing. Néstor Pisciotta (CIADE-IT. Universidad Blas Pascal, 2010).
- **Norma Brasileña ABNT NBR 15601:2007 TDT - Sistema de transmisión** - (Brasil, 2007).
- **Seminario de Ingeniería de Televisión Digital ISDB-Tb** – (UBP y CIEC - Córdoba, 2010).