

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**PROPUESTA DE PLANIFICACIÓN DE FRECUENCIAS PARA  
TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE (TDT), EN EL ESTADO  
MÉRIDA**

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero  
Electricista

Br. Marco D. Rivera Zambrano  
Tutor: Prof. Nelson A. Pérez García

Mérida, Septiembre, 2009

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**PROPUESTA DE PLANIFICACIÓN DE FRECUENCIAS PARA  
TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE (TDT), EN EL ESTADO MÉRIDA**

Br. Marco D. Rivera Zambrano

Trabajo de Grado, presentado en cumplimiento parcial de los requisitos exigidos para optar al título de Ingeniero Electricista, aprobado en nombre de la Universidad de Los Andes por el siguiente Jurado.

---

Prof. Emigdio Malaver  
C.I. 9.427.109

---

Prof. José Rafael Uzcategui  
C.I. 13.803.000

---

Prof. Nelson A. Pérez García  
C.I. 9.475.328

**Marco D. Rivera Zambrano. Propuesta de planificación de frecuencias para Televisión Digital Terrestre (TDT), en el estado Mérida.** Universidad de Los Andes. Tutor: PhD. Nelson A. Pérez G. Septiembre 2009.

## RESUMEN

La TDT (Televisión Digital Terrestre) es el resultado de aplicar técnicas de procesamiento digital a la señal de televisión analógica, para luego ser transmitida por medio de ondas electromagnéticas, logrando con esto una mejora significativa en la calidad de las imágenes y el número y tipo de servicios que son entregados a los usuarios finales. El desarrollo de la TDT viene acompañado de la creación de estándares (hasta la fecha son 4 estándares principales), los cuales encapsulan de manera diferente los beneficios de la TDT, adaptándose unos mejor que otros, a determinados ambientes. Con la inminente llegada de la TDT a Venezuela, comienza un proceso de búsqueda e investigación con el objetivo de realizar una exitosa incorporación del nuevo sistema digital en el congestionado espectro radioeléctrico. Este proceso incluye la búsqueda de frecuencias disponibles asignables al nuevo sistema, también el desarrollo de la reglamentación y del plan técnico necesario para la implementación y el funcionamiento de la TDT, y puede estar antecedido o no, por la elección de uno de los estándares disponibles. El presente trabajo de grado se enfoca en el análisis de los aspectos técnicos del sistema digital, tipos de topologías de red, flexibilidades en los modos de transmisión de los distintos estándares y topografía de la región. Todo esto con la finalidad de estudiar la cobertura, por medio del software *Radio Mobile*, y elaborar propuesta de planificación en el estado Mérida con miras a una introducción exitosa del servicio en el país. Se puede observar que el sistema digital aumenta el área de cobertura en el estado Mérida, por medio de *gap-fillers*, y es posible implementar una red SFN (*Single Frequency Network*) ahorrando de esta manera el uso del espectro.

**Descriptor:** TDT, estándares de la TDT, redes SFN y MFN, plataforma actual del sistema analógico, cobertura.

# ÍNDICE GENERAL

<b>APROBACIÓN</b> .....	<b>ii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>iii</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	<b>vi</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>vii</b>
<b>CAPÍTULO</b> .....	<b>pp</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>1 TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE (TDT)</b> .....	<b>4</b>
1.1 Transición de TV Analógica a TV Digital .....	4
1.2 Televisión Digital .....	5
1.3 Televisión Digital Terrestre (TDT) .....	6
1.3.1 Ventajas de la Televisión Digital Terrestre .....	7
1.4 Estándar de codificación de video y audio MPEG .....	8
1.4.1 Compresión de video .....	8
1.4.2 Codificación avanzada de video MPEG-4 .....	15
1.4.3 Compresión de audio .....	16
1.4.4 Múltiplex de transporte .....	18
1.5 Modulación QAM .....	20
1.6 Modulación OFDM .....	21
1.6.1 Intervalo de guarda .....	22
<b>2 TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE (TDT)</b> .....	<b>23</b>
2.1 ATSC .....	23
2.1.1 Codificación de video .....	24
2.1.2 Codificación de audio .....	24
2.1.3 Codificación de canal y modulación .....	25
2.1.4 Receptor 8-VSB .....	29
2.2 DVB-T .....	30

2.2.1	Codificación de video .....	31
2.2.2	Codificación de audio .....	31
2.2.3	Modos de operación en la transmisión. ....	31
2.2.4	Codificación de canal y modulación .....	32
2.2.5	Receptor COFDM .....	37
2.2.6	DVB-H .....	37
2.3	ISDB-T .....	40
2.3.1	Codificación de canal y modulación .....	41
2.3.2	Movilidad y portabilidad .....	44
2.3.3	SBTVD-T .....	45
2.4	DTMB .....	45
2.4.1	Características del video .....	47
2.4.2	Características el audio .....	47
2.4.3	Codificación de canal y modulación. ....	47
2.4.4	Movilidad .....	52
<b>3</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DE LAS REDES SFN Y MFN .....</b>	<b>53</b>
3.1	Redes SFN .....	53
3.1.1	Longitud del intervalo de guarda .....	54
3.1.2	Sincronización de transmisores .....	55
3.1.3	Ventajas y desventajas de una red SFN .....	58
3.2	Redes MFN .....	59
3.2.1	Ventajas y desventajas de una red MFN .....	59
3.3	Re-transmisores .....	60
<b>4</b>	<b>SITUACIÓN ACTUAL DE LA PLATAFORMA DE TELEVISIÓN ANALÓGICA EN EL EDO. MÉRIDA. ....</b>	<b>61</b>
4.1	Televisión en Venezuela. ....	61
4.2	Televisión en el Edo. Mérida. ....	62
4.3	Distribución del la señal y plataforma actual en edo. Mérida. ....	63
<b>5</b>	<b>PROPUESTA DE PLANIFICACIÓN EN EL ESTADO MÉRIDA .....</b>	<b>66</b>
5.1	Aspectos Técnicos .....	66
5.1.1	Método de cálculo de las intensidades de campo .....	67
5.1.2	Método de la proporción .....	77
5.2	Propuesta de planificación de frecuencia y cálculo de cobