



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD Y COMPUTACIÓN**

**“ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE LA TÉCNICA DE MODULACIÓN POR  
DIVISIÓN DE FRECUENCIA ORTOGONAL EXTENDIDA (SOFDM)  
APLICADA AL SISTEMA DE TRANSMISIÓN TERRESTRE  
DE TELEVISIÓN DIGITAL”**

## **TESIS DE GRADO**

**Previa a la obtención del Título de:**

**INGENIERO EN ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES**

**Presentado por:**

**PHALONE ESTEFANIA KRITIKOS AUCAPIÑA**

**ANDRES EDUARDO BUSTOS MOREIRA**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**2008**

## **AGRADECIMIENTO**

*A todos quienes  
nos ayudaron siendo  
nuestros consejeros para la  
presentación de este trabajo.  
En especial a la Ing. Rebeca Estrada  
quien nos apoyó  
y alentó en todo momento.*

## **DEDICATORIA**

*A nuestros padres.*

**TRIBUNAL DE GRADO**

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA  
DEL LITORAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
BIBLIOTECA  
INV. No. TULT-SE-335-1

**PRESIDENTE**



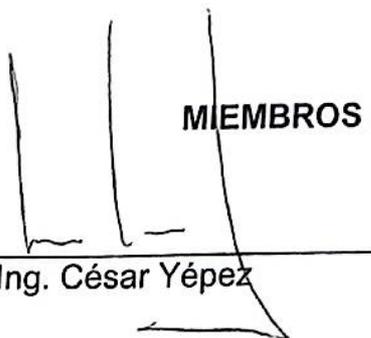
Ing. Holger Cevallos Ulloa

**DIRECTOR DE TESIS**

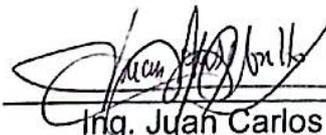


Msc. Rebeca Estrada Pico

**MIEMBROS PRINCIPALES**



Ing. César Yépez



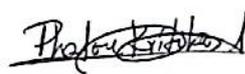
Ing. Juan Carlos Avilés

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA  
DEL LITORAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
BIBLIOTECA  
INV. No.

## DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta tesis, nos corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la Escuela Superior Politécnica del Litoral"

(Reglamento de exámenes y títulos profesionales de la ESPOL)



Phalone Estefanía Kritikos Aucapiña



Andrés Eduardo Bustos Moreira

# RESUMEN

La televisión analógica apareció en el Ecuador aproximadamente a principios de los 60's, se trataba de aparatos en blanco y negro de muy mala calidad y con una pantalla de forma redondeada. Comenzó con el canal 4, presentando sobre todo noticias y programas para el hogar. Desde entonces la misma no ha cambiado mucho que digamos ya que se dedica más que todo a transmitir telenovelas, programas de concursos y de actualidad, noticieros y películas.

Las mejoras más significativas que sufrió la televisión analógica es el hecho de poder diferenciar colores y la gama de televisores que salen al mercado cada año con características tales como pantalla plana, sonido envolvente, etc. Además de que ahora contamos con la posibilidad de poder observar canales internacionales desde la comunidad de nuestro hogar con la contratación de televisión por cable, la cual brinda una mejor calidad que la televisión local aunque posee inconvenientes debido a que no es gratis y el cableado no permite que nos encontremos lejos de las ciudades.

Desgraciadamente en la televisión local no existe un contenido interactivo y la calidad en algunos sectores aún deja mucho que desear. Por otro lado la televisión digital brinda muchas alternativas tales como nitidez, mayor número

ro de canales o canales con más opciones, aplicaciones de telecomunicaciones, incluso movilidad. Este hecho brinda un mundo de oportunidades. A nosotros como clientes al gozar de una mayor variedad y cantidad de información por un mismo canal. Y a los dueños de canales la posibilidad de ampliar sus negocios, especialmente si presentan programas con contenido interactivo.

Nuestro trabajo de investigación se dividirá en dos partes principales. La primera consistirá en hacer un estudio socio-económico del impacto que causaría el que la televisión nacional cambie de analógica a digital, en otras palabras, decidir que tan importante es adoptar este sistema, si estamos en condiciones de hacerlo, y qué estándar de los tres existentes es más conveniente. En la segunda parte aplicaremos la técnica de modulación SOFDM usando simulaciones realizadas en el programa Simulink, herramienta de Matlab, para lograr un análisis más técnico y real de esta tecnología aplicada a los estándares de Televisión Digital Terrestre (TDT); y comparar los resultados obtenidos con simulaciones de la modulación OFDM, que es la modulación destinada actualmente a este tipo de transmisiones.

# INDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b> .....	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>X</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>XIII</b>
<b>ÍNDICE DE ABREVIATURAS</b> .....	<b>XIV</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>XVI</b>

## **CAPITULO 1: ESTUDIO TÉCNICO DE LA MODULACIÓN SOFDM**

1.1. Fundamentos de OFDM .....	1
1.2. Análisis técnico de SOFDM.....	5
1.3. Ventajas y Desventajas de SOFDM .....	7
1.4. Comparación entre SOFDM y la técnica existente OFDM .....	8
1.5. Resumen .....	9

## **CAPITULO 2: ESTÁNDARES DE TRANSMISIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE**

2.1. ATSC – Estándar Americano .....	11
2.2. DVB – Estándar Europeo .....	21
2.2.1. DVB-T.....	21
2.2.2. DVB-H .....	28

2.2.3. DVB-RCT .....	30
2.3. ISDB-T – Estándar Japonés.....	31
2.4. Resumen .....	37
<b>CAPITULO 3: ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TELEVISIÓN DIGITAL EN NUESTRO PAÍS</b>	
3.1. Costo del proyecto .....	39
3.2. Beneficios de los usuarios.....	43
3.3. Estándar más conveniente en nuestra región .....	45
3.4. Transición de TV analógica a TV digital .....	55
3.5. Resumen .....	57
<b>CAPITULO 4: SIMULACIÓN DE LOS ESTÁNDARES DE TELEVISIÓN DIGITAL QUE USAN SOFDM</b>	
4.1. Simulaciones de los estándares con la técnica OFDM.....	59
4.2. Simulaciones de los estándares con la técnica SOFDM .....	66
4.3. Resumen .....	82
<b>CAPITULO 5: COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS</b>	
5.1. Comparaciones entre SOFDM y OFDM de acuerdo a los estándares.....	84
5.2. Resumen .....	88
<b>ANEXO A .....</b>	<b>90</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>92</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>94</b>

# INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.1:</b> Esquema básico de transmisión/recepción OFDM .....	4
<b>FIGURA 1.2:</b> Sistema OFDM convencional.....	5
<b>FIGURA 1.3:</b> Sistema Spread OFDM simplificado .....	6
<b>FIGURA 2.1:</b> Diagrama General de transmisión del estándar ATSC .....	13
<b>FIGURA 2.2:</b> Operación del codificador-mapeador Trellis.....	14
<b>FIGURA 2.3:</b> Respuesta en frecuencia del sistema ATSC.....	15
<b>FIGURA 2.4:</b> Diferencia en la calidad de imágenes HDTV y SDTV .....	18
<b>FIGURA 2.5:</b> Grupos de cuadros MPEG .....	19
<b>FIGURA 2.6:</b> Estructura del Multiplex en MPEG-2 .....	20
<b>FIGURA 2.7:</b> Diagrama de bloques del sistema DVB-T .....	22
<b>FIGURA 2.8:</b> Empaquetamiento de datos en OFDM usando DVB-T .....	25
<b>FIGURA 2.9:</b> Símbolo OFDM .....	26
<b>FIGURA 2.10:</b> Señales piloto en portadoras OFDM.....	27
<b>FIGURA 2.11:</b> Espectro de señal DVB-T con intervalo de guarda 1/4 .....	28
<b>FIGURA 2.12:</b> Estructura del estándar DVB-H junto a DVB-T.....	29
<b>FIGURA 2.13:</b> OFDM de Banda Segmentada en ISDB-T .....	32
<b>FIGURA 2.14:</b> Ejemplos de transmisión ISDB-T con diferentes receptores .	33
<b>FIGURA 2.15:</b> Ubicación de las portadoras en modo 1 .....	35
<b>FIGURA 3.1:</b> Ejemplos de recepción móvil .....	44

<b>FIGURA 3.2:</b> Ing. César Macías, Ing. Paul Rojas Vargas (Superintendente de Telecomunicaciones) ), Ing. Seiji Sakuma e Ing. Masao Okayasu (representantes estándar ISDB-T) .....	46
<b>FIGURA 3.3:</b> Canal de alta definición vs canales de definición estándar .....	48
<b>FIGURA 3.4:</b> Servicios por estándar .....	49
<b>FIGURA 3.5:</b> Modelo recomendado en nuestro país.....	53
<b>FIGURA 4.1:</b> Simulación del estándar DVB-T usando modulación OFDM...	60
<b>FIGURA 4.2:</b> BER vs SNR del estándar DVB-T usando modulación OFDM.....	61
<b>FIGURA 4.3:</b> PAPR del sistema DVB-T sin usar ensanchamiento.....	62
<b>FIGURA 4.4:</b> Simulación del estándar ISDB-T usando modulación OFDM..	64
<b>FIGURA 4.5:</b> BER vs SNR del estándar ISDB-T usando modulación OFDM.....	65
<b>FIGURA 4.6:</b> PAPR del sistema ISDB-T sin usar ensanchamiento.....	66
<b>FIGURA 4.7:</b> Simulación del estándar DVB-T usando modulación SOFDM .....	67
<b>FIGURA 4.8:</b> Canal Multiruta.....	68
<b>FIGURA 4.9:</b> Datos de entrada del canal multiruta.....	68
<b>FIGURA 4.10:</b> Datos de salida del canal multiruta .....	68
<b>FIGURA 4.11:</b> Transmisor SOFDM .....	69
<b>FIGURA 4.12:</b> Receptor SOFDM.....	70
<b>FIGURA 4.13:</b> Espectro ensanchado en un canal de multiruta .....	72

<b>FIGURA 4.14:</b> Constelacion QAM 64 resultante despues de la ecualizacion y la decodificacion de la matriz de hadamard.....	73
<b>FIGURA 4.15:</b> Respuesta impulsional del canal multiruta, según el estándar ETSI.....	74
<b>FIGURA 4.16:</b> Respuesta en frecuencia del canal multiruta, según norma ETSI.....	74
<b>FIGURA 4.17:</b> BER vs SNR del estándar DVB-T usando modulaci3n SOFDM .....	75
<b>FIGURA 4.18:</b> PAPR del sistema DVB-T usando ensanchamiento.....	76
<b>FIGURA 4.19:</b> Simulaci3n del estándar DVB-T usando modulaci3n SOFDM .....	77
<b>FIGURA 4.20:</b> Espectro ensanchado en un canal de multiruta .....	78
<b>FIGURA 4.21:</b> Constelacion QAM 64 resultante despues de la ecualizacion y la decodificacion de la matriz de hadamard.....	78
<b>FIGURA 4.22:</b> BER vs SNR del estándar ISDB-T usando modulaci3n SOFDM.....	79
<b>FIGURA 4.23:</b> PAPR del sistema ISDB-T usando ensanchamiento.....	80
<b>FIGURA 5.1:</b> Comparaci3n de BER vs SNR del estándar DVB-T .....	85
<b>FIGURA 5.2:</b> Tasa de error de bit.....	86
<b>FIGURA 5.3:</b> Comparaci3n de BER vs SNR del estándar DVB-T .....	87

# INDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1.1:</b> Servicios de bandas de espectro radioeléctrico para TV.....	2
<b>TABLA 2.1:</b> Parámetros de transmisión del sistema ATSC .....	15
<b>TABLA 2.2:</b> Valores de los parámetros de OFDM para el modo 2k.....	24
<b>TABLA 2.3:</b> Comparación de parámetros OFDM entre modos 2k y 8k.....	24
<b>TABLA 2.4:</b> Parámetros físicos des estándar DVB-RCT .....	30
<b>TABLA 2.5:</b> Parámetros de transmisión para ISDB-T .....	34
<b>TABLA 2.6:</b> Cantidad de bloques requeridos para ajuste de atraso. ....	36
<b>TABLA 3.1:</b> Estándares por países.....	50
<b>TABLA 3.2:</b> Precios de TV's y STB's .....	52
<b>TABLA 4.1:</b> Modelos de canal HIPERLAN/2.....	81
<b>TABLA 4.2:</b> Modelo B .....	82

# INDICE DE ABREVIATURAS

SOFDM	Spread Orthogonal Frequency Division Multiplexing
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
ICI	Inter-carrier Interference
MMSE	Error medio cuadrático mínimo ó Minimum Mean Square Error
PARP	Potencia de pico-a-promedio ó Peak-to-Average Power Ratio
STB	Set Top Box
TDT	Televisión Digital Terrestre
ATSC	Advanced Television Systems Committee
VSB	Vestigial Side Band
MPEG	Motion Picture Expert Group
HDTV	High Definition Television
SDTV	Standard Definition Television
SFN	Single Frequency Networks
DVB	Digital Video Broadcasting
COFDM	Codec Orthogonal Frequency Division Multiplexing
DVB-H	Digital Video Broadcasting Handled
DMB	Digital Multimedia Broadcasting
BST-OFDM	Band Segmented Transmission-OFDM
CONARTEL	Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión
LDTV	Low Definition Television
ITU	International Telecommunications Unit

SNR            Signal to Noise Ratio, Relación Señal a Ruido

BRAN            Broadband Radio Access Network

# INTRODUCCIÓN

Alrededor del mundo se viene dando una revolución tecnológica y social a través de la televisión y los medios de comunicación en general. Al principio se pensó que sería un fracaso el negocio de vender un aparato que haga sentar a las personas alrededor de él sólo para verlo; pero la realidad es muy diferente ya que la gran parte de su tiempo libre la gente lo dedica a ver televisión, y para las personas que viven solas o en lugares apartados significa un aliciente a su situación.

El entretenimiento es una industria multimillonaria que ha crecido a tal nivel y nos ha absorbido de tal modo que hasta nuestras costumbres se han adaptado a ella. Sacamos tiempo de nuestra agenda para ver nuestro programa favorito, e incluso dejamos a un lado alguna otra actividad para llevar a cabo ese deseo, que muchas veces se hace un hábito y se ha comprobado que en gran cantidad de persona llega a convertirse en un vicio.

Por esta razón los países industrializados han buscado la manera de aprovechar al máximo el espectro que se les ha otorgado para ofrecer sus servicios y han desarrollado un sistema de transmisión digital que permite muchas más opciones que la televisión analógica; hasta lo que nunca se pensó, poder comunicarnos a través de ella. Por ésta y muchas otras ventajas la

mayoría de los países europeos, norteamericanos, y asiáticos ya se han cambiado a este esquema y el resto de naciones está buscando los medios para seguir ese camino.

En nuestro país, este cambio ha tomado más tiempo de lo esperado; pero la televisión no puede quedarse con el modelo actual ya que sería vencida por otras compañías de telecomunicaciones, y de esta manera se perdería gran parte de nuestra cultura. Por tanto se debe escoger la mejor vía para migrar del sistema analógico al digital, sin afectar de manera indebida las costumbres y el bolsillo de nuestra gente.

Los principios de OFDM han existido por algunas décadas; pero no es sino hasta hace pocos años que esta técnica ha sido implementada de forma práctica, sobre todo en sistemas inalámbricos. De aquí que una variante de esta técnica nos permite tener una señal todavía más robusta, mejorando la calidad de la señal que en un sistema digital es una característica tan deseada.

Esto es lo que haremos en los siguientes capítulos, aplicar dicha variante a los sistemas de transmisión de televisión digital terrestre que originalmente usan modulación OFDM, para verificar si el hecho de reemplazarla por SOFDM proporciona una ventaja sobre su predecesora. Y conjuntamente

con ello realizar un estudio sobre lo mencionado en los párrafos anteriores sobre el impacto en la población.

En el primer capítulo daremos una breve pero clara explicación sobre modulación OFDM, su variante SOFDM, y las ventajas y desventajas que ambas representan para la puesta en marcha de nuestro proyecto.

Un aspecto importantísimo al momento de querer implementar un sistema de televisión digital terrestre es el estándar que se va a usar para dicho propósito. Por este motivo en el segundo capítulo analizaremos los tres estándares de TDT desde un punto de vista técnico. Y en el tercer capítulo nos enfocaremos en las ventajas y desventajas de cada estándar, de acuerdo al nivel cultural y económico de la población; así como también escogeremos el modelo más adecuado para llegar a los hogares ecuatorianos.

En el cuarto capítulo revisaremos las simulaciones de los estándares que usan modulación OFDM, y realizaremos las simulaciones de dichos estándares utilizando modulación SOFDM.

Y para finalizar, en el quinto y último capítulo, se llevará a cabo un análisis comparativo de las dos técnicas, OFDM y SOFDM, por estándar.

# CAPITULO 1

## **Estudio técnico de la modulación SOFDM**

# 1. Estudio técnico de la modulación SOFDM

Para poder tratar el tema de la modulación Spread OFDM (SOFDM, ó OFDM Extendida) primero debemos enfocarnos en la modulación en la que se basa que es OFDM y sus características, las mismas que serán consideradas en la siguiente sección.

## 1.1. Fundamentos de OFDM

Se conoce con el nombre de Espectro Radioeléctrico a la porción del Espectro Electromagnético ocupado por las ondas de radio, es decir, las que se usan en las telecomunicaciones. El Espectro Electromagnético es un conjunto de ondas que van desde las ondas con mayor longitud como las ondas de radio, hasta los de menor longitud como los los rayos gamma. [24]

La longitud de onda se mide en metros; la frecuencia se obtiene con la siguiente ecuación:

$$\frac{300.000}{\text{longitud\_de\_onda}(m)} = \text{Frecuencia}(KHz)$$

En la tabla 1.1 se muestran las bandas de frecuencia más usadas para transmisión de televisión y sus principales servicios.

BANDA	PRINCIPALES SERVICIOS
UHF	Fijo terrestre
	Móvil terrestre
	Radiodifusión
	Fijo satelital
VHF	Móvil terrestre
	Radiodifusión
	Móvil Aeronáutico
	Aficionados
	Fijo terrestre
HF	Radiodifusión
	Móvil Aeronáutico
	Aficionados
	Fijo terrestre
	Móvil terrestre

*Tabla 1.1: Servicios de bandas de espectro radioeléctrico para TV [25]*

Si el producto punto de dos señales cualquiera es igual a cero, se dice que son ortogonales entre sí. Esto sucede cuando el coseno del ángulo que forman ambas señales es igual a cero.

En el esquema OFDM una gran cantidad de subportadoras (subcanales) ortogonales que tienen la capacidad de solaparse, son transmitidas en paralelo; de este modo dividen el ancho de banda disponible.

El término solaparse hace referencia a que su espectro puede cruzarse con el de sus vecinas. En este trabajo hablaremos de portadoras en lugar de subportadoras.

Se añade una señal  $\text{sinc}(x)$  al espectro de cada portadora, donde los nulos del  $\text{sinc}(x)$  son enteros múltiplos de  $1/nT$ . Los picos de cada portadora están ubicados a una frecuencia de  $k/nT$ , por lo tanto ninguna de las portadoras interferirá con otra durante la transmisión. Esto hace que se use el espectro de una manera eficiente.

La principal ventaja de OFDM es la forma en que maneja las interferencias en el receptor debido a un canal multicamino o multitrayectoria; las cuales supera proveyendo una tasa de símbolos vs bits baja, usando codificadores de corrección de error poderosos e intercalando la información en tiempo y frecuencia. Esto representa una gran ventaja para los sistemas de transmisión de televisión.

La clave para el éxito de OFDM es la relación que existe entre las frecuencias de las portadoras y la tasa de símbolo; ya que cada frecuencia de portadora está separada por un múltiplo de  $1/NT(\text{Hz})$ , por lo tanto la tasa de símbolo para cada portadora es  $1/NT(\text{símbolos/segundo})$ . [1]

La figura 1.1 muestra un diagrama de bloques general del transmisor y receptor de un sistema OFDM.

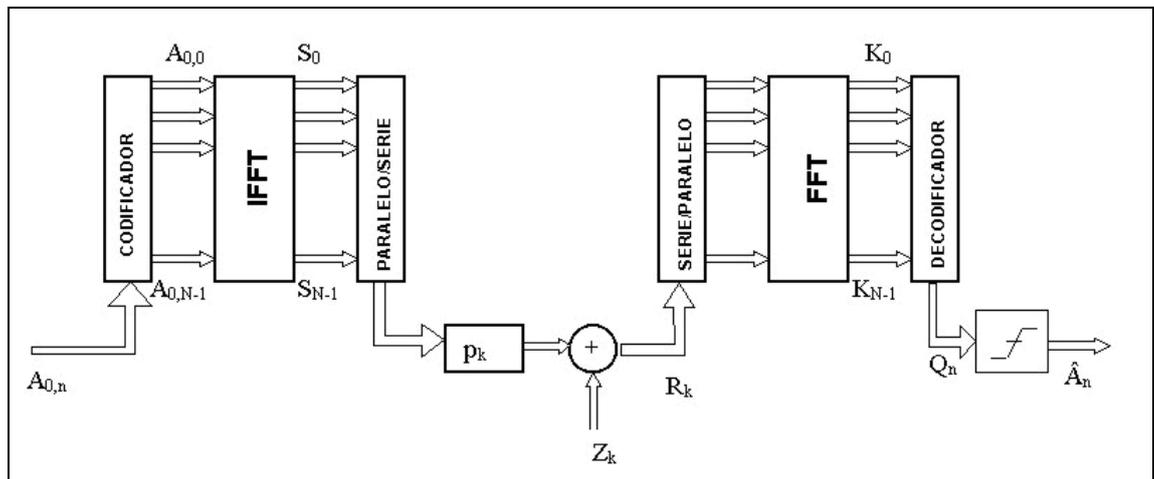


FIGURA 1.1: Esquema básico de transmisión/recepción OFDM [2]

En resumen, para modular las portadoras en OFDM se deben seguir los pasos siguientes:

- Combinar los datos binarios de acuerdo al número de bits/símbolo seleccionado.
- Convertir el flujo de símbolos seriales en segmentos paralelos de acuerdo al número de portadoras y a su secuencia.
- Aplicar codificación diferencial a cada secuencia de símbolos de las portadoras
- Convertir cada símbolo a su representación en fase compleja

- Asignar cada secuencia de portadora a un número apropiado de la IFFT, incluyendo su respectiva conjugada compleja
- Tomar la IFFT del resultado [1]

## 1.2. Análisis técnico de SOFDM

La señal banda base del sistema OFDM puede ser escrita de la siguiente manera:

$$x_n = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} X_k - e^{j2\pi mk/N}, n = 0, \dots, N - 1$$

donde  $X_k$  es el símbolo número  $k$ . Entonces el vector OFDM modulado se puede expresar así:  $\mathbf{x} = \text{IFFT}\{\mathbf{X}\}$ .

En la siguiente figura se muestra un diagrama de bloques de OFDM convencional,  $h$  es la respuesta al impulso del canal y  $v$  es el vector de las variables aleatorias Gaussianas complejas no correlacionadas con varianza  $\sigma^2$ .

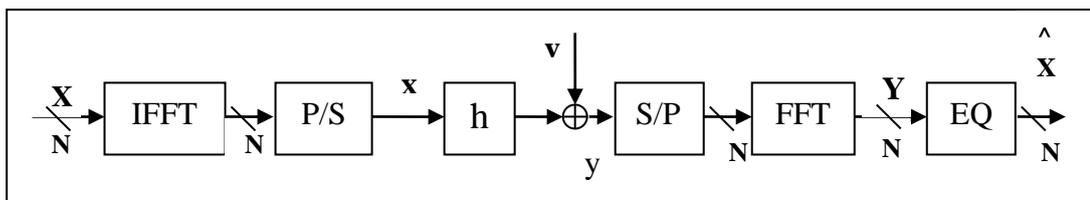


FIGURA 1.2: Sistema OFDM convencional

La salida de la FFT es  $\mathbf{Y} = \mathbf{C}\mathbf{X} + \mathbf{W}$ , donde  $\mathbf{C} = \text{diag}(c_1, c_2, \dots, c_N)$  proporciona las atenuaciones del canal en el dominio de la frecuencia y  $\mathbf{W}$  es la FFT del ruido  $v$ .

En SOFDM el vector a ser multiplicado por la IFFT es primero multiplicado por una matriz de ensanchamiento que usualmente es una matriz Hadamard<sup>1</sup>, la cual puede ser interpretada como una fuente de interferencia interportadora (ICI), como lo muestra la figura 1.3.

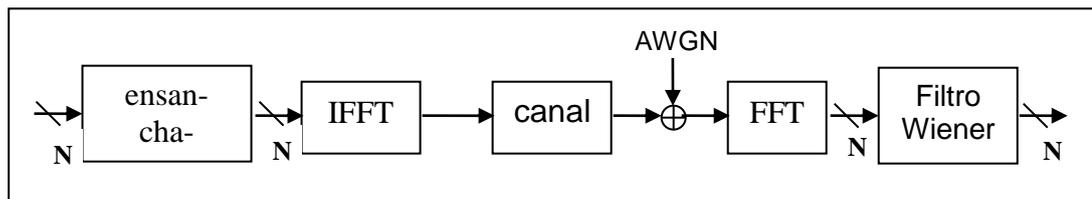


FIGURA 1.3: Sistema Spread OFDM simplificado

Debido a la interferencia introducida por la matriz de ensanchamiento, se necesita implementar un filtro Wiener en el receptor cuya salida es el vector

$$\hat{\mathbf{X}} = \mathbf{G}\hat{\mathbf{Y}}.$$

$$\mathbf{G} = \arg \min_w \left\| \mathbf{W}^H \hat{\mathbf{X}} - \mathbf{X} \right\|^2 = \mathbf{\Theta}^T \mathbf{F}$$

<sup>1</sup> La matriz Hadamard será tratada brevemente en el anexo A.

donde  $\Theta$  es la matriz de Hadamard, y  $F$  es la matriz diagonal

$$F = \text{diag} \left( \frac{c_1^*}{|c_1|^2 + \sigma^2}, \dots, \frac{c_N^*}{|c_N|^2 + \sigma^2} \right)$$

De esta manera el receptor consiste de ecualización escalar de canal seguida por la transpuesta de la matriz de ensanchamiento, la que en caso de ensanchamiento unitario sería igual a la matriz inversa.

Se ha demostrado que la matriz de Hadamard reduce la potencia de pico-a-promedio (PARP) de las señales, presente en los sistemas de multiportadoras, así como también incrementa la diversidad de frecuencia. [3]

### **1.3. Ventajas y Desventajas de SOFDM**

Como mencionamos en la sección anterior, SOFDM representa un gran beneficio para las señales que tienen distintos niveles de potencia, debido a que puede representar un problema al momento de recibir la señal y decodificarla; esto hace disminuir la tasa de error de bit (BER) que es uno de los parámetros más importantes al momento de medir la calidad de señal. No podemos olvidar que estamos hablando de televisión digital donde la calidad

de la imagen tiene gran impacto en el usuario, y de dicho impacto depende el éxito de la implementación de TDT. [3]

El aplicar una fase más al diseño lleva a una mayor complejidad del mismo; y por lo tanto a un mayor tamaño. Esto no representa una desventaja en la fabricación de decodificadores digitales, ya que la mayoría de veces éstos son del tamaño de los decodificadores de cable y el tamaño del circuito tendría un efecto insignificante. Los televisores con receptores digitales incorporados tampoco representan un problema. La desventaja se presenta en los dispositivos móviles, que por su aplicación deben ser lo más ligeros posibles; pero en todo caso con el rápido avance de la tecnología en cuanto a circuitos integrados no se notaría la diferencia.

#### **1.4. Comparación entre SOFDM y la técnica existente OFDM**

Podemos escoger entonces cuál de las técnicas mencionadas anteriormente nos conviene más y podemos anotar lo siguiente:

- Por calidad es preferible escoger SOFDM; debido a que presenta una menor tasa de error de bit.
- Por reducir la potencia pico-promedio definitivamente se debería optar por SOFDM.

- Por simplicidad es recomendable OFDM ya que no tendríamos que fabricar nuestros propios receptores.

Ahora debemos resolver que característica nos resulta más provechosa, y debido a que en nuestro país los receptores móviles no saldrían al mercado sino después de un buen tiempo de que comience la convergencia entre analógico y digital se debería preferir la calidad antes que la simplicidad, ya que esta es la que producirá el impacto deseado para que las masas prefieran este nuevo modelo.

## **1.5. Resumen**

La modulación OFDM representa la mejor opción para sistemas inalámbricos de múltiples trayectorias como es el de transmisión de televisión.

La técnica de modulación SOFDM es teóricamente superior a su predecesora OFDM en cuanto a calidad de señal y emisión de potencia.

Si dicho concepto es comprobado en la práctica, con las simulaciones que realizaremos en los últimos dos capítulos de esta tesis, se debería escoger este esquema para converger hacia la televisión digital, siempre y cuando se

cuente con los recursos suficientes para ello, ya que estaríamos hablando de tener nuestro propio estándar.

# CAPITULO 2

## **Estándares de transmisión de televisión digital terrestre**

## **2. Estándares de transmisión de televisión digital terrestre**

Un aspecto importantísimo al momento de querer implementar un sistema de televisión digital terrestre es el estándar que se va a escoger para dicho propósito. Existen algunos estándares con diversas aplicaciones para TDT; pero todos se resumen en tres grupos ampliamente conocidos que han sido implementados a nivel mundial, unos más exitosos que otros y con características muy interesantes que analizaremos a continuación con el fin de elegir el más adecuado para ser usado en nuestro territorio.

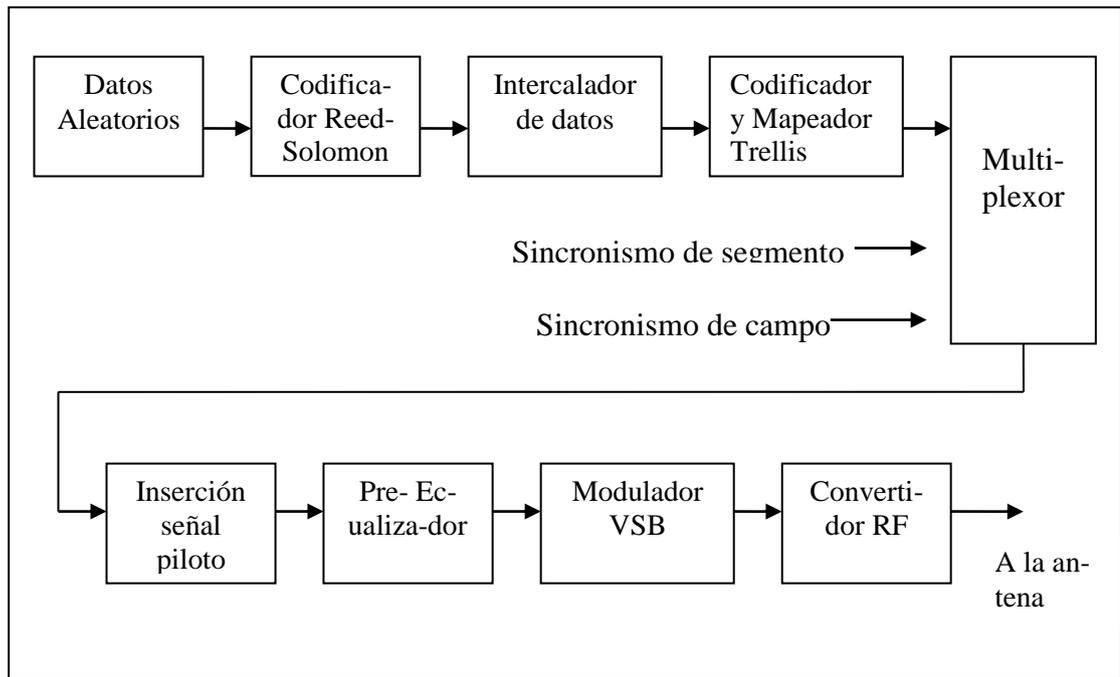
### **2.1. ATSC – Estándar Americano**

Advanced Television Systems Committee (ATSC) es el estándar usado en América del Norte. Emplea modulación 8VSB (Vestigial Side Band) que es muy similar a la modulación de banda lateral vestigial utilizada en televisión analógica.

Usa flujo de transporte MPEG-2 y codificador-decodificador de video (video codec); y de hecho este estándar se diferencia del europeo sobre todo por la forma como se codifican los servicios que están relacionados entre sí, como subtítulos, guía de programas e idiomas, etc; y por supuesto en la modulación.

La modulación 8VSB significa VSB de 8 niveles, en ésta, cada sección de la señal lleva más de 1 bit, hasta 3 bits por sección. Estas secciones son llamadas símbolos y en la actualidad sólo se transmiten 2 bits de información en cada uno; resumiendo se envían 4 símbolos por byte. Por ejemplo para un canal de 6 MHz la tasa de transmisión es de 3.2 bits/Hz y la velocidad de los datos es de 19 Mbps.

ATSC sólo define los bloques de transmisión y distribución, por lo que a continuación únicamente presentaremos un diagrama general del sistema de transmisión.

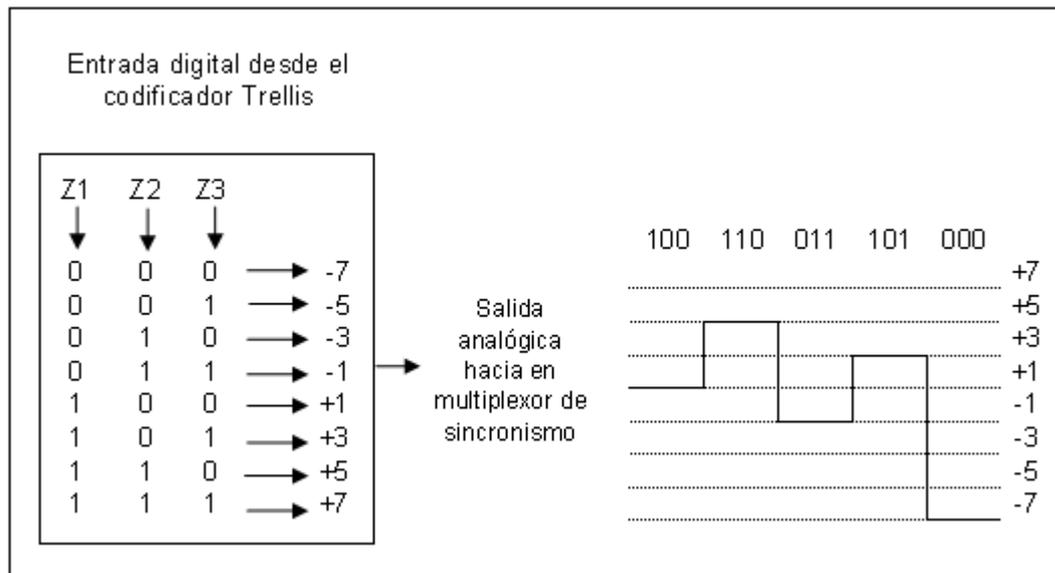


*FIGURA 2.1: Diagrama General de transmisión del estándar ATSC*

EL intercalado hace que el ruido no desborde la protección del código Reed-Solomon, este bloque emplea un intercalado de bits convolucional que dispersa la información en una región de 52 segmentos.

La codificación y el mapeo Trellis mejoran el desempeño del sistema, inmunizándolo del ruido. Cada 2 bits son representados por 3 bits que pasan al mapeador para convertirlos en una señal modulante de 8 niveles.

En la etapa de multiplexación se inserta un bit de sincronismo (sync) para mejorar la confiabilidad de su extracción. Como se muestra en la siguiente figura se usan niveles de modulación de -7 y +7.



*FIGURA 2.2: Operación del codificador-mapeador Trellis*

Una portadora es insertada para recibir la señal y mantenerla enganchada. El pre-ecualizador corrige el roll-off, que no es más que la atenuación de un filtro a paso alto o paso bajo; y realiza una pre-corrección de la distorsión de la respuesta en frecuencia.

Finalmente la modulación en amplitud de supresión de banda lateral inferior se adecua al ancho de banda asignado. Se modula en dos portadoras de IF en cuadratura que se combinan para crear la banda lateral vestigial. [4]

La mayoría de los pasos anteriormente explicados se repiten en los otros 2 estándares a estudiar, lo que cambia mayormente es el tipo de modulación que en los otros casos es OFDM, de la cual hablamos en la primera parte de

nuestro proyecto. Por este motivo no se volverán a tratar en detalle en las siguientes secciones.

A continuación, en la figura se muestra la respuesta en frecuencia de un transmisor ATSC y la tabla de los principales parámetros de dicho sistema.

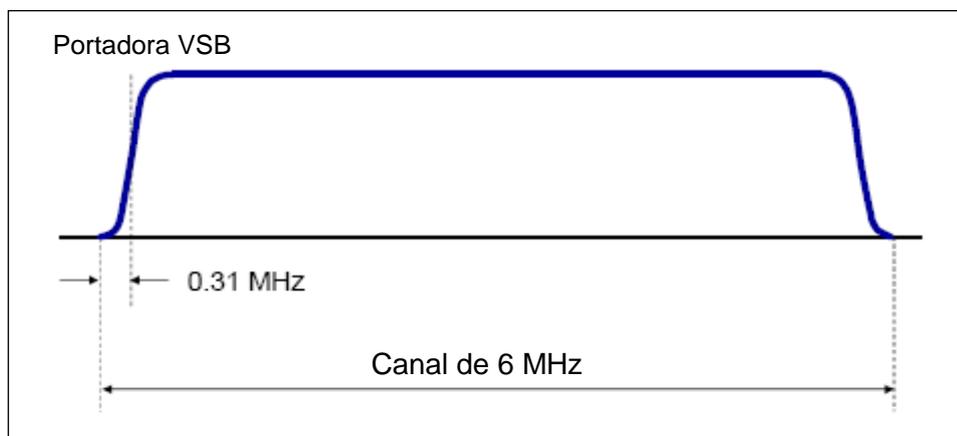


FIGURA 2.3: Respuesta en frecuencia del sistema ATSC

Parámetro	Modo terrestre
Ancho de banda (canal)	6 MHz
Exceso ancho de banda	11.5%
Tasa de símbolo	10.79 MS/s
Bits/símbolo	3
FEC de trellis	2/3
FEC de Reed-Solomon	T=10 (207,187)
Longitud del segmento	832 símbolos
Sincronismo de segmento	4 símbolos/seg
Sincronismo de trama	1 cada 313 segmentos
Tasa de datos de carga útil	19.29 Mb/s
Rechazo co-canal NTSC	Filtro de rechazo NTSC
Potencia piloto agregada	0.3 dB
Umbral C/N	14.9 dB

TABLA 2.1: Parámetros de transmisión del sistema ATSC [4]

En un principio este estándar no admitía aplicaciones interactivas ni móviles, ni redes de frecuencia únicas; pero se han realizado mejoras en la norma A/110 del estándar ATSC para que siendo tan sencillo y poco costoso se puedan incluir características similares a éstas en un momento determinado; pero todavía no son visibles en la práctica. [5]

### **Redes de Frecuencia Unica**

Single Frequency Networks (SFN) son redes de frecuencia única, lo que significa que tenemos transmisores emitiendo en la misma frecuencia. Son usadas por los sistemas de televisión digital que utilizan modulación OFDM para poder usar la misma frecuencia en distintos transmisores sin generar interferencia.

Si estamos en los límites de cobertura de un transmisor la interferencia producida por transmisores próximos a esta área se mantiene dentro de los márgenes permitidos para no perturbar la señal.

Otra ventaja de esta red es que los transmisores emiten menos potencia debido a la ganancia interna que se produce debido a que se suman las señales procedentes de los diversos emisores. Además se pueden rellenar

zonas vacías con reusos de frecuencia colocando transmisores de muy baja potencia.

La desventaja de estas redes es que se necesita sincronización entre los transmisores, además que se debe emitir la misma programación al mismo tiempo en todas las áreas. [2]

### **Compresión MPEG**

MPEG significa Motion Picture Expert Group. En este formato de compresión las imágenes de High Definition Television (HDTV o Televisión de Alta Definición) tienen aproximadamente 5 veces más información que las de Standard Definition Television (SDTV o Televisión de Definición Estándar); por lo que se puede enviar un programa HD o por lo menos 4 programas SD por un mismo canal analógico. En el caso de ATSC los norteamericanos se decidieron por la calidad antes que por la cantidad, motivo por el cual este estándar es prácticamente usado para enviar un programa HD.

Imagen SDTV

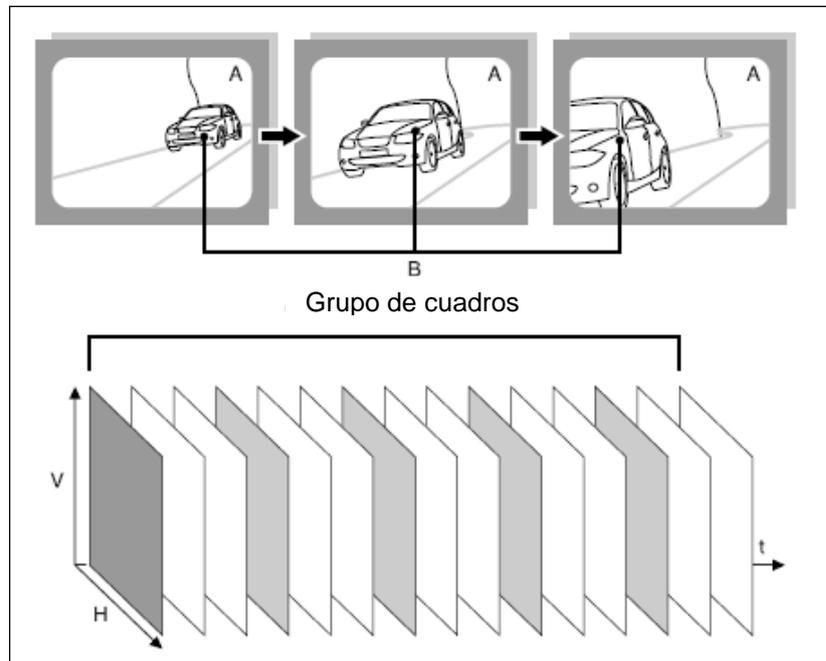


Imagen HDTV



*FIGURA 2.4: Diferencia en la calidad de imágenes SDTV y HDTV*

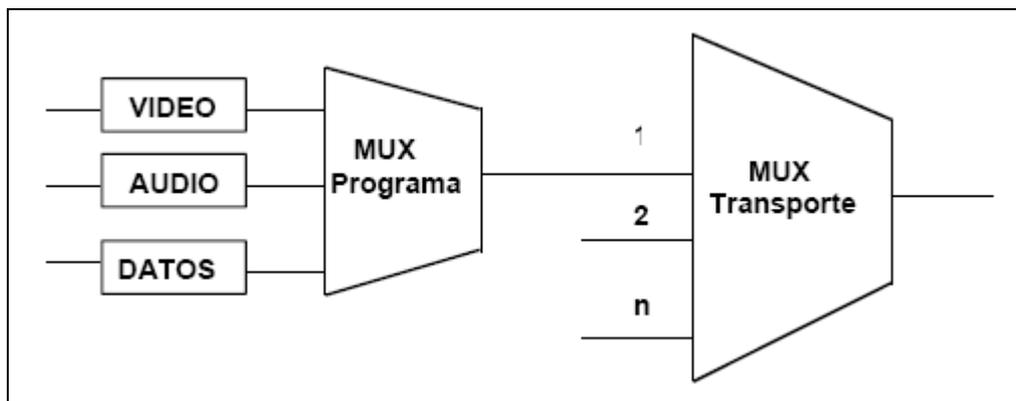
MPEG toma grupos de 15 cuadros de TV. El cuadro 1 se comprime espacialmente por técnicas parecidas a las de imágenes fotográficas, llamado cuadro I. Los otros 14 cuadros son codificados como cuadros P y cuadros B.



*FIGURA 2.5: Grupos de cuadros MPEG*

Los cuadros I utilizan compresión intraframe. Son imágenes que se codifican de forma independiente a las demás. Aprovechan la redundancia espacial para reducir la velocidad binaria en seis veces sobre la codificación PCM. La codificación se basa en bloques de 8x8 píxeles. Los P o predictivos utilizan además técnicas de predicción de acuerdo a la anterior trama y al movimiento. Éstos están formados por cuatro bloques. Y los B o compresión de trama bidireccional basan su predicción en tramas anteriores y posteriores, de tipo I y P.

Las señales procedentes de los codificadores de audio y vídeo se asocian junto con identificadores en el múltiplex de programa. A su vez, un conjunto de tramas de programas se asocian en un múltiplex de transporte. La figura 2.6 muestra la estructura del multiplex.



*FIGURA 2.6: Estructura del Multiplex en MPEG-2*

En MPEG se reduce la velocidad binaria para adecuarla a diversos medios de transmisión. Posee un sistema de corrección de errores de características mejoradas en relación a otros métodos de compresión. Es inmune al drop-out (pérdida de material magnético en la cinta u otras pérdidas de datos). Permite velocidades de transmisión de datos desde 1 Mbps hasta 20 Mbps.

## **2.2. DVB – Estándar Europeo**

Digital Video Broadcasting (DVB) es el estándar de televisión digital más popular en el mundo, en especial en Europa donde casi todos los países de ese continente lo han escogido; tiene una serie de derivaciones tales como DVB-T (DVB Terrestrial), DVB-C (Cable), DVB-S (Satelite), entre otros; pero el que usaremos en las simulaciones es el DVB-T por razones que trataremos a continuación.

### **2.2.1. DVB-T**

Es el estándar básico para transmisión de televisión digital. Tiene una ventaja frente a los demás, debido a que posee una gran cantidad de mercado se vuelve más asequible a los consumidores debido a la mayor oferta de aparatos receptores y a su relativo bajo costo acompañado de la excelente calidad que brindan. Además ofrece mayor variedad de programas y servicios multimedia en un único canal radioeléctrico o un único programa con calidad HDTV, como mencionamos en la sección anterior.

Como DVB-T está destinado a reemplazar la televisión analógica usa los mismos anchos de banda que ésta (6, 7 y 8 MHz). En este caso el estándar

MPEG define básicamente los decodificadores, permitiendo diversidad de codificadores.

DVB-T utiliza la modulación OFDM, implementa redes de frecuencia única, que permiten emitir un grupo de 4 programas a todo un territorio utilizando la misma frecuencia.

La figura 2.7 muestra un diagrama de bloque resumido del estándar de televisión digital DVB-T.

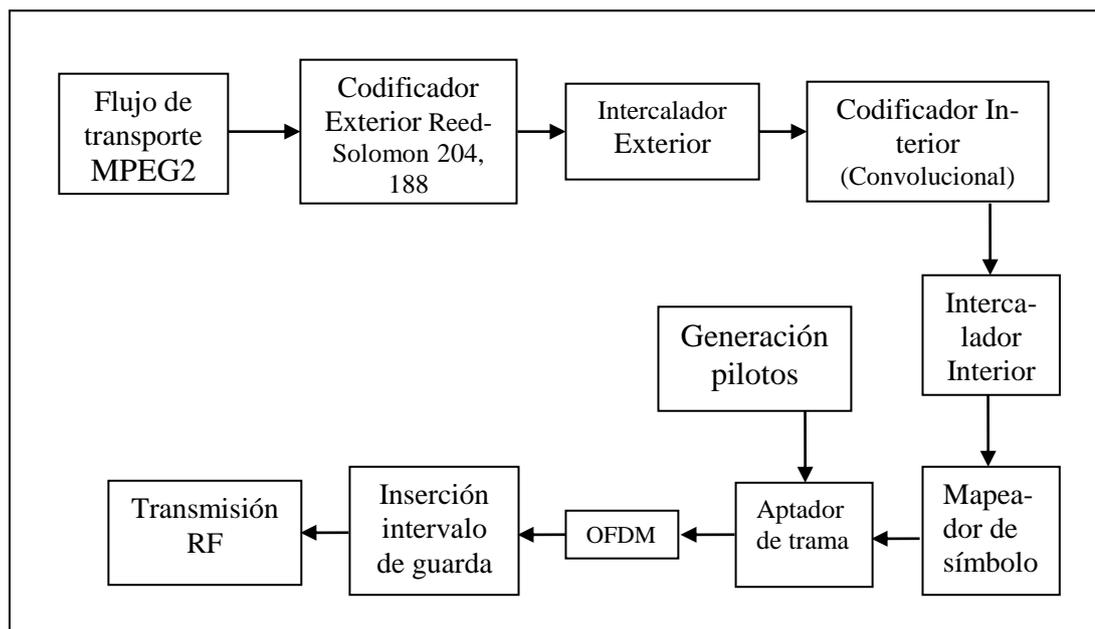


FIGURA 2.7: Diagrama de bloques del sistema DVB-T [26]

Este estándar utiliza Codec OFDM (COFDM) que no es más que la modulación explicada en el capítulo 1, más un codificador convolucional y un intercalador como podemos observar en la figura 2.7.[2]

Dijimos anteriormente que el ancho de banda disponible se divide en una cantidad determinada de portadoras, las cuales tienen el suficiente ancho de banda para transportar un símbolo a la vez; en el caso de DVB-T la cantidad de portadoras deberá ser como mínimo 2048 (1705 portadoras útiles) en el modo 2k y 8192 (6817 portadoras útiles) en el modelo 8k, como muestra la tabla 2.3. Por motivo de nuestra investigación usaremos el modo 2k ya que es adecuado para la cantidad de información que queremos enviar que son 1512 símbolos por bloque. [6]

En la tabla 2.2 se muestran los parámetros establecidos para dicho modo.

<b>Parámetro</b>	<b>Modo 2k</b>
------------------	----------------

Periodo elementario T	7/64 $\mu$ s			
Número de portadoras K	1,705			
Número mínimo de portadoras Kmin	0			
Número máximo de portadoras Kmax	1,704			
Duración Tu	224 $\mu$ s			
Espaciado de portadoras 1/Tu	4,464 Hz			
Espaciado entre Kmin y Kmax(K-1)/Tu	7.61 MHz			
Intervalo de guarda permitido $\Delta$ /Tu	1/4	1/8	1/16	1/32
Duración de parte Tu del símbolo	2,048xT 224 $\mu$ s			
Duración del intervalo de guarda $\Delta$	56 $\mu$ s	28 $\mu$ s	14 $\mu$ s	64xT 7 $\mu$ s
Duración del símbolo Ts= $\Delta$ +Tu	280 $\mu$ s	252 $\mu$ s	238 $\mu$ s	2.112xT 231 $\mu$ s

TABLA 2.2: Valores de los parámetros de OFDM para el modo 2k [6]

Parámetro	Modo 2k	Modo 8k
Máximo n° de portadoras	1,705	6,817
Portadoras activas	1,512	6,048
Portadoras piloto	176	701
Portadoras TPS	17	68
Espaciamiento portadoras (Hz)	4,462	1,116

TABLA 2.3: Comparación de parámetros más importantes entre modos 2k y 8k [4]

El estándar DVB-T aconseja empaquetar los datos de información en súper-tramas, tramas y símbolos, como muestra la figura 2.8.

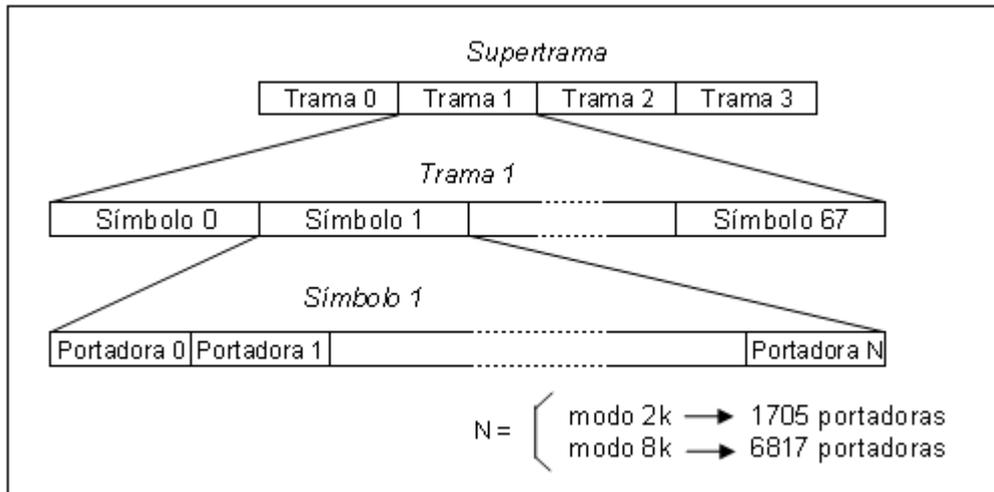


FIGURA 2.8: Empaquetamiento de datos en OFDM usando DVB-T [7]

La figura 2.9 muestra la composición de un símbolo OFDM. Un símbolo OFDM está formado por:

- Un intervalo de guarda que puede ser de 1/4, 1/8, 1/16 o 1/32 de la duración de la parte útil del periodo de símbolo de cada uno de los dos modos posibles.
- Relleno de ceros después del intervalo de guarda, hasta la portadora número 171; y nuevamente desde la portadora 1875 hasta la 2048.
- 1705 portadoras útiles, desde la portadora número 171 hasta la portadora 1875; de las cuales 1512 son para transmisión de información y 205 para señales piloto. [2]

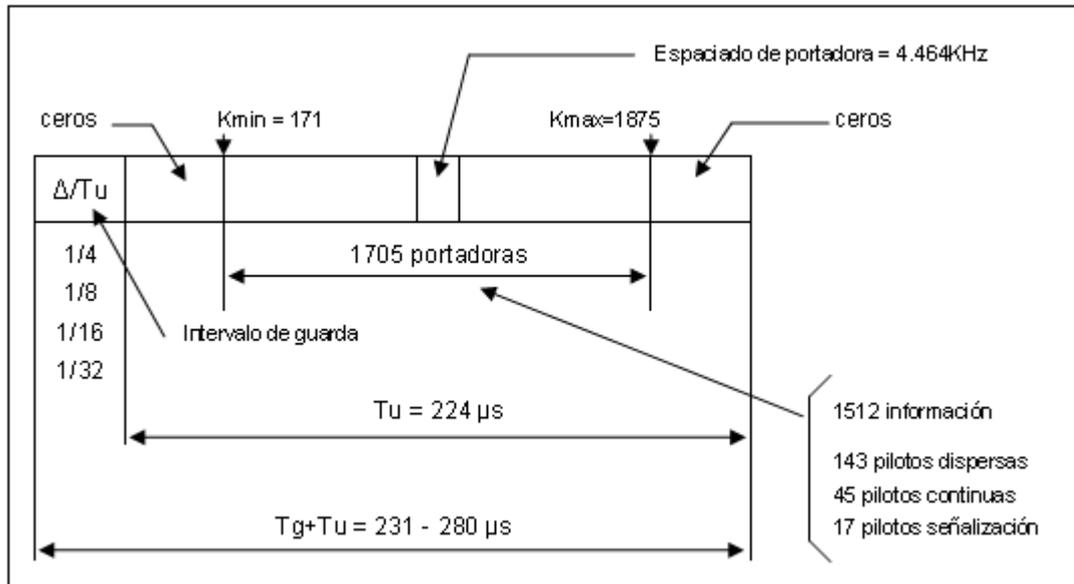


FIGURA 2.9: Símbolo OFDM [7]

En este caso se deben enviar tres clases de señales piloto: Pilotos Dispersas; Pilotos Continuas y Señalización de Parámetros de Transmisión. Recordemos que en el caso de ATSC sólo se enviaba una señal piloto. La figura 2.10 muestra un esquema que indica las posiciones donde deben ir colocadas estas señales piloto en las portadoras.

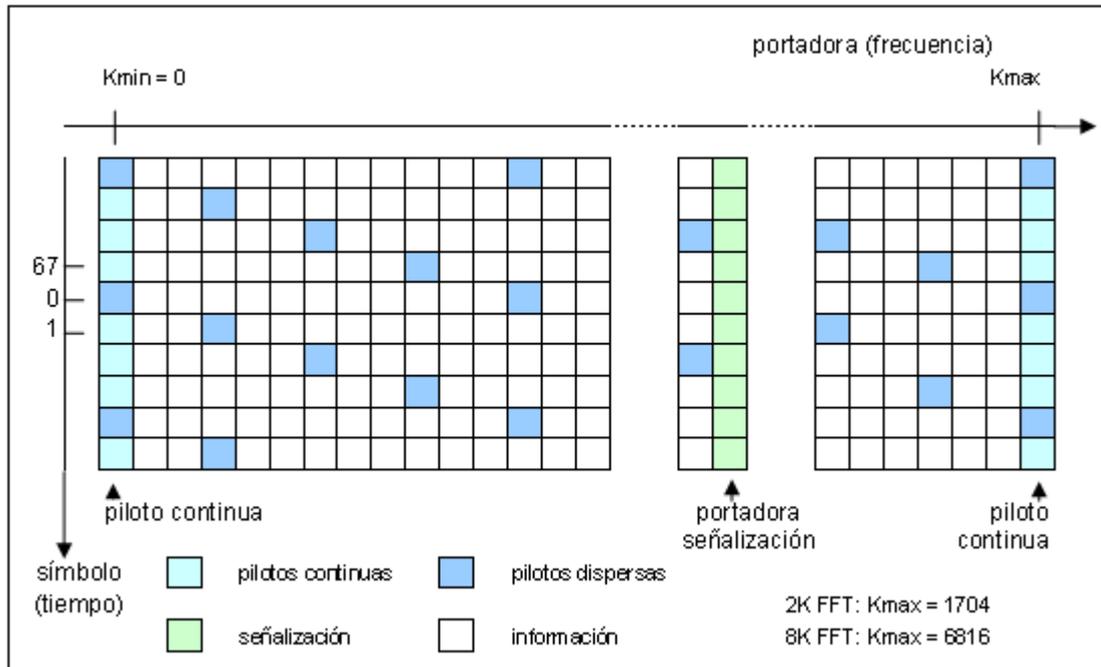


FIGURA 2.10: Señales piloto en portadoras OFDM [7]

A continuación se muestra el espectro de la señal digital enviada usando el estándar DVB-T utilizando un intervalo de guarda considerablemente grande, como vemos está comprendido dentro del ancho de banda para un canal analógico de 8 MHz.

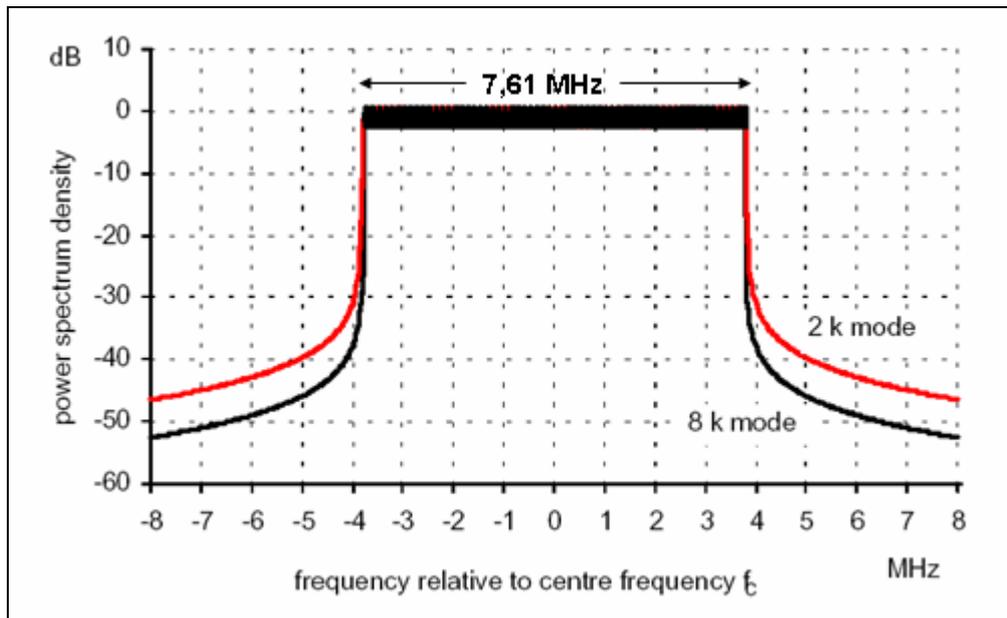


FIGURA 2.11: Espectro de señal DVB-T con intervalo de guarda 1/4

### 2.2.2. DVB-H

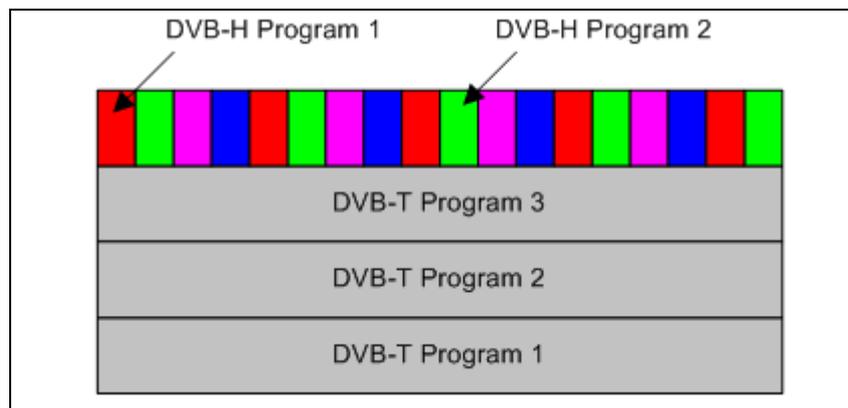
Digital Video Broadcasting Handled (DVB-H) es la especificación técnica que se usa en receptores móviles.

Este estándar es básicamente el DVB-T explicado anteriormente con ciertas características adicionales como:

- DVB-H usa división en el tiempo para reducir el consumo de energía.

- También se puede emplear el modo 4k para movilidad. Con esto se consigue mayor flexibilidad en el diseño de la red.
  - Más robusto y tolerante al ruido impulsivo que su predecesor.
- [8]

En la siguiente figura se muestra como DVB-T y DVB-H pueden coexistir en el mismo multiplex.



*FIGURA 2.12: Estructura del estándar DVB-H junto a DVB-T [27]*

Este estándar se encuentra en periodo de prueba en más de 17 ciudades, la mayoría europeas; y para este año se tenía previsto lo mismo en Nueva York. Por este motivo no creemos viable que se lo adopte todavía en nuestro territorio, ya que deberían hacerse todas las pruebas correspondientes en otros países que pueden soportar el fracaso en este modelo de negocios, de llegar a suceder el mismo.

### 2.2.3. DVB-RCT

Digital Video Broadcasting Return Channel Terrestrial es el estándar que permite interactividad con la estación de televisión, por medio de este se podrá acceder al comercio por televisión y se tendrá un camino de retorno directo desde el televisor hacia el proveedor de servicio.

Las características de este estándar son las siguientes:

- Eficiente en el uso del espectro, y de bajo costo.
- Puede soportar alto tráfico, hasta 20.000 interacciones por segundo en el mismo sector de la misma celda.
- Disponible en dispositivos portátiles.

Canal de bajada (DS)	OFDM, ETS 300 744 (DVB-T) dócil
Canal de interacción de retorno	OFDM de múltiple acceso (MA-OFDM)
Modulación	QPSK, 16QAM, 64QAM
Set de portadoras OFDM	1024 (1K), 2048 (2K)
Espaciado de portadoras	~1K, ~2K, ~4K
Modos de transmisión	6 modos (como combinación de 3 espaciados de portadoras y 2 sets de portadoras)
Forma de portadora	Nyquist, Rectangular
Intervalo de guarda	$\frac{1}{8}, \frac{1}{16}, \frac{1}{32}$ (sólo Rectangular)
Tramas de transmisión	TF1, TF2
Códigos de canal	Turbo o concatenado (Reed-Solomon + Convolutivo)
Rango de servicio	Más de 65km (radio de celda)
Canales	Canales de 6, 7, 8 MHz

TABLA 2.4: Parámetros físicos del estándar DVB-RCT [9]

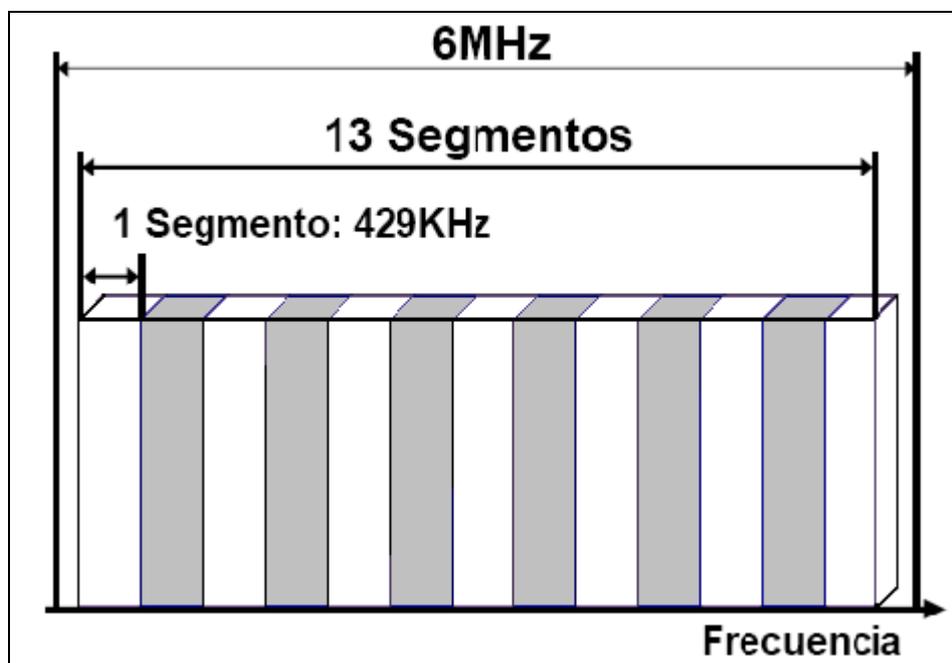
### 2.3. ISDB-T – Estándar Japonés

Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial es el sistema de televisión digital usado en Japón, siendo éste el único país que lo ha adoptado, debido también a que fue desarrollado para las necesidades específicas de ese territorio. Ha evolucionado del DVB-T, por lo que usa casi los mismos bloques que se presentan en ese estándar pero es más versátil e incluye algunas mejoras como:

- Transmisión de datos.
- Recepción muy estable en celulares, computadoras y demás equipos inalámbricos.
- Búsqueda de programación y recuperación de información en cualquier momento.
- Acceso a Internet.
- Intercalación en el tiempo para ahorrar energía. [10]

ISDB-T permite transmisión jerárquica, que hace posible que diferentes receptores reciban la señal, la procesen y generen imagen y sonido de acuerdo a sus características. Estos receptores son de banda ancha y banda angosta. Esta característica habilita a los receptores de banda estrecha recibir apenas una parte de la señal. Para que esto sea posible se divide el espectro en

segmentos donde cada uno tiene un número de portadoras de datos y control dependiendo del modo que se escoja. Esta agrupación de portadoras se denomina OFDM de banda segmentada ó Band Segmented Transmission (BST-OFDM), que divide el espectro en 13 segmentos iguales donde se pueden enviar un programa HDTV o tres programas SDTV, y en el cual un segmento está reservado para transmisión móvil. [28]



*FIGURA 2.13: OFDM de Banda Segmentada en ISDB-T*

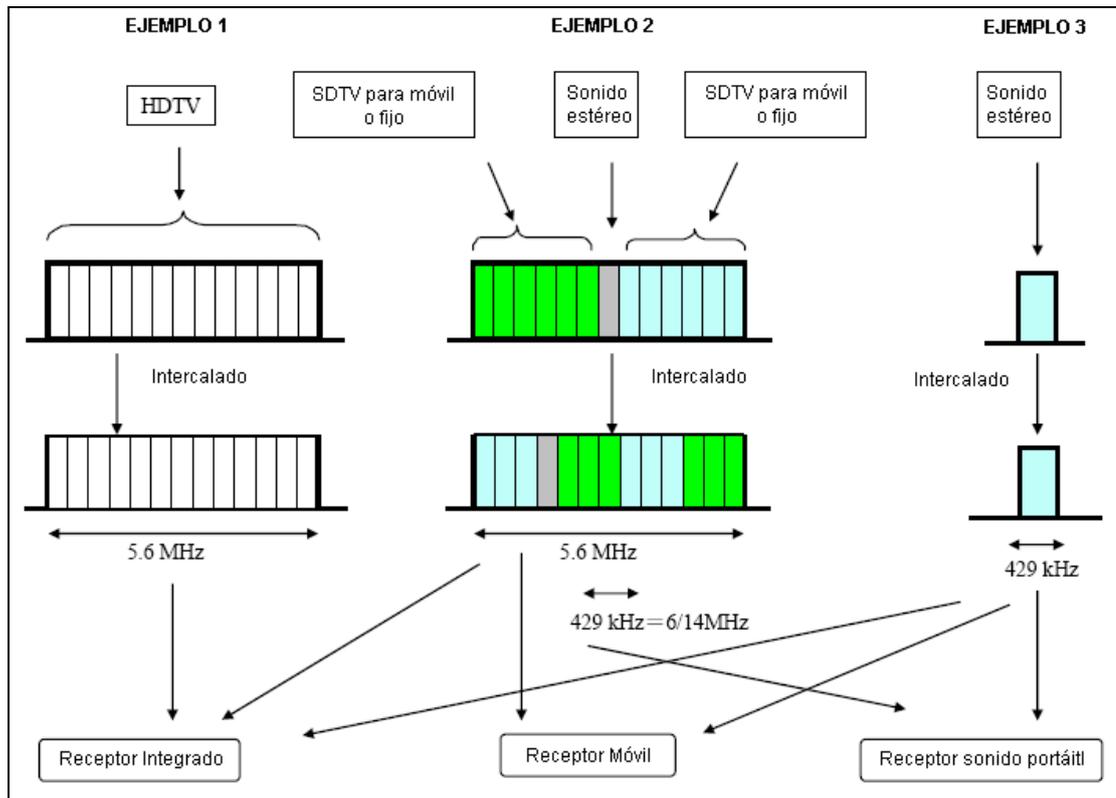


FIGURA 2.14: Ejemplos de transmisión ISDB-T con diferentes de receptores

[10]

Existen 3 modos de transmisión cuyos parámetros se identifican en la tabla 2.5.

<b>Parámetro</b>	<b>Modo 1</b>	<b>Modo 2</b>	<b>Modo 3</b>
No. de segmentos OFDM	13		
Ancho de banda	5.575 MHz	5.573 MHz	5.572 MHz
Intervalo de portadora	3.968 kHz	1.984 kHz	0.992 kHz
No. de portadoras	1405	2809	5617
Sistema de modulación	QPSK, 16QAM, 64QAM, DQPSK		
Longitud de símbolo	252 $\mu$ s	504 $\mu$ s	1.008 ms
Longitud intervalo guarda	1/4, 1/8, 1/16, 1/32 de longitud de símbolo		
No. de símbolos por trama	204		
Intercalado de tiempo	4 valores máximos: 0, 0.13, 0.25, 0.5 segundos		
Intercalado de frecuencia	Intercalado intra/inter-segmento		
Código interno	Código convolucional (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8)		
Código externo	Reed-Solomon (204, 188)		
Tasa de bit de información	3.65 Mbps – 23.23 Mbps		
Transmisión jerárquica	3 niveles máximo		

*TABLA 2.5: Parámetros de transmisión para ISDB-T [11]*

Un segmento OFDM corresponde a un espectro de frecuencia de 6/14 MHz de ancho de banda, aproximadamente 430 kHz. En el modo 1 un segmento consiste de 108 portadoras, en el segundo modo 216 y en tercero 432 portadoras. Una trama OFDM consiste de 204 símbolos con intervalos de tiempo incluidos.

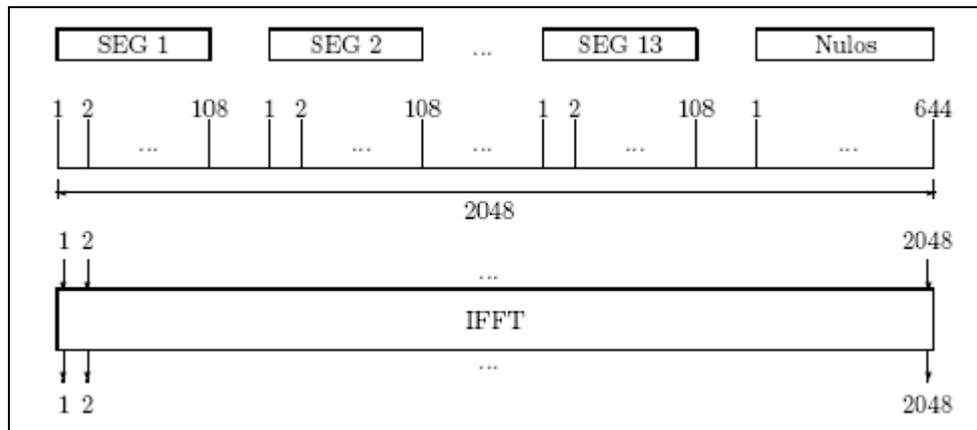


FIGURA 2.15: Ubicación de las portadoras en modo 1 [12]

Después de esto, el estándar se parece bastante al DVB-T, lo que cambia son los parámetros de cada módulo y se incluyen módulos como los de dispersión de energía y compensación de atraso.

La dispersión de energía se lleva a cabo en cada programa por separado, tiene la función de que una secuencia de ceros sucesivos no sea transmitida y se realiza por medio de la operación XOR.

Se producen atrasos en el receptor debido a que los programas tienen diferentes tamaños, esto se lleva a cabo insertando diferentes atrasos en los programas de acuerdo al esquema de modulación como se muestra en la tabla 2.6 donde N representa el número de segmentos por programa.

Modulación	Tasa de código	Modo 1	Modo2	Modo3
QPSK	1/2	12N-11	24N-11	48N-11
	2/3	16N-11	32N-11	64N-11
	3/4	18N-11	36N-11	72N-11
	5/6	20N-11	40N-11	80N-11
	7/8	21N-11	42N-11	84N-11
16QAM	1/2	24N-11	48N-11	96N-11
	2/3	32N-11	64N-11	128N-11
	3/4	36N-11	72N-11	144N-11
	5/6	40N-11	80N-11	160N-11
	7/8	42N-11	84N-11	168N-11
64QAM	1/2	36N-11	72N-11	144N-11
	2/3	48N-11	96N-11	192N-11
	3/4	54N-11	108N-11	216N-11
	5/6	60N-11	120N-11	240N-11
	7/8	63N-11	126N-11	252N-11

*TABLA 2.6: Cantidad de bloques requeridos para ajuste de atraso.*

El canal de retorno debido a la programación interactiva se da por medio del Internet, al presionar el botón de requerimiento del control remoto se envía una señal por medio de la red y se recibe una respuesta desde la misma Internet. Se puede acceder a servicios como telefoto, compras por TV, concursos, o espacios educativos. [12]

Después de muchas pruebas de campo y laboratorio Brasil adoptó este estándar por considerarlo el más robusto y confiable, y por presentar mejores resultados en su territorio. [5]

## 2.4. Resumen

Los tres estándares anteriores han sido desarrollados e implementados con éxito en sus diferentes regiones.

ATSC es usado principalmente en Norteamérica, el más sencillo pero a su vez presenta problemas en relación a la adaptación en dispositivos móviles y su desarrollo se ha enfocado a la transmisión de un programa en alta definición. Utiliza modulación 8VSB. Actualmente se están realizando mejoras al estándar.

DVB es el más expandido geográficamente ya que se encuentra por toda Europa, algunos países de Asia y Africa; y consta de algunas subdivisiones para cable, satélite, terrestre, interactivo y portátil. Combina efectividad con simplicidad y usa modulación OFDM. También admite contenido interactivo y goza de subestándar para su canal de retorno.

ISDB-T es el más complejo pero esto es compensado con la gran variedad de opciones que presenta. Sólo esta disponible en Japón ya que evolucionó del DVB-T para servir efectivamente a las características específicas de ese territorio; y Brasil. También usa modulación OFDM pero de banda segmentada.

En la tercera sección del siguiente capítulo compararemos los tres estándares para seleccionar el más conveniente para nuestra región.

# CAPITULO 3

## **Análisis costo-beneficio de implementación del siste- ma de televisión digital**

### **3. Análisis costo-beneficio de implementación del sistema de televisión digital en nuestro país**

En este capítulo se realizará un estudio socio-económico de los tres estándares estudiados en el capítulo anterior para concluir cuál es el mejor para que las estaciones de televisión lo adapten en nuestro país, y si es conveniente dicho cambio tanto para los proveedores del servicio como para los clientes.

#### **3.1. Costo del proyecto**

Sabemos que todo cambio de tecnología conlleva una fuerte inversión, pero en el caso del cambio de la TV analógica a digital los beneficios obtenibles del nuevo plan de negocios que se podrían conseguir compensarán en gran medida el desembolso de dinero que se verían obligados a realizar.

Aún así la implementación de este sistema tiene algunas grandes desventajas que cada empresa proveedora de servicio tendrá que analizar, con el fin

de determinar que tan dispuesta está a afrontarlas. A continuación consideraremos brevemente las más importantes.

## **Regulación**

El Estado deberá decidir de qué manera cobrará las licencias correspondientes al uso del espectro, recordemos que ya no será uno sino hasta cuatro programas que se podrán transmitir al mismo tiempo. El costo podría llegar a ser muy alto para los canales y puede que algunos de ellos piensen que no necesitan transmitir tanta programación, o simplemente que no pueden producirla.

Además de esto, los canales se tendrán que conformar con el estándar que el Estado escoja ya que debe ser unificado para el país. También deberán acatar las políticas regulatorias que se especifiquen para el nuevo uso del espectro. Se deberán cumplir plazos para la transición a la TV digital, plazo durante el cual el esquema actual, es decir analógico, deberá coexistir con el digital hasta que se produzca el apagón analógico. Se llama apagón analógico al momento desde el cual la transmisión de televisión será completamente digital. [13]

## **Entrada de nuevos actores**

El hecho de aumentar la cantidad de programas por canal no iguala a la TV por cable o satélite que puede alcanzar el centenar de canales y brindar programación bastante variada. Esto podría preocupar a las estaciones de televisión ya que la inversión publicitaria no aumentará tan rápidamente como deberá hacerlo la diversidad de programación de los canales. Es decir, trabajar más para ganar igual, esto será por lo menos al principio, pero posiblemente por un tiempo considerable. Está de más decir que sería un suicidio para las estaciones de televisión alquilar receptores para TV digital.

La gente creerá que debe necesariamente cambiar sus aparatos de televisión a otros con receptores para TV digital, pero la realidad es que comprar un decodificador digital es suficiente. Puede que al principio las personas quieran aferrarse a la TV analógica, ya que el temor al cambio muchas veces vence a la idea de obtener un mejor servicio.

Se deberá dar más énfasis a la calidad de programación con un enfoque más educativo; programas culturales, turísticos, y de diversas índoles sería el camino más propicio para aprovechar todo el espectro que se va a obtener. Se dará mas apertura a la producción nacional y se tendrán canales más dedicados a cierta rama; como por ejemplo noticias y deportes, entretenimiento,

salud y variedades, etc., esto implicará contratar más presentadores, guionistas, directores, productores, técnicos y la infraestructura misma del canal deberá crecer para poder abarcar el nuevo modelo programático y de negocios. [14]

Desgraciadamente en el sistema televisivo de nuestro país existe una muy baja oferta de material nacional, en contraparte con la gran oferta de material importado, como películas, novelas, documentales y demás que hacen muy difícil que lo tratado anteriormente se dé; por lo menos no a corto plazo.

## **Tecnología**

Es verdad que el hecho de cambiar de modelo de transmisión conlleva una fuerte inversión, y más todavía el que ambas tecnologías tengan que coexistir hasta que el esquema analógico deje de funcionar, y a lo mejor la velocidad de diseminación del nuevo sistema no sea el esperado. Pero no podemos dejar de ver que los avances en los dispositivos electrónicos no se dejan pasar por alto en el país; un ejemplo son los IPOD's, que se venden como pan caliente y los teléfonos celulares que cada vez están mas baratos debido a su gran demanda y cuyo servicio superó a la telefonía tradicional hace ya algunos años. Por lo que las clases menos afortunadas no sufrirían tanto al momento de comprar un decodificador digital como se podría estar

pensando, el mismo que es tan fácil de usar como los de televisión por cable. Además contamos con una amplia gama de proveedores de estos dispositivos como son: LG, Panasonic, Philips, Samsung, Microsoft, General Instrument, entre muchos otros.

El problema con la interactividad es que se necesita de un canal de retorno, esto se puede solucionar mediante la combinación del televisor con otras tecnologías como son el teléfono fijo o celular, o por medio de una conexión a Internet. Dicha solución genera más gastos al tener que pagar por la interconexión con empresas proveedoras de dichos servicios y además el costo de la red que tendría que levantarse para dicho cometido. Según este esquema la televisión se convertirá en una empresa de multiservicios. [15]

### **3.2. Beneficios de los usuarios**

Se puede apreciar claramente que los usuarios serán los más beneficiados de este proyecto y al mismo precio de siempre: GRATIS.

#### **Principales ventajas**

Los usuarios podrán disfrutar de los siguientes servicios:

- Más canales de donde escoger y programación más variada.
- Mejor señal: recibir en sus hogares la calidad de un DVD.
- Multimedia e interactivos: comunicarse en tiempo real con el canal de televisión, hacer compras por TV, concursos, etc.
- Recepción móvil: ver televisión nacional en PC's, buses, celulares, PDA's, incluso en nuestros propios autos.
- Servicio de datos. Acceso a Internet.
- Guía de programación las 24 horas del día. [16]



*FIGURA 3.1: Ejemplos de recepción móvil*

### **Orientación Social**

Siendo nuestro país del tercer mundo, la televisión digital ayudaría a solucionar el problema de exclusión social que limita la capacidad de desarrollo que sufren los ecuatorianos más pobres que son la mayor parte de la población y cuyos integrantes no cuentan con los medios suficientes como para pagar los servicios de televisión satelital o por cable, mes a mes. [16]

Una de las decisiones que el gobierno debería tomar es que a todo canal al que se le otorgue la licencia para transmitir TV digital se le obligará a promover por este medio el desarrollo integral de la población; por ejemplo, con educación a distancia, programas de alfabetización, lecciones de inglés, matemáticas y otras asignaturas básicas; educación ambiental, agricultura y ganadería; normas sanitarias, etc. En fin brindar contenido que realmente le pueda servir al pueblo para su superación personal y laboral.

Para este fin la balanza se inclina más hacia el concepto de multiprogramación, y se debería escoger el esquema de televisión de definición estándar, tema que vamos a tratar más en detalle en la siguiente sección. [14]

### **3.3. Estándar más conveniente en nuestra región**

En octubre del presente año el ingeniero Paul Rojas Vargas, Superintendente de Telecomunicaciones de nuestro país se reunió con representantes del estándar ISDB-T, como se muestra en la figura 3.2.



*FIGURA 3.2: Ing. César Macías, Ing. Paul Rojas Vargas (Superintendente de Telecomunicaciones), Ing. Seiji Sakuma e Ing. Masao Okayasu (representantes estándar ISDB-T)*

En dicha reunión se acordó realizar pruebas técnicas para la transmisión de TDT, las mismas que se efectuarán lo largo del próximo año. Los resultados de dichas pruebas y las recomendaciones respectivas se entregarán al Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión (CONARTEL), para que posiblemente en el 2009 se seleccione el estándar de TDT para el país.

También se realizarán reuniones con el personal técnico de los otros estándares para realizar las pruebas respectivas.[29]

Factores políticos, sociales, económicos y tecnológicos, propios y adquiridos, retrasan la elección del patrón de transmisión más indicado para nuestro país. Cada uno de ellos se encuentra muy ligado a su territorio de origen y en

la mayoría de los casos las tasas de penetración son bajas. Este crecimiento lento hace que los fabricantes de equipos domésticos mantengan sus precios un poco altos, en comparación a los de cable o satélite. [16]

A continuación realizaremos la recomendación del estándar más adecuado basándonos en dos puntos, los servicios que mejor serían aprovechados en nuestra región y el costo que podrían afrontar los ecuatorianos a fin de recibir televisión digital en sus hogares.

### **Por servicios**

Las televisoras deberán decidirse por que tipo de servicio desean prestar, monoprogramación (es decir un canal HDTV) o multiprogramación (3 ó 4 canales SDTV).

Si se opta por la primera los clientes no obtendrán muchos beneficios en cuanto a cambiarse al nuevo esquema, ya que para gozar de alta definición necesariamente tendrán que adquirir un televisor de 19:6 en el cual se notará la diferencia, y eso en nuestra región no sería lo más adecuado.

En cambio si se escoge la segunda opción se tendrá más influencia en los televidentes, además que se podrían obtener los beneficios explicados en la sección anterior. [14]



*FIGURA 3.3: Canal de alta definición vs canales de definición estándar*

En este contexto el estándar más conveniente es el DVB-T porque como se aclaró en el capítulo anterior, el estándar ATSC fue pensado para transmitir un canal HDTV; e ISDB-T también aunque éste puede ofrecer 3 canales SDTV (DVB-T puede transmitir hasta cuatro). El canal faltante en ISDB-T es ocupado para recepción móvil. Pero DVB-T también ofrece recepción móvil sin necesidad de afectar los canales de recepción fija con el estándar DVB-H del mismo grupo DVB, esta es otra ventaja relacionada a este estándar.

En la figura 3.4 se muestran las bondades de los diferentes estándares y se diferencia claramente que DVB-T es el más completo. Low Definition Televisión (LDTV) denota los canales de baja definición, dos programas de baja definición pueden ser enviados en el espacio disponible para un programa SDTV. No se los toma en cuenta para este trabajo porque el objetivo de la televisión digital es brindar calidad de DVD, y los canales LDTV no nos brindan dicha opción. [17]

Estándares	Fijo		Móvil			SFN	TV móvil y roaming en 5, 6, 7, 8MHz	Convergencia con GSM/3G
	HDTV	SDTV	HDTV	SDTV	LDTV			
ATSC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
DVB-T	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
ISDB-T	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						

FIGURA 3.4: Servicios por estándar [26]

Podemos añadir que con el estándar DVB-T contamos con la experiencia de muchos países que han ayudado al desarrollo y fortalecimiento del mismo, países que no van a dejar de usar este sistema y por tanto existe la certeza

de la disponibilidad de esta tecnología por muchos años más. En la tabla 3.1 se muestra la comparación de los estándares por el número de países que lo han adoptado. [18]

DVB-T			ATSC	ISDB-T
Albania	Francia	Nueva Zelanda	Estados Unidos	Japón
Alemania	Grecia	Países Bajos	Canadá	Brasil
Andorra	Hungría	Polonia	Corea del Sur	
Australia	India	Portugal	México	
Austria	Irán	Reino Unido	Argentina	
Bélgica	Irlanda	República Checa		
Brunei	Islandia	Rumania		
Bulgaria	Italia	Rusia		
Chipre	Lituania	Singapur		
Croacia	Luxemburgo	Sri Lanka		
Dinamarca	Macedonia	Suecia		
Eslovaquia	Malasia	Suiza		
Eslovenia	Malta	Taiwán		
España	Namibia	Turquía		
Finlandia	Noruega	Vietnam		

*TABLA 3.1: Estándares por países [18]*

### **Por costos**

Otro factor que tenemos que tomar en cuenta es la disponibilidad de receptores de televisión digital ya sean integrados o decodificadores digitales, y sus fabricantes en el mundo.

Por ejemplo, al escoger el estándar americano estamos a merced de pocos fabricantes cuyos precios son muy altos por estar orientados a sociedades medias altas hacia arriba como son Estado Unidos, Canadá y México. Son pocos los países que adoptaron este estándar; pero fuertes económicamente, un esquema que no resultaría en nuestro país. Además de que al estar orientados al servicio HDTV no se encontrarían muchos convertidores, sino más bien TV's con formato 16:9 (o panorámico) con receptores incorporados. [19]

Así mismo, en Japón la televisión digital se ha orientado a dar servicio de alta definición donde el 90% de su población recibe este tipo de servicio en sus hogares, y sabemos que los dispositivos japoneses son de excelente calidad pero también que sus precios son altos, ya que actualmente los precios de los televisores HDTV sin receptor digital van desde los \$630 en promedio hasta los \$2400; esto lo pondría en una posición menos agraciada para ser seleccionado. [20] [30]

Esto nos inclina más a la idea de seleccionar el estándar DVB-T debido a que está presente en una gran cantidad de países, gracias a esto posee grandes economías de escala y por lo tanto un bajo costo de dispositivos, tanto integrados como decodificadores. [19]

También debemos tener en cuenta los costos de los diferentes dispositivos que se necesitan para poder apreciar TV digital. A continuación mostramos en la tabla 3.2 los precios de los televisores con receptores digitales incorporados y los decodificadores digitales que existen en el mercado:

	<i>Definición</i>	<i>Marca</i>	<i>Precio</i>
<u>STB</u>			
<i>DVB-T</i>	Estándar	Freecom	105
<i>ATSC</i>	Alta	Humax	200
<i>ATSC</i>	Alta	Samsung	180
<u>TV LCD</u>			
<i>ATSC</i>			
42"	Alta	Soyo	955
32"	Alta	Westinghouse	473
<u>Plasma</u>			
<i>ATSC</i>	Alta	Panasonic	3299
<u>CRT</u>			
27"	Estándar	Samsung	400
27"	Estándar	Insignia	300
<u>Display</u>			
<i>ATSC</i>			
32"	Alta	Westinghouse	440
<u>Receptor PC</u>			
<i>DVB-T</i>	Alta	Freecom	34
<i>DVB-T</i>	Alta	Compro	129

*TABLA 3.2: Precios de TV's y decodificadores digitales [31]*

Los costos de los decodificadores digitales que además van disminuyendo cada año representan la opción más atractiva para nosotros.

Por lo tanto creemos que el modelo a seguir debería ser el del televisor actual (analógico) o un display digital con formato 4:3 (para apreciar mejor la calidad DVD y el cual es mucho más barato que un televisor 16:9) más el decodificador digital, por una razón muy importante, la migración definitiva a televisión digital podría tomar algunos años y todo ese tiempo el televidente podrá ver en el mismo televisor ambas tecnologías sólo con la compra de un decodificador digital. El estándar DVB-T permitiría este modelo, y en un futuro si el público lo prefiere se podría migrar a HDTV; de esta manera el modelo a seguir sería el que se muestra en la figura 3.5, el mismo que tendría un costo promedio de \$400, incluso menos si sólo se adquiere el decodificador que cuesta alrededor de \$100.



*FIGURA 3.5: Modelo recomendado en nuestro país*

## **Algunas experiencias**

En México se dio prioridad a las transmisiones de alta definición, que permitan una máxima cobertura. Se escogió el sistema americano ATSC, por lo que dependen de los valores que los Estados Unidos quieran dar a sus equipos.

En Brasil, después de seis años de exhaustivas pruebas de campo y laboratorio, se sacó como conclusión que el sistema a ser escogido debería ser ISDB-T por presentar mayor robustez y menos problemas de interferencias.

Reino Unido, Italia y Australia escogieron el sistema DVB-T, el primero con el esquema de múltiples programas, y los dos segundos HDVT. En Australia se calculan ventas de 40000 televisores al mes, con una penetración proyectada para después de 5 años, mayor que la de Reino Unido.

En Taiwán se había adoptado ATSC pero revocaron dicha decisión debido a que el estándar presentó problemas técnicos y rigidez. Finalmente se escogió DVB-T, enfocando su modelo de negocios a la recepción móvil aunque ya se expandieron sus servicios a receptores fijos. [21]

## **Panorama mundial**

DVB es el estándar más usado en el mundo, ha sido escogido por 56 países y según la Unidad Internacional de Telecomunicaciones (UIT) este número podría llegar a 110 muy pronto debido a que será el estándar seleccionado por los países de Asia, África y Oriente Medio.

Esto lo convierte en la opción más conveniente para los países latinoamericanos, por ser un estándar que ha probado sus muchas bondades y por su alto grado de adopción a nivel mundial, el DVB ofrece economías de escala como por ejemplo: cuenta con más de 150 millones de receptores vendidos, lo que representa una base mundial instalada diez veces mayor que la de otros estándares, algo imposible de alcanzar para los mismos. Su gran producción asegura bajos costos para los usuarios, de hecho en la actualidad se pueden adquirir decodificadores digitales DVB-T por algo así como 50 dólares en América Latina. [19]

### **3.4. Transición de TV analógica a TV digital**

La televisión digital esta reemplazando a la analógica a un ritmo acelerado alrededor del mundo. Antes del 2015 todos estaremos recibéndola en nues-

tros hogares. Pero para esto tienen que ocurrir algunos factores que vamos a resumir en los siguientes puntos:

- Declaración de plazos para la transición, voluntaria y obligatoria.
- Elección del estándar más conveniente, que conlleva pruebas de campo y laboratorio.
- Establecimiento de las licencias a cobrar a los canales de televisión.
- Asignación de canales secundarios para simulcast, garantizando la continuidad de la transmisión de televisión analógica. [17]

Después de que haya sucedido el apagón analógico se habrán arreglado problemas como:

- Imágenes dobles, interferencias.
- Ruido.
- Altos niveles de potencia de transmisión.
- Elevados niveles de recepción.
- Transmisión de datos limitada, casi nula.

Esta transición será un largo proceso que se llevará a cabo gracias a los siguientes factores:

- Disponibilidad de Receptores.
- Oferta de servicios.
- Calidad de transmisiones.
- convergencia tecnológica. [22]

Debido a que escogimos DVB-T como el estándar más conveniente en nuestro territorio y al análisis realizado en esta sección, podemos verificar que el mismo cumple con lo especificado en los ítems anteriores: posee economías de escala; ofrece televisión digital móvil, muchos más canales que representan mucha más programación y variada; calidad de DVD con tecnología OFDM; y la oportunidad de seguir con el esquema analógico mientras se obtienen los beneficios del esquema digital, así como la incorporación de los servicios ofrecidos con otros de telecomunicaciones como Internet.

### **3.5. Resumen**

Hemos realizado un estudio de los estándares de televisión digital, los hemos comparado en cuanto a los servicios que más nos llaman la atención y en

cuanto a que tan asequibles serán los dispositivos de recepción para nosotros.

Como conclusión se puede decir que el estándar más conveniente para nuestro país es el DVB-T ya que posee economías de escala que lleva a una baja en los costos tanto de transmisión como de aparatos de recepción, además que cuenta con otros estándares del grupo DVB con los que se pueden obtener muchos beneficios adicionales; y cuenta con una base mundial mucho más grande que la de los otros dos estándares.

Podemos añadir que el modelo a seguir debería ser el de multiprogramación, comenzando con la compra de un decodificador digital para poder disfrutar de ambas tecnologías en el mismo televisor y al menor costo posible para el usuario.

# CAPITULO 4

**Simulación de los estándares de televisión digital que usan SOFDM**

## **4. Simulación de los estándares de televisión digital que usan OFDM**

En este capítulo mostraremos las simulaciones de los estándares DVB-T e ISDB-T, los cuales utilizan la modulación OFDM, y a su vez realizaremos las simulaciones de dichos estándares utilizando la técnica propuesta SOFDM.

### **4.1. Simulaciones de los estándares con la técnica OFDM**

#### **4.1.1 Simulación del estándar DVB-T**

El sistema está definido como un un grupo de bloques funcionales, tomando en cuenta que los siguientes procesos serán aplicados al flujo de datos:

- Adaptación del multiplexado y aleatorización de energía
- Codificación externa (código Reed Solomon)
- Intercalador externo (intercalador convolucional)
- Codificador interno (código convolucional pinchado)

- Intercalador interno (nativo o en profundidad)
- Mapeo y modulación
- OFDM

La figura 4.1 representa un diagrama de bloques de un demo de Matlab de la simulación del estándar DVB-T.

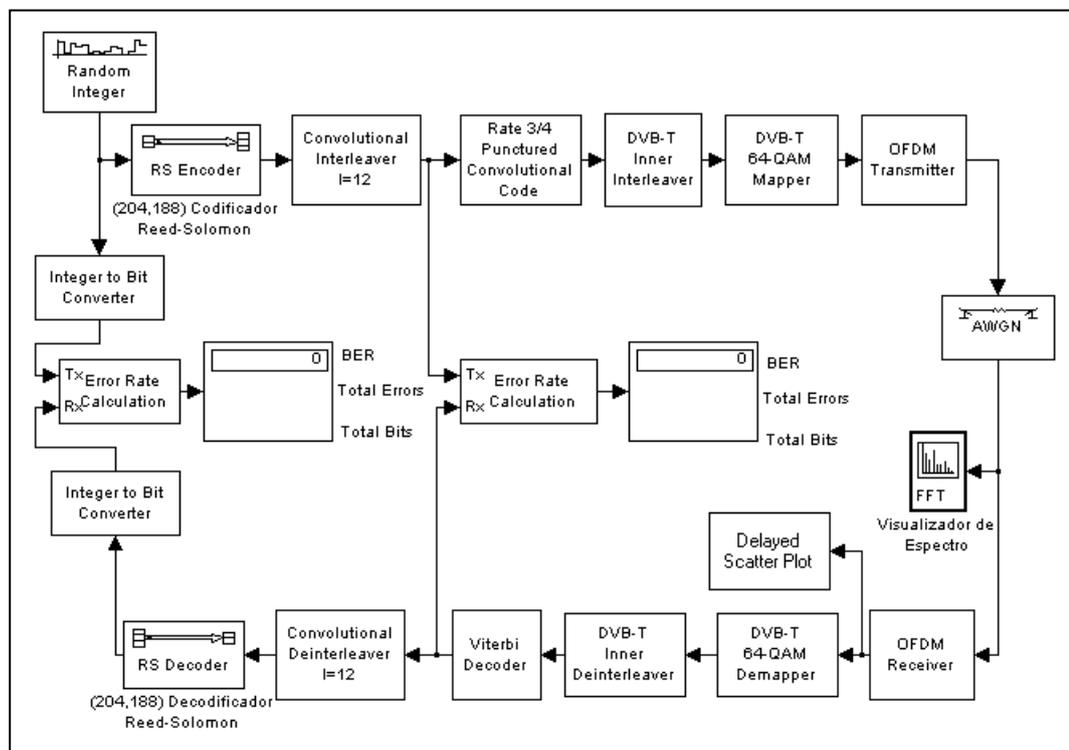
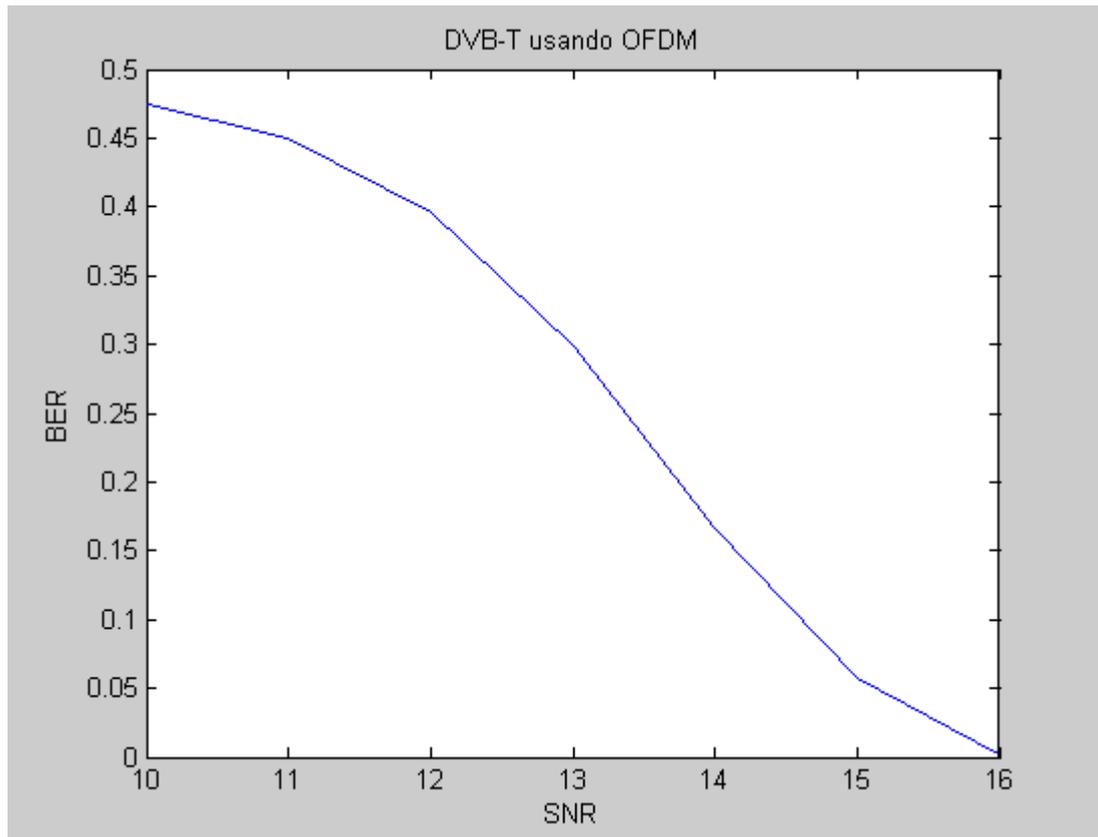


FIGURA 4.1: Simulación del estándar DVB-T usando modulación OFDM

Para el análisis de desempeño de los sistemas se tomo en consideración su BER y el SNR. En la figura 4.2 se puede apreciar la relación entre la BER y la Relación Señal a Ruido (SNR Signal to Noise Ratio) obtenida de dicha simu-

lación. En el capítulo 5 usaremos esta gráfica, para compararla con la obtenida de la simulación del estándar usando modulación SOFDM en la sección 4.2.1.



*FIGURA 4.2: BER vs SNR del estándar DVB-T usando modulación OFDM*

Otra característica del sistema que fue tomada en cuenta para la comparación es el PAPR, un menor PAPR es lo deseado. En la figura 4.3 se puede apreciar la PAPR del sistema DVB-T sin ensanchamiento.

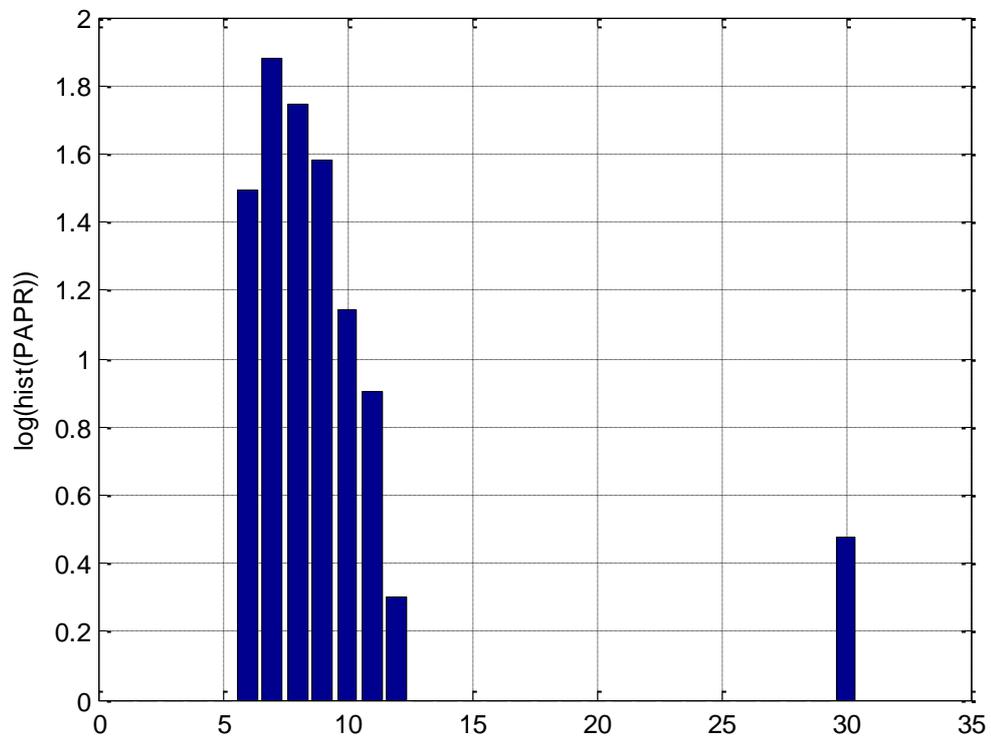


FIGURA 4.3: PAPR del sistema DVB-T sin usar ensanchamiento

#### 4.1.1 Simulación del estándar ISDB-T

Como mencionamos en la sección 2.3, entre DVB-T e ISDB-T existen básicamente dos diferencias ya que ISDB-T se basa en el estándar DVB-T.

La primera diferencia es la dispersión de energía, simulada mediante un generador pseudo-aleatorio cuyo polinomio generador es:

$$g(x) = X^{15} + X^{14} + 1$$

cuyo estado inicial será:

[ 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 ]

La segunda diferencia es el compensador de atraso, que en nuestro caso no tiene sentido implementarlo ya que estamos modulando en forma homogénea un solo flujo de datos de un mismo origen (sistema no jerárquico).. Además para cuestiones de comparación, se debe mantener la cantidad de flujo de datos modulados que se usó en DVB-T que también fue uno.

En la figura 4.4 se puede apreciar la simulación del estándar ISDB-T.

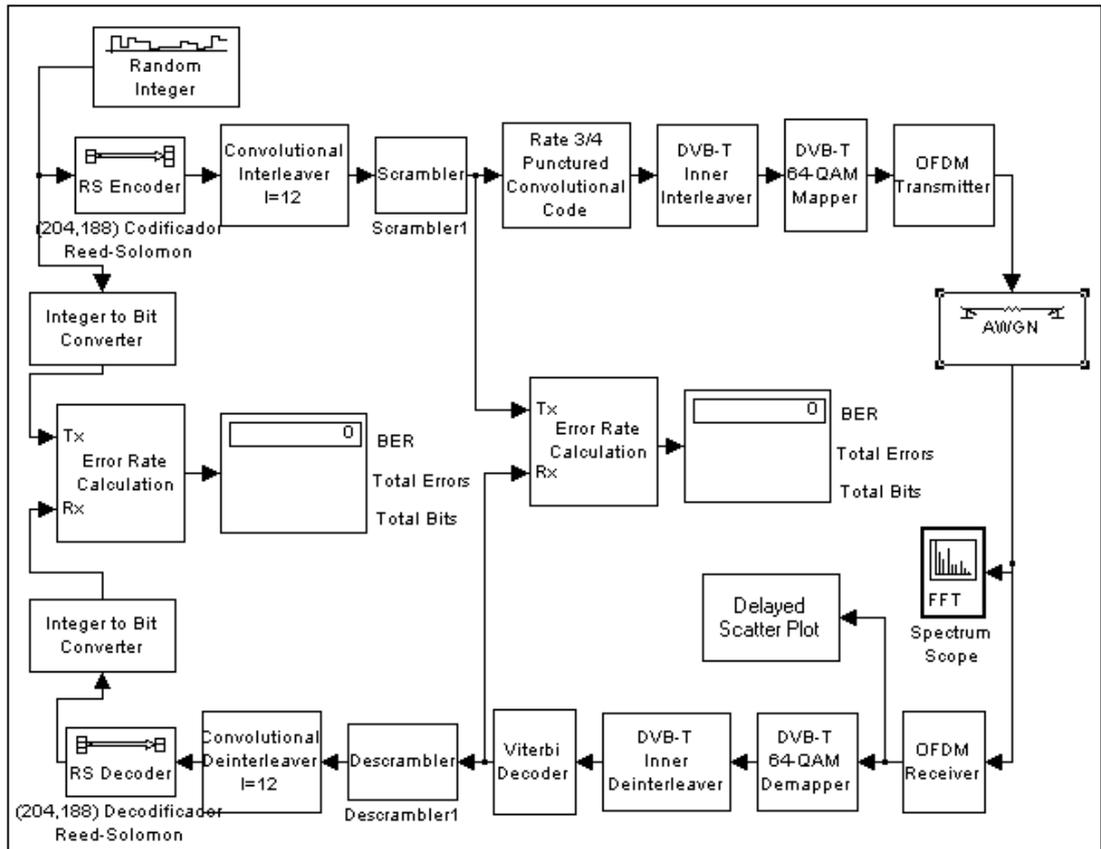
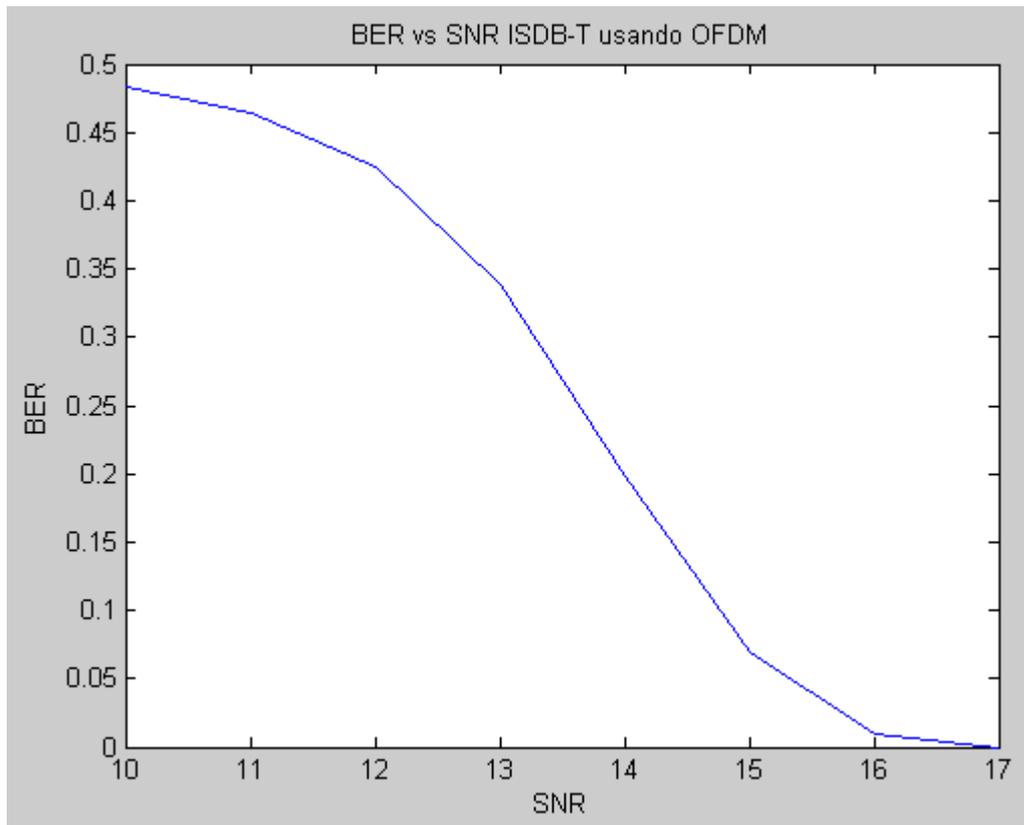


FIGURA 4.4: Simulación del estándar ISDB-T usando modulación OFDM

En la figura 4.5 se puede apreciar la relación BER vs SNR obtenida de dicha simulación. En el siguiente capítulo utilizaremos esta gráfica para compararla con la obtenida de la simulación del estándar usando modulación SOFDM en la sección .2.2.



*FIGURA 4.5: BER vs SNR del estándar ISDB-T usando modulación OFDM*

La figura 4.6 muestra un histograma del PAPR del sistema ISDB-T sin ensanchamiento.

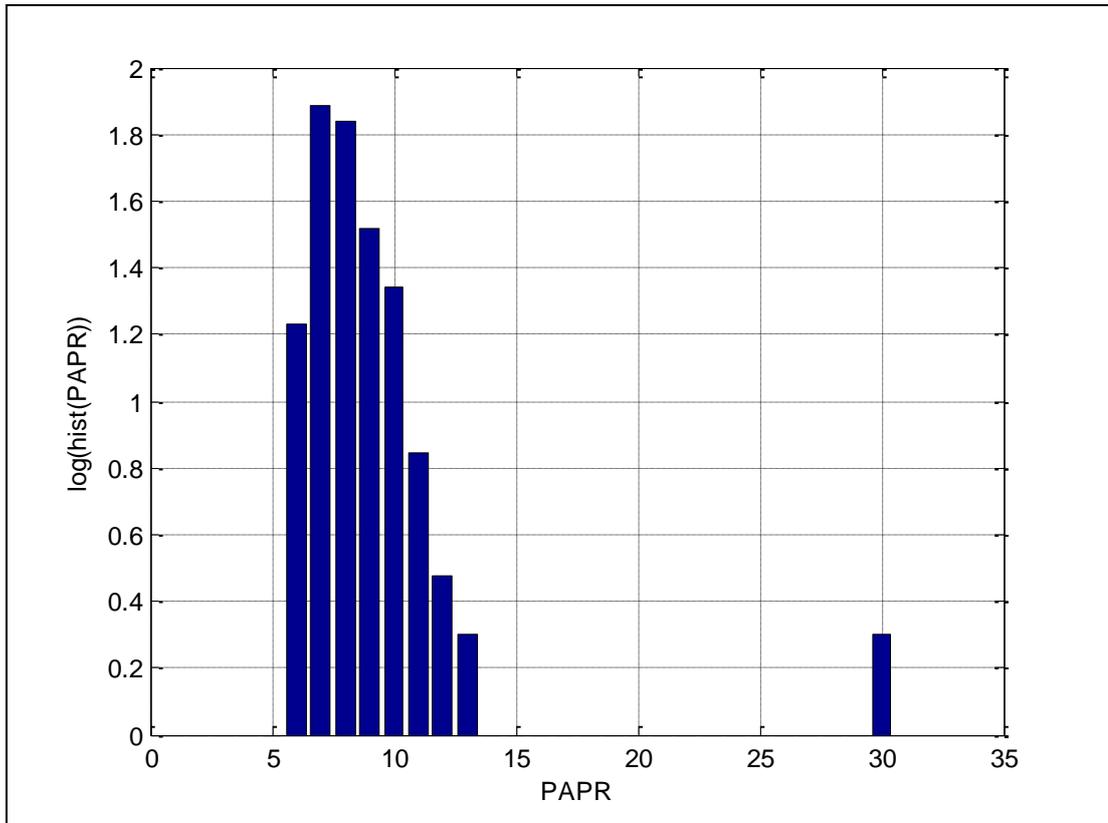
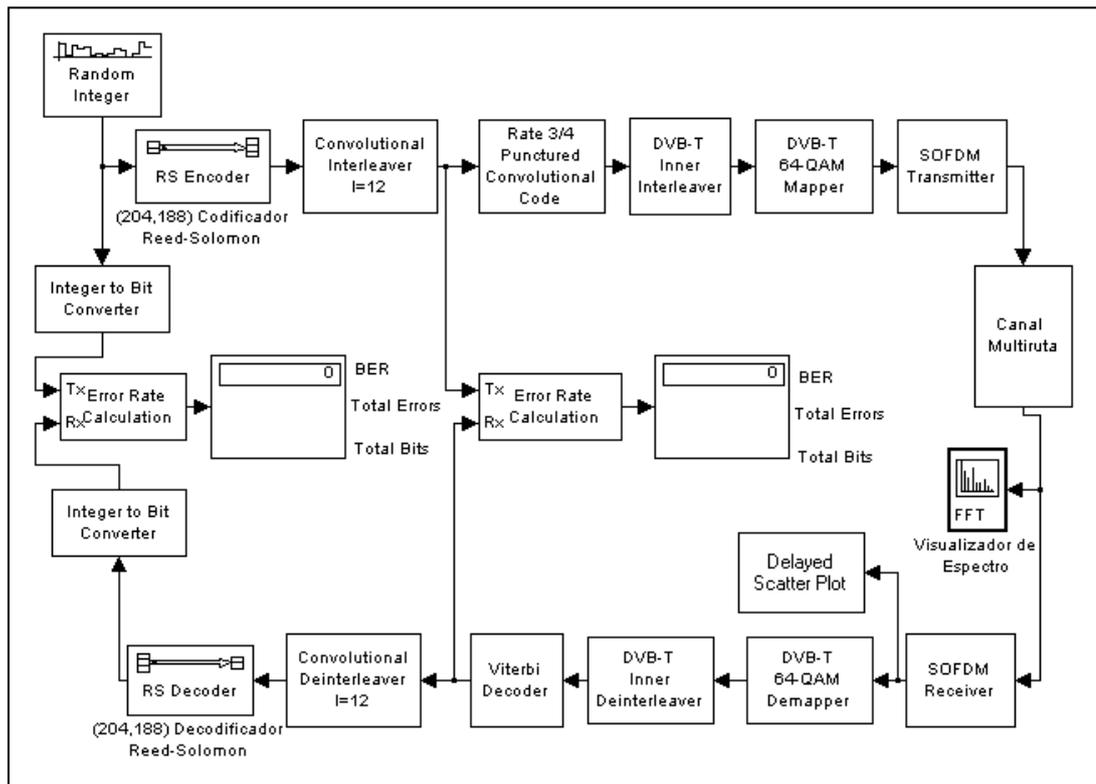


FIGURA 4.6: PAPR del sistema ISDB-T sin usar ensanchamiento

## 4.2. Simulaciones de los estándares con la técnica SOFDM

### 4.2.1 Simulación del estándar DVB-T

La modificación para obtener el espectro ensanchado se realiza agregando un bloque después de la modulación digital, y justamente previo a la Transformada rápida de Fourier inversa. La figura 4.7 muestra la simulación del estándar DVB-T usando modulación SOFDM.



*FIGURA 4.7: Simulación del estándar DVB-T usando modulación SOFDM*

En la figura 4.8 se aprecia el diseño del canal; los datos de entrada y salida del canal que se muestran en las figuras 4.9 y 4.10 se utilizarán más adelante en esta sección, en el receptor SOFDM. También se puede observar que el canal de ruido Guassiano tiene una varianza de  $4e-6$ .

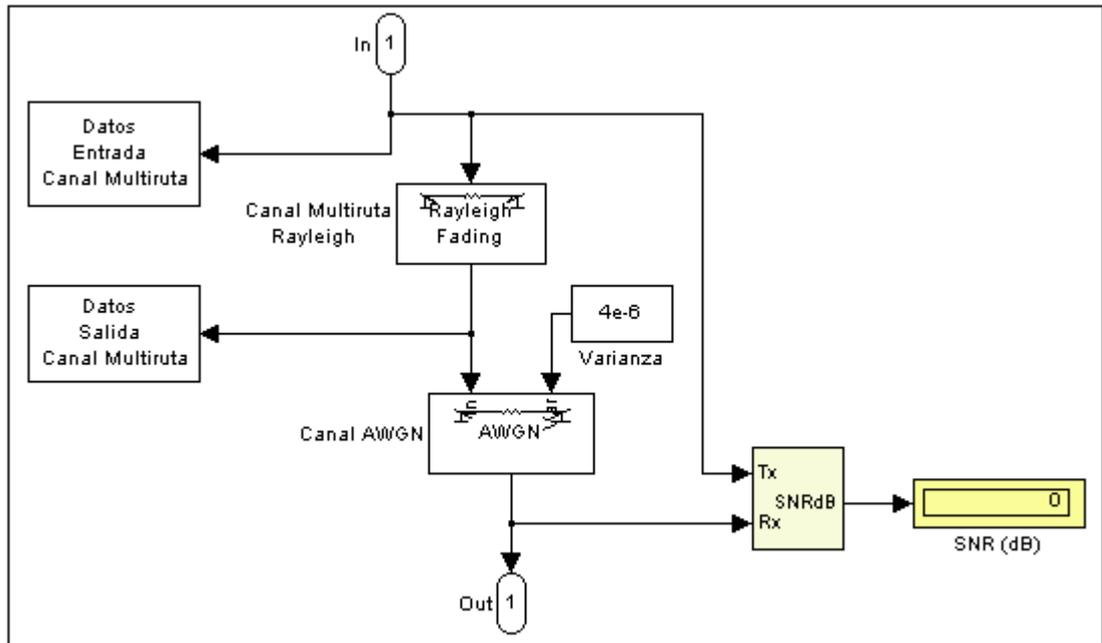


FIGURA 4.8: Canal Multiruta

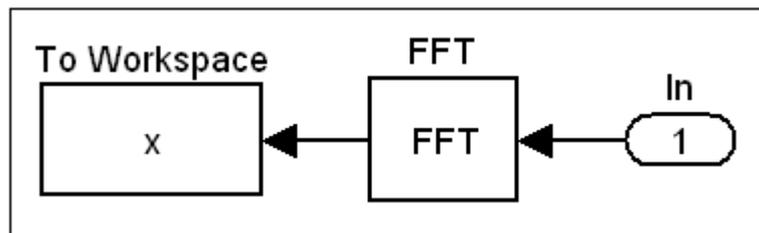


FIGURA 4.9: Datos de entrada del canal multiruta

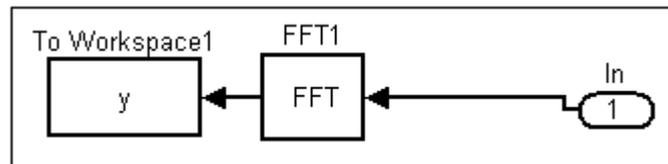


FIGURA 4.10: Datos de salida del canal multiruta

En la figura 4.11 se ilustra una fuente llamada *mh* que no es otra cosa que la matriz de Hadamard como lo explicamos en la sección 1.2, que va multiplicada con los datos a transmitirse, antes de pasar por la transformada de Fourier inversa.

El archivo *mh.mat* contiene lo siguiente:

$$mh = \text{Hadamard}(2048)$$

debido a que deseamos obtener una matriz cuyo tamaño sea igual al número de portadoras que vamos a utilizar, es decir 2048.

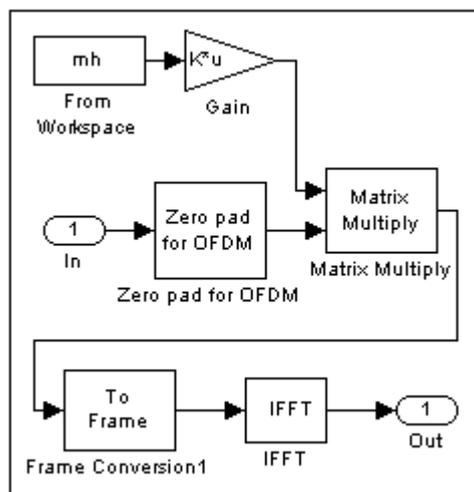


FIGURA 4.11: Transmisor SOFDM

En el receptor se usan los datos del canal obtenido de la fuente  $ff$ , como se muestra en la figura 4.12. Estos datos forman una matriz diagonal que se multiplica con la matriz de Hadamard  $mh$  que viene de la misma fuente que en la figura 4.11. La matriz resultante se multiplica con los datos que vienen de la transformada de Fourier.

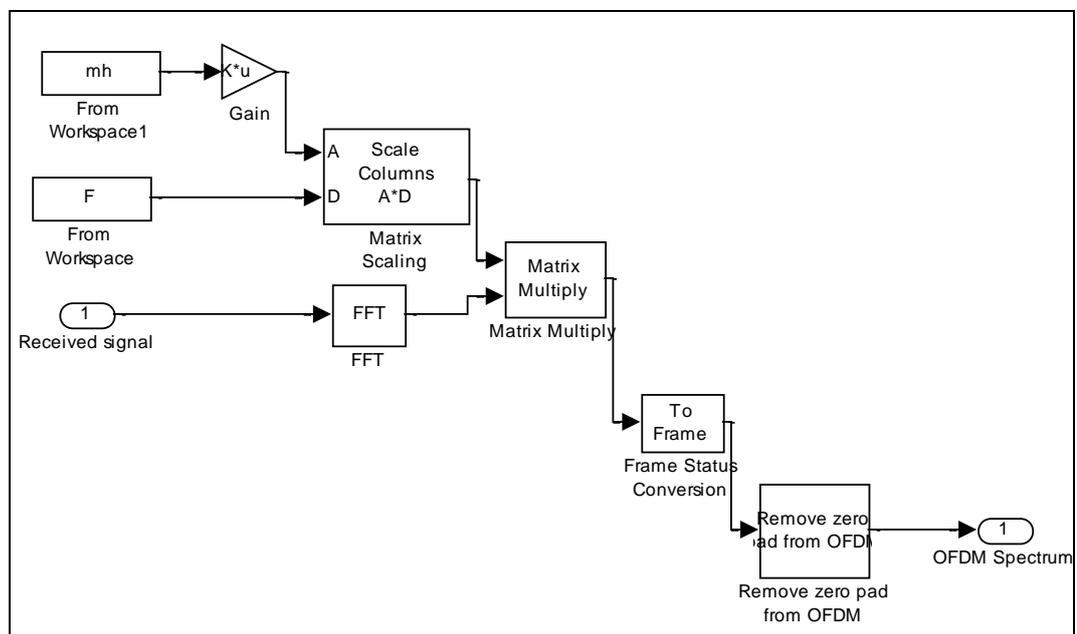


FIGURA 4.12: Receptor SOFDM

Se deduce el canal obteniendo información de lo que se envía y de lo que se recibe. Así en  $F$  está contenida información del canal haciendo uso del siguiente script:

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%% xm y ym so el reultado de la FFT que se
%% aplica en la simulacion tanto a la

```

```

%% entrada como a la salida del canal.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%% Luego se aplica un cambio de formato de la señal

for i=1:1:50
    xm(:,i)=x(:,1,i);
end
for i=1:1:50
    ym(:,i)=y(:,1,i);
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
xm=xm(:,20:1:50);
ym=ym(:,20:1:50);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%% a es la respuesta del canal
a=ym./xm;
%a=a(:,15);
a=mean(a');
a=a';

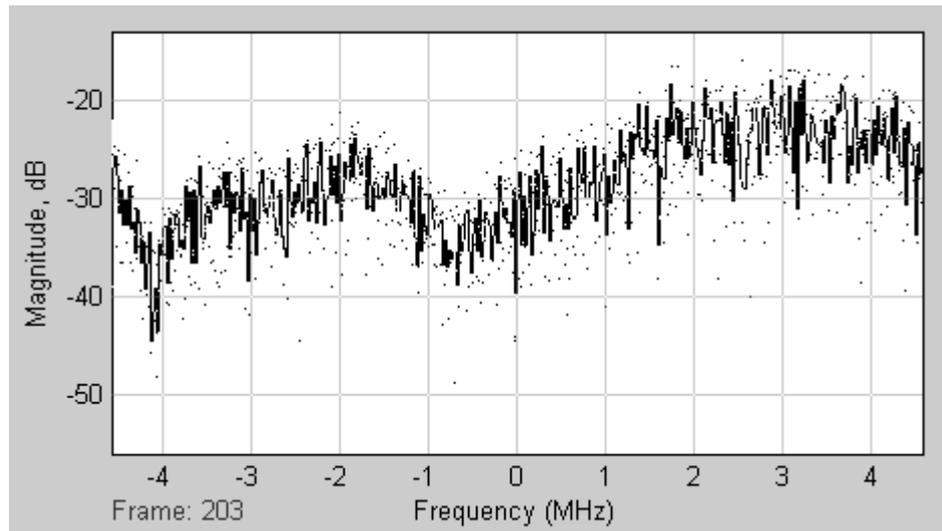
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
num=conj(a);
abs(a);
den=abs(a);
den=den.^2;

F.signals.values=num./(den+(4e-6));
F.signals.dimensions=size(F.signals.values);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

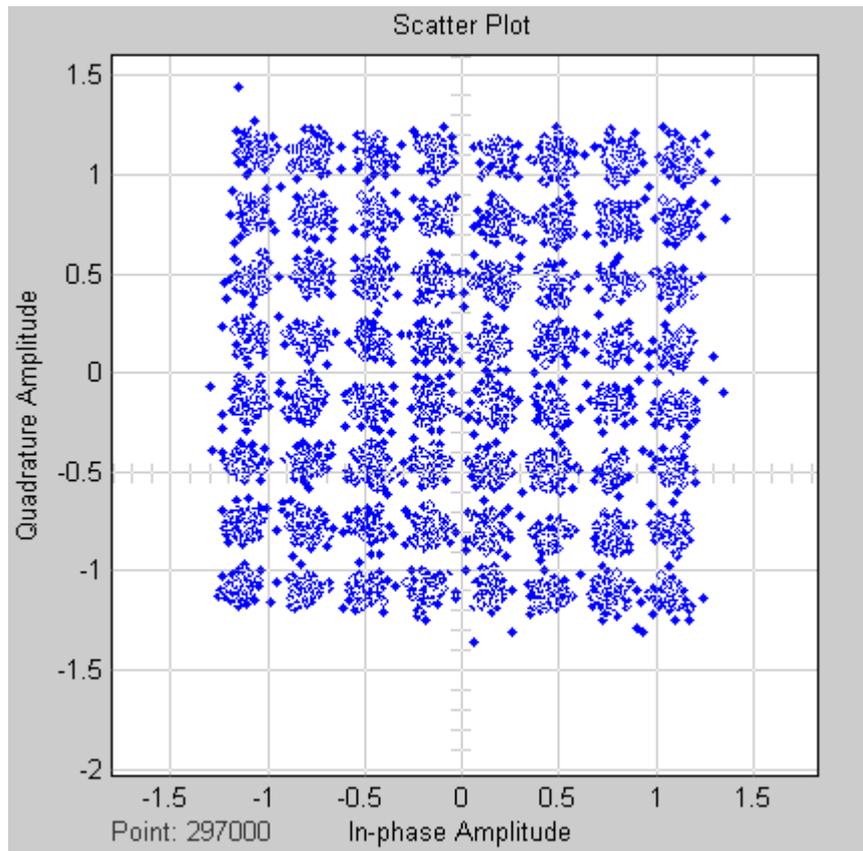
```

donde ***xm*** es la transformada de Fourier de la entrada de datos al canal multiruta, y ***ym*** es la transformada de Fourier de la salida de datos del canal multiruta, como se muestra en las figuras 4.8, 4.9, y 4.10. Con este script se realiza un reconocimiento de la respuesta del canal al inicio de la simulación. Si se desea tener información de un canal que cambia en el tiempo se debe hacer la inserción de pilotos en la señal y aplicar algoritmos de interpolación en el tiempo o en la trama o la combinación de ambos, o usar métodos estadísticos.

A continuación se muestran los gráficos resultantes de la simulación. La figura 4.13 muestra el espectro ensanchado obtenido a través de la matriz de Hadamard.



*FIGURA 4.13: Espectro ensanchado en un canal de multiruta.*



*FIGURA 4.14: Constelación QAM 64 resultante después de la ecualización y la decodificación de la matriz de hadamard.*

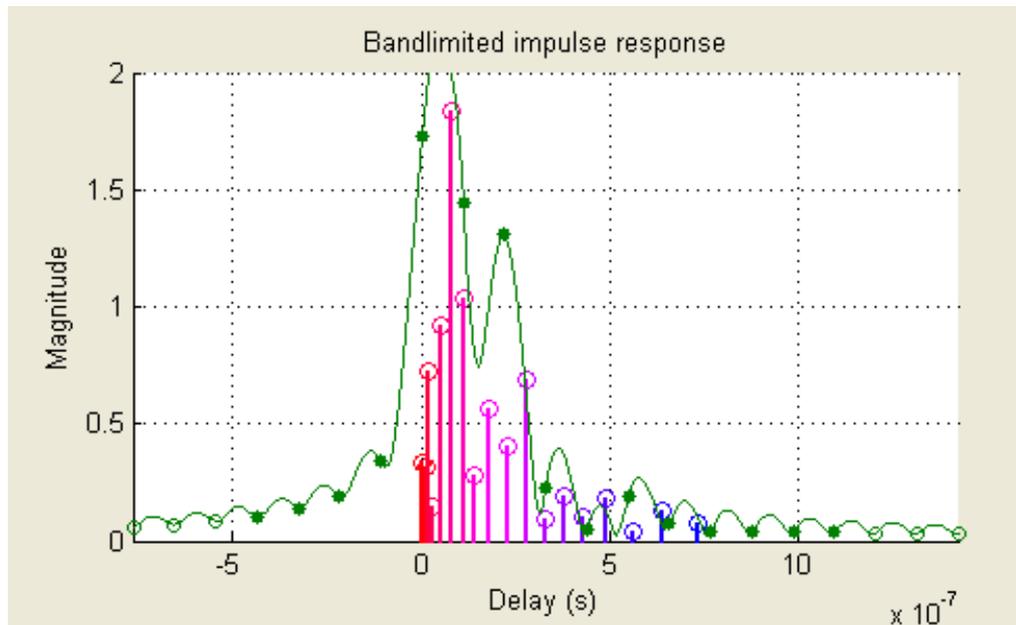


FIGURA 4.15: Respuesta impulsional del canal multiruta, según el estándar ETSI.

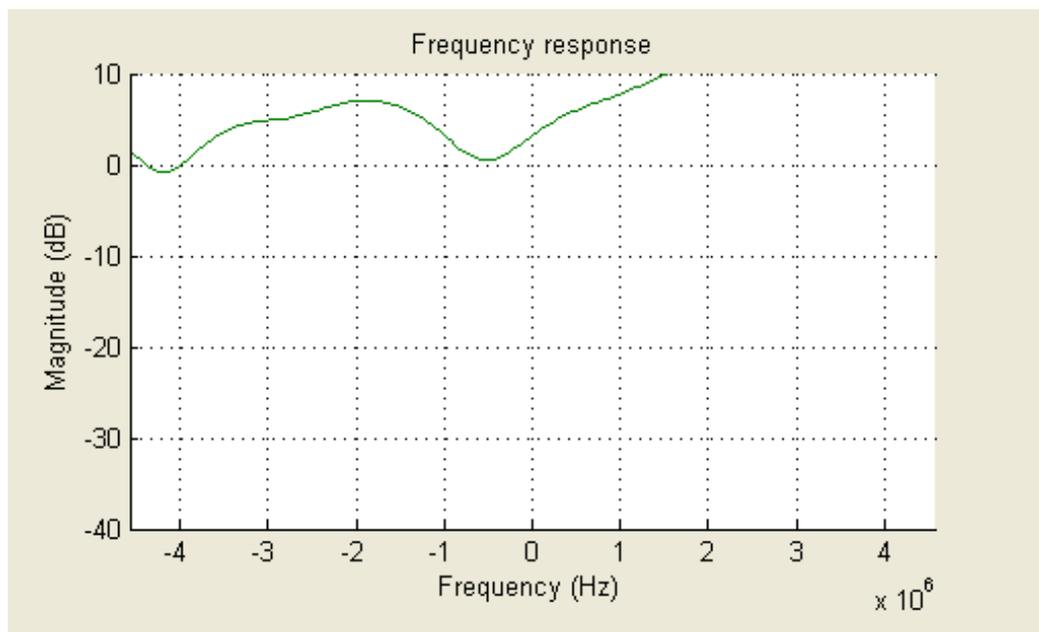
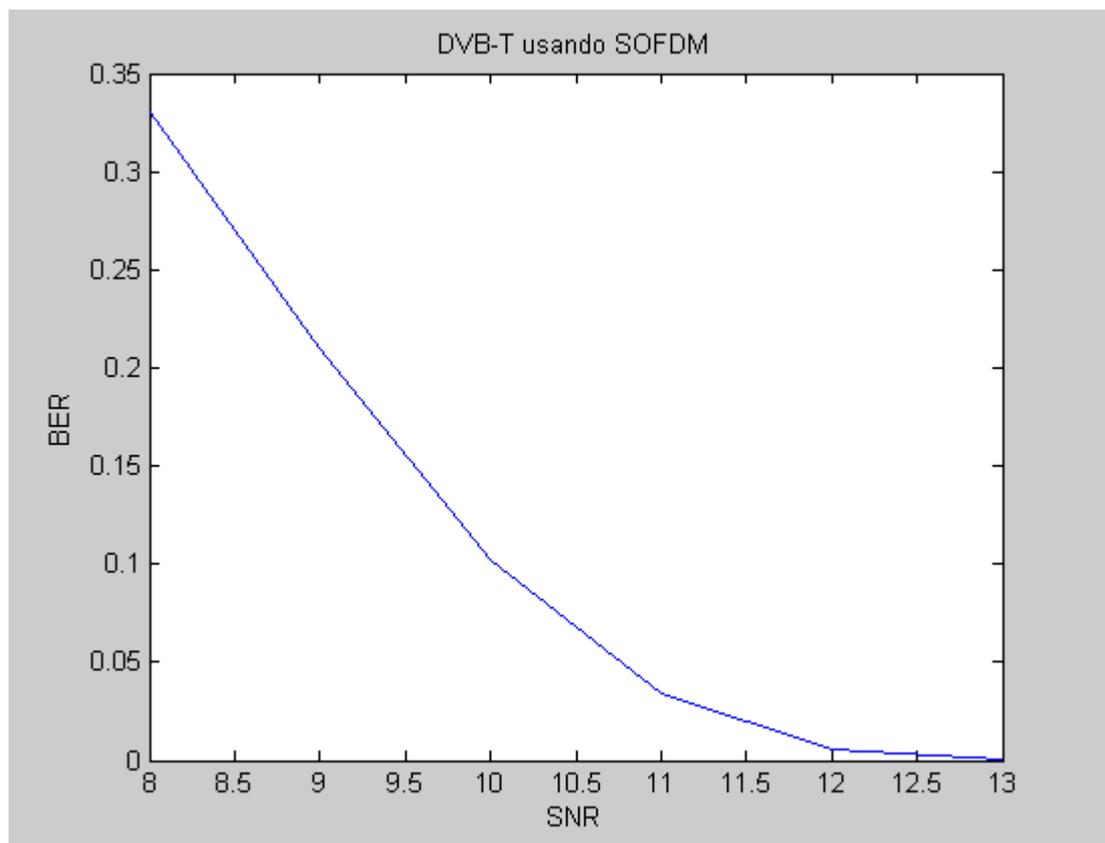


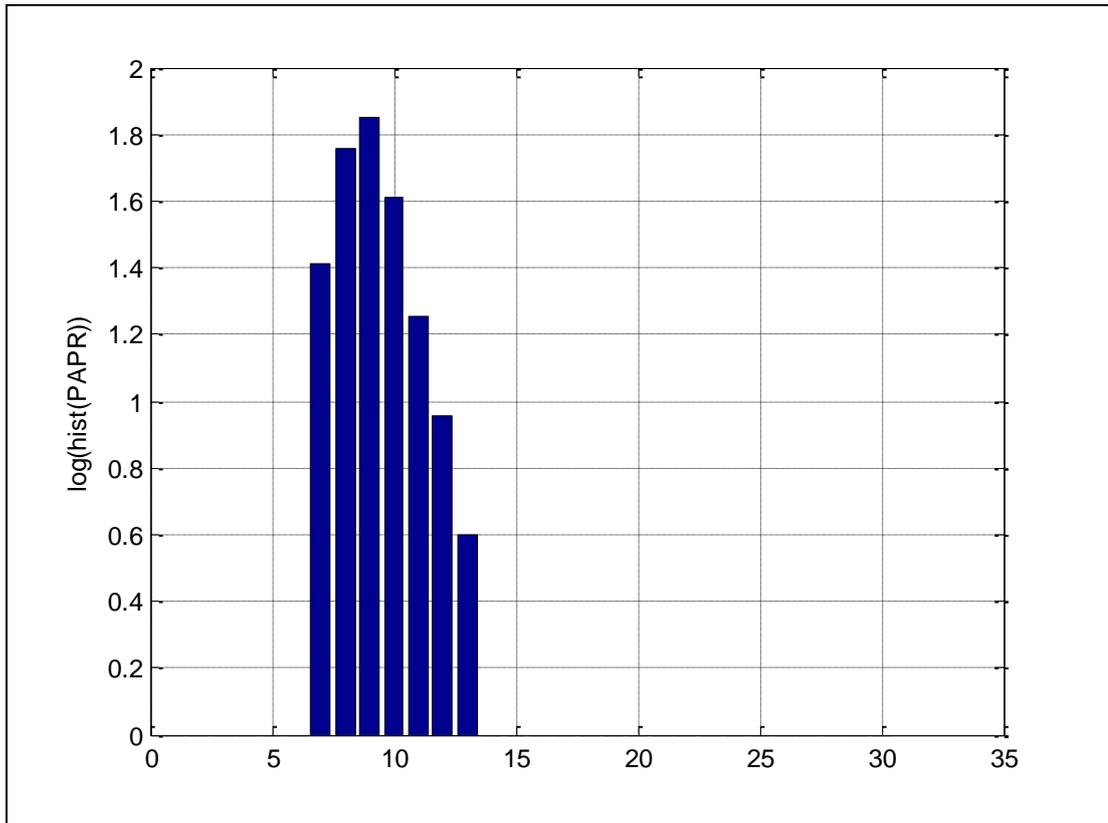
FIGURA 4.16: Respuesta en frecuencia del canal multiruta, según norma ETSI

Se realizaron pruebas con diferentes valores de SNR para obtener información de la BER.



*FIGURA 4.17: BER vs SNR del estándar DVB-T usando modulación SOFDM*

Se tomaron datos a fin de obtener una relación entre potencia promedio y una potencia pico en el intervalo de duración de la trama, esto es 224 $\mu$ s. La figura 4.18 muestra un histograma de los valores obtenidos para PAPR del sistema DVB-T usando ensanchamiento.



*FIGURA 4.18: PAPR del sistema DVB-T usando ensanchamiento*

#### **4.2.2 Simulación del estándar ISDB-T**

La figura 4.19 muestra la simulación del estándar ISDB-T usando modulación SOFDM; con el canal multirruta.

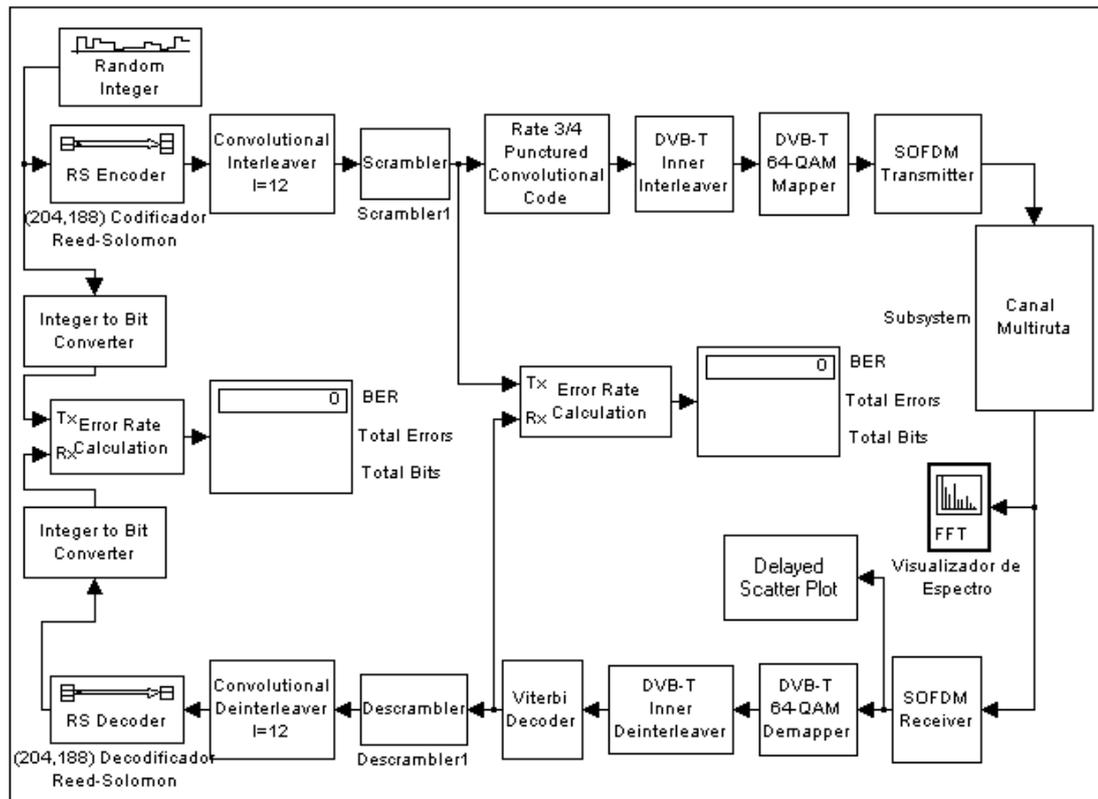


FIGURA 4.19: Simulación del estándar ISDB-T usando modulación SOFDM

A continuación se muestran los gráficos resultantes de la simulación. La figura 4.20 muestra el espectro ensanchado obtenido a través de la matriz de Hadamard.

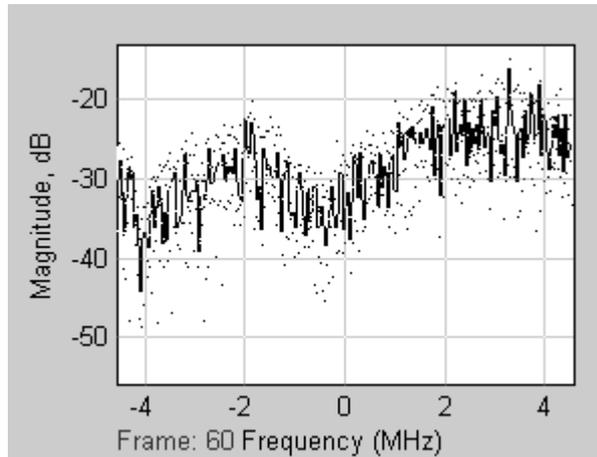


FIGURA 4.20: Espectro ensanchado en un canal de multiruta.

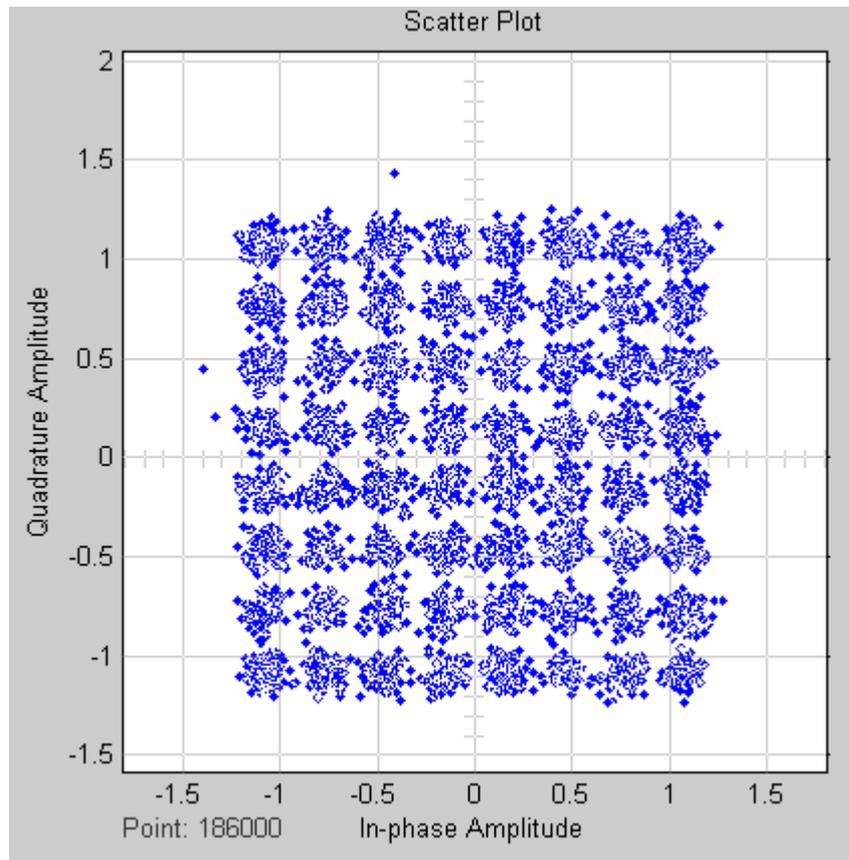
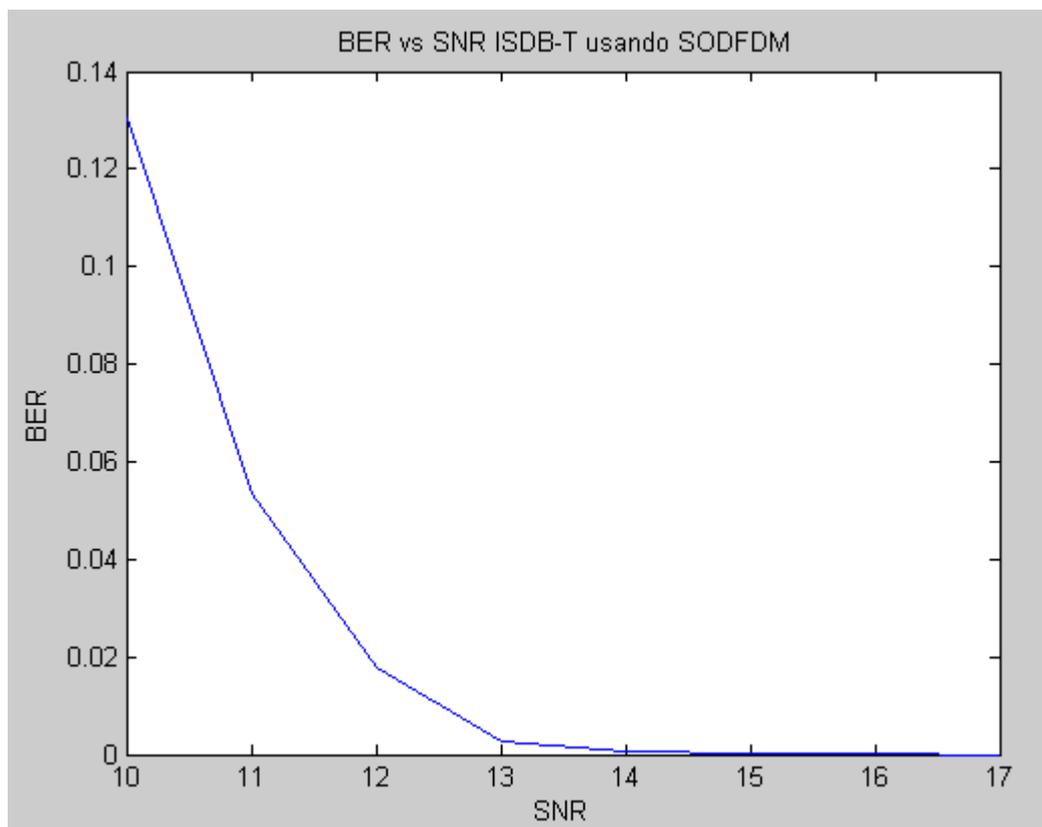


FIGURA 4.21: Constelación QAM 64 resultante después de la ecualización y la decodificación de la matriz de hadamard.

Luego del análisis correspondiente se recogió información para realizar el siguiente gráfico de la BER.



*FIGURA 4.22: BER vs SNR del estándar ISDB-T usando modulación SOFDM*

La figura 4.25 muestra la PAPR del sistema ISDB-T usando ensanchamiento.

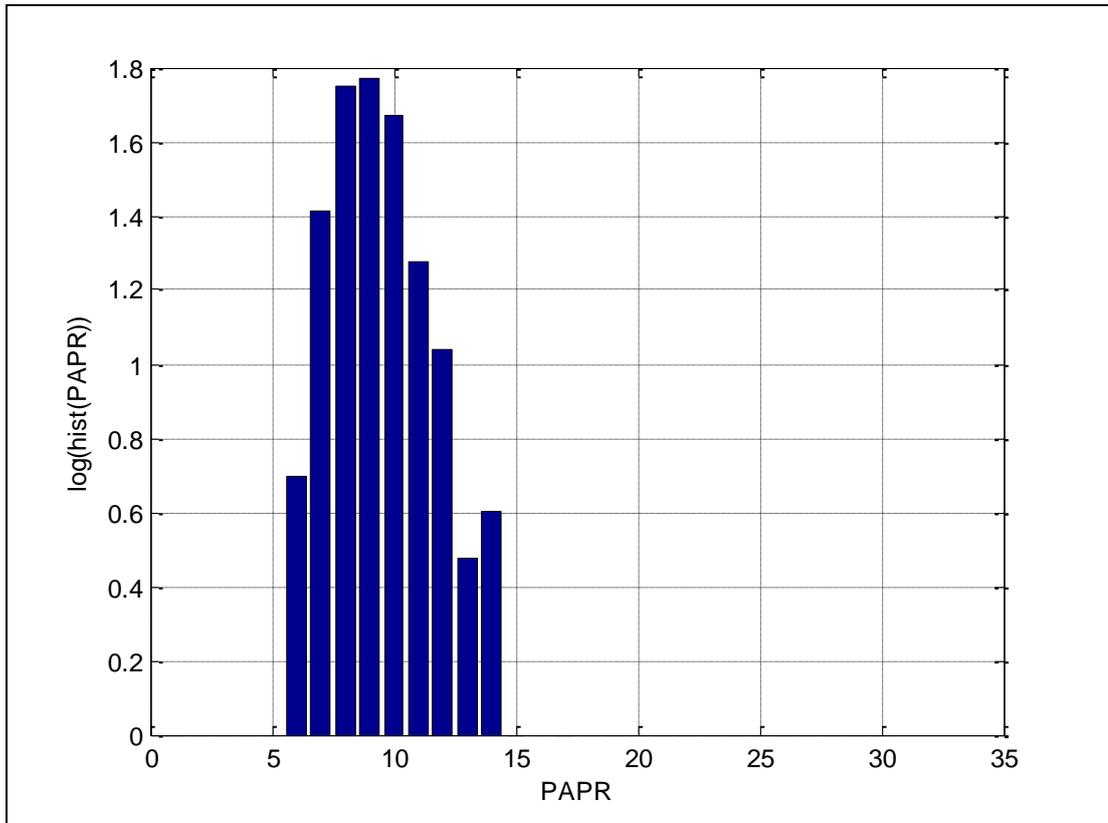


FIGURA 4.23: PAPR del sistema ISDB-T usando ensanchamiento

### Diseño del canal

Se han definido dos entornos en concreto, los entornos domesticos y los entornos de negocios (aeropuertos, universidades, hospitales). La BRAN (Broadband Radio Acces Network) define 5 modelos de canal para utilizar en las simulaciones definidas en la tabla 2 en función de los respectivos entornos:

Canal	Delay RMS	Característica	Tipo de ambiente
A	50ns	Rayleigh	Oficina, NLOS (no line of sight)
B	100ns	Rayleigh	Espacio abierto/oficina, NLOS
C	150ns	Rayleigh	Gran espacio abierto, NLOS
D	140ns	Riciano	Como canal C con LOS
E	250ns	Rayleigh	Gran espacio abierto, NLOS

*TABLA 4.1: Modelos de canal HIPERLAN/2*

La respuesta impulsional en banda base del canal es:

$$h(t, \tau) = \sum_{i=1}^{L_{path}} \gamma_i(t) \delta(\tau - \tau_i)$$

Donde  $\tau$  y  $\gamma_i$  son el retardo y la variación de la amplitud compleja en los tiempos de la ruta  $i$ .  $L_{path}$  es el numero de rutas totales y  $\delta(t)$  es la función de Dirac.

El perfil de la potencia media de cada ruta decrece exponencialmente en el tiempo. Las rutas tienen un comportamiento estadístico Rayleigh, excepto la primera ruta que presenta un factor Rician de 10 db (canal D). También se considera el efecto doppler correspondiente a un terminal móvil a una velocidad máxima de 3m/s. [23]

Los siguientes son los valores finales usados en nuestra simulación que corresponden al canal B:

#	Delay (ns)	Potencia relativa promedio dB	K Ricean	Espectro Doppler
1	0	-2.6	0	Clase
2	10	-3.0	0	Clase
3	20	-3.5	0	Clase
4	30	-3.9	0	Clase
5	50	0.0	0	Clase
6	80	-1.3	0	Clase
7	110	-2.6	0	Clase
8	140	-3.9	0	Clase
9	180	-3.4	0	Clase
10	230	-5.6	0	Clase
11	280	-7.7	0	Clase
12	330	-9.9	0	Clase
13	380	-12.1	0	Clase
14	430	-14.3	0	Clase
15	490	-15.4	0	Clase
16	560	-18.4	0	Clase
17	640	-20.7	0	Clase
18	730	-24.6	0	Clase

*Tabla 4.2: Modelo B*

### 4.3. Resumen

Para simular el estándar DVB-T usamos un demo de Matlab, bajo esta simulación nos basamos para realizar las demás simulaciones.

Se basó en el demo DVB-T de Matlab para construir la simulación ISDB-T no jerárquico.

Para simular ambos estándares usando OFDM se implementó un canal de ruido Gaussiano, mientras que para simular SOFDM se añadió un canal multiruta.

Entre DVB-T e ISDB-T existen básicamente dos diferencias; la dispersión de energía, simulada mediante un generador pseudo-aleatorio, y el compensador de atraso, que en nuestro caso no tiene sentido implementarlo ya que estamos modulando un solo flujo de datos.

Tanto en el transmisor como en el receptor se usó la matriz de Hadamard. Se dedujo el canal obteniendo información de lo que se envía y de lo que se recibe.

Se escogió el modelo B de la BRAN para un canal HIPERLAN/2, que se enfoca a espacios abiertos, sin líneas de vista.

# CAPITULO 5

## **Comparación de los resultados obtenidos**

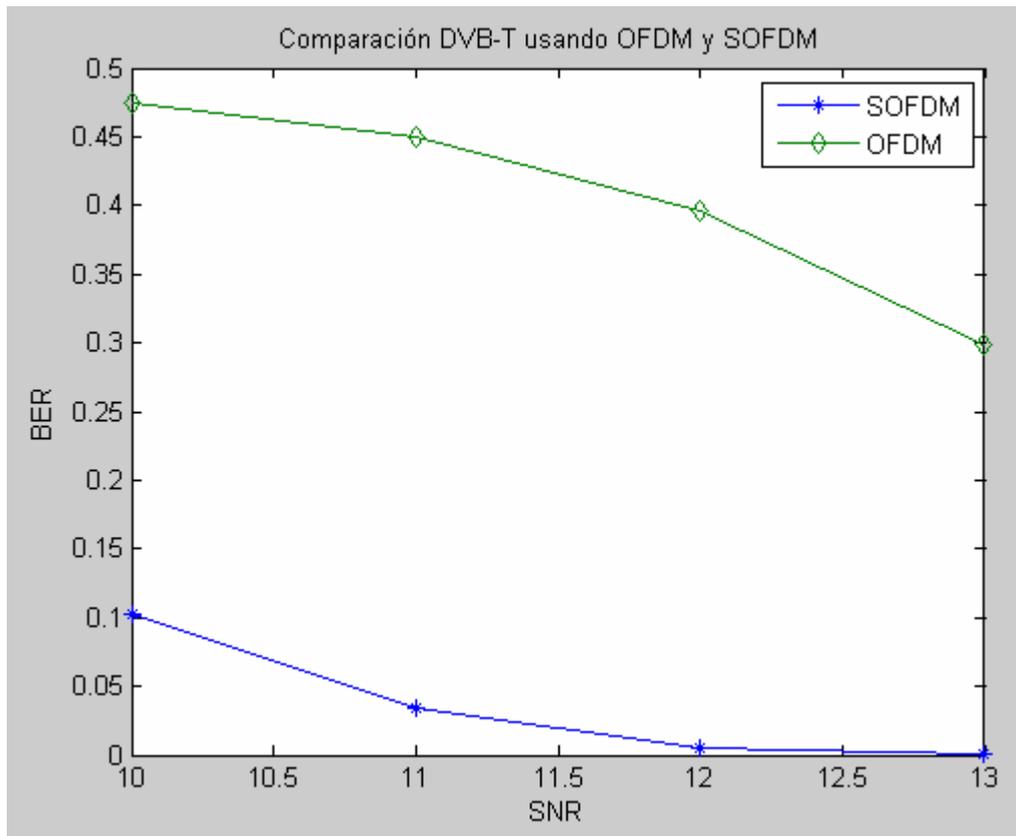
## **5. Comparación de los resultados obtenidos**

En este quinto y último capítulo realizaremos las comparaciones de las simulaciones realizadas en el capítulo anterior para decidir que técnica de modulación es más conveniente para la transmisión de televisión digital terrestre.

### **5.1. Comparaciones entre SOFDM y OFDM de acuerdo a los estándares**

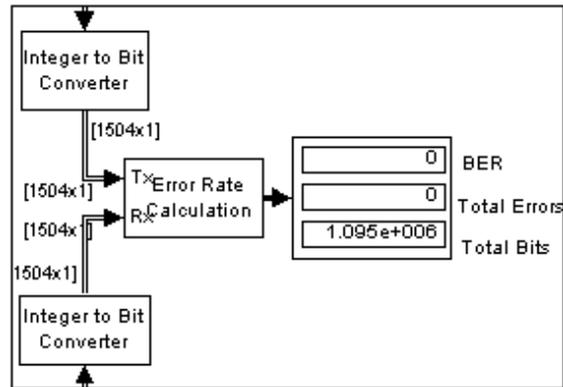
#### **5.1.1 Comparación de los resultados obtenidos de las simulaciones del estándar DVB-T**

En el gráfico 5.1 se comparan los resultados obtenidos de las dos simulaciones del estándar DVB-T usando modulación OFDM y SOFDM, como constan en las figuras 4.2 y 4.17.



*FIGURA 5.1: Comparación de BER vs SNR del estándar DVB-T*

El sistema SOFDM demostró ser más eficiente en los ambientes multiruta, al tener una tasa de error de bit casi nula, al configurar la SNR en valores superiores al 13 el lector de la BER presenta un valor de cero, como se puede apreciar en la figuras 5.1 y 5.2. Por lo que podemos concluir que se genera una mejora significativa en comparación a su predecesora OFDM.



*FIGURA 5.2: Tasa de error de bit*

Tenemos que añadir a esto que el demo de Matlab sólo implementa un canal de ruido Gaussiano, mientras que en nuestra versión con SOFDM fue agregado un canal multirruta, lo que agrega aún más dificultad a la recepción de los datos.

De la comparación de las figuras 4.3 y 4.18 podemos sacar como conclusión que el desempeño frente al PAPR es casi parecido en ambos sistemas, debido a la gran cantidad de subcanales (2048), aunque no se permiten picos altos de potencia.

### **5.1.1 Comparación de los resultados obtenidos de las simulaciones del estándar ISDB-T**

En el gráfico 5.3 se comparan los resultados obtenidos de las dos simulaciones del estándar ISDB-T usando modulación OFDM y SOFDM, como constan en las figuras 4.5 y 4.24.

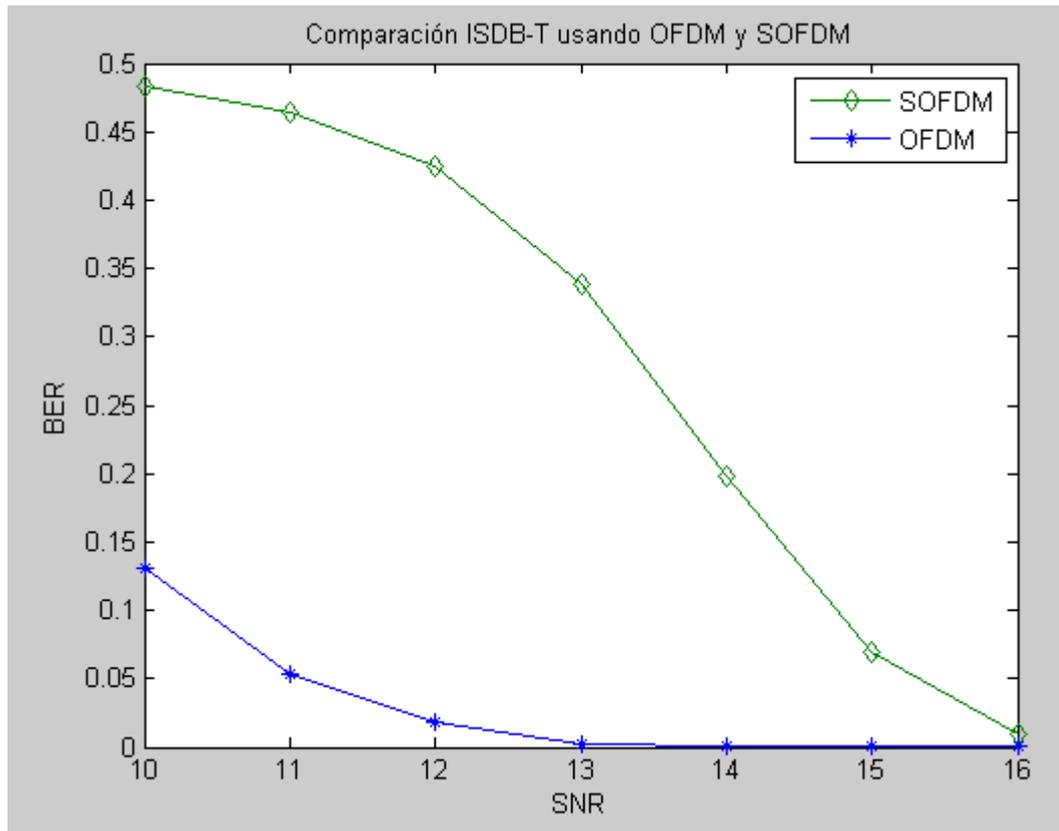


FIGURA 5.3: Comparación de BER vs SNR del estándar DVB-T

Como era de esperarse el sistema SOFDM demostró ser más eficiente en los ambientes multiruta, al tener una tasa de error de bit casi nula, al configurar la SNR en valores superiores al 13 el lector de la BER sigue presentando valores pero éstos son demasiado bajos, como se puede apreciar en la figura

5.3. Por lo que podemos concluir que se genera una mejora significativa en comparación a su predecesora OFDM.

Igual que en el caso del estándar DVB-T tenemos que añadir que, en la simulación de ISDB-T usando OFDM sólo se implementó un canal de ruido Gaussiano, mientras que en nuestra versión con SOFDM fue agregado un canal multiruta, lo que agrega aún más dificultad a la recepción de los datos.

De la comparación de las figuras 4.6 y 4.25 podemos sacar como conclusión que hubo una mejora de 2.5db promedio total de PAPR en ISDB ensanchado.

## **5.2. Resumen**

Por la figura 5.1 podemos concluir que el sistema SOFDM genera una mejora significativa sobre ambientes multirutas selectivas en frecuencia en comparación a su predecesora OFDM, en el estándar DVB-T, al distribuir la información a lo largo de todas las portadoras. El ensanchamiento considerado es la transformada WH (matriz de Hadamard), el cual puede reducir la complejidad del sistema en el receptor. Lo mismo ocurre con ISDB-T como se puede apreciar en la figura 5.3.

El desempeño frente al PAPR fue ligeramente mejor en los sistemas con ensanchamiento, debido a la gran cantidad de subcanales empleados, lo cual es beneficioso para los recortes de potencia debido al uso de amplificadores en la transmisión.

Se dijo en la sección 2.3 que ISDB-T es un estándar más robusto que DVB-T, por lo que se podría pensar que ISDB-T debería presentar menor BER que DVB-T; pero esta observación no es valedera ya que nunca se comparó dichos estándares en términos de la BER.

## Anexo A

### Matriz de Hadamard

#### Códigos Ortogonales

Un conjunto de datos de 1 bit puede ser transformado usando *palabras códigos* ortogonales, cada una de 2 dígitos descritas por las filas de una matriz **H1** como podemos ver:

Datos: 0  
1

$$H_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Datos: 00  
01  
10  
11

$$H_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & | & 0 & 0 \\ 0 & 1 & | & 0 & 1 \\ \hline 0 & 0 & | & 1 & 1 \\ 0 & 1 & | & 1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_1 & H_1 \\ H_1 & H_1 \end{bmatrix}$$

Y así sucesivamente.

Dependiendo del tamaño de la matriz vemos que se forma una matriz con las siguientes características:

$$H_k = \begin{bmatrix} H_{k-1} & H_{k-1} \\ H_{k-1} & H_{k-1} \end{bmatrix}$$

Esta matriz toma el nombre de matriz de Hadamard.

## Conclusiones y Recomendaciones

Hemos realizado un estudio de los estándares de televisión digital, fijándonos en los servicios que más nos llaman la atención y en que tan asequibles serán los dispositivos de recepción, y hemos llegado a la conclusión de que el estándar más conveniente para nuestro país es el DVB-T ya por sus economías de escala reduce los costos tanto de transmisión como de aparatos de recepción. Además cuenta con una base mundial establecida mucho más grande que la de los otros dos estándares.

Adicionalmente podemos añadir que el modelo a seguir debería ser el de multiprogramación, así el consumidor podría comenzar con la compra de un decodificador digital para poder disfrutar de ambas tecnologías en el mismo televisor y a muy menor costo.

Usando un demo de Matlab del estándar DVB-T, y basándonos en este para realizar la simulación de ISDB-T no jerárquico, se pudo llegar a la conclusión de que el sistema SOFDM genera una mejora significativa sobre ambientes multirutas selectivas en frecuencia en comparación a su predecesora OFDM, al distribuir la información a lo largo de todas las portadoras.

El ensanchamiento considerado es la transformada WH (matriz de Hadamard), el cual puede reducir la complejidad del sistema en el receptor en ambos estándares.

El desempeño frente al PAPR fue ligeramente mejor en los sistemas con ensanchamiento, debido a la gran cantidad de subcanales empleados, pero esta ligera mejora es beneficiosa para los recortes de potencia debido al uso de amplificadores en la transmisión.

La técnica de modulación SOFDM es teóricamente superior a su predecesora OFDM en cuanto a calidad de señal y emisión de potencia.

En la práctica, con las simulaciones que realizamos en los dos últimos capítulos de esta tesis, se ha comprobado esta teoría. Por tanto creemos que debería escogerse este esquema para converger hacia la televisión digital, tomando en cuenta que se debe contar con los recursos suficientes para ello, debido a que se trataría de un estándar exclusivo para nuestro país.

## Referencias Bibliográficas

[1] "Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM): Tutorial and análisis"; Erich Cosby, Northern Virginia Center, Virginia Tech, diciembre 2001

[2] "Cobertura de un sistema de televisión digital terrenal"; Juan Félix Beteta Cejudo, febrero 2000

[3] "Modulation and Channel Effects in Digital Communication", Sara Sandberg, Suecia, 2005, pág. 20.

[4] "DTV Televisión Digital, Digital Video Systems"; UNI-FIEE-MLT, marzo 2003

[5] "La televisión digital en América Latina"; Ing. José Simonetta, Argentina, octubre 2004

[6] "Smart Antenna Research Laboratory, OFDM Simulation Using Matlab"; Guillermo Acosta, Estados Unidos, agosto 2000

[7] "Combined Equalisation and Decoding for OFDM over wireless Fading channels"; J. M. Zabalegui & R. Carrasco, 2007

[8] “Aspectos técnicos de los sistemas de televisión digital terrestre”; Juan Félix Beteta Cejudo, febrero 2000

[9] “WP-03 Return Channel Terrestrial”; Mr. Peter MacAvock, DVB Project Office, marzo 2001

[10] “Standard ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial)”; Osvaldo Kawakita, NEC Argentina SA, octubre 2006

[11] “Terrestrial Digital Television Broadcasting”; Technologies and Services of Digital Broadcasting (12), Makoto SASAKI, NHK STRL, Japón, 2004

[12] “Desenvolvimento de uma ferramenta de análise de desempenho para o padrao de TV Digital ISDB-T” PUC-Rio – Certificacao Digital N° 0210408/CA

[13] “Desafíos regulatorios para la adopción de la norma de la televisión digital terrestre TDT”; Fernando Acuña, mayo 2006

[14] “Televisión Digital Terrestre, una perspectiva Técnica-Regulatoria”; Cristián Núñez Pacheco, Subsecretaría de Telecomunicaciones, Chile, agosto 2006

[15] “TV Digital Interativa e Hipermedia: jogos e narrativas interativas na Tvi”;  
Joao Henrique Ranhel Ribeiro, Brasil, 2005

[16] “TV digital, potencialidades e disputas”; Valério Cruz Brittos, César Ricardo Siqueira Bolaño, Brasil, 2004

[17] “Convergencia de Redes. Rol de la TV Digital”; José Manuel Martín Ríos, Ciudad de Guatemala, septiembre del 2006

[18] “DVB-T Ventajas Tecnológicas para un éxito mundial”; Empresas Europeas en Argentina, agosto 2006

[19] “Adoptar o no DVB, ¡he ahí el dilema!”; pc-news, octubre 2006

[20] “T.V. de Alta Definición: actualidad y futuro”; Ing. Carlos Liendo, Argentina, 2005

[21] “¿Ser digital? El dilema de la televisión digital terrestre en América Latina”; Lic. Pablo Hernández y Lic. Glenn Postolski, 2003

[22] “Televisao digital terrestre: sistemas, padroes e modelos”; Almir Antonio Rosa, Sao Paulo, 2005

[23] “Equalitzador de canal per a modulacions ofdm segons l’estándar hiperlan/2”, Moises Serra, David Novo, Pere Marti, Francia, 2003

[24] <http://arieldx.tripod.com/manualdx/bandas/bandas.htm>

[25] <http://www.supertel.gov.ec/radiocomunicaciones/espectro.htm>

[26] <http://www.dvb.org>

[27] <http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd>

[28] <http://www.nhk.or.jp/strl/open99/de-2/shosai-e.html>

[29] <http://www.supertel.gov.ec/principal.htm>

[30]

[http://www.preciomania.com/search\\_attrib.php/vendorIds%5B%5D=9721/page\\_id=197/st=category](http://www.preciomania.com/search_attrib.php/vendorIds%5B%5D=9721/page_id=197/st=category)

[31] <http://www.bestbuy.com>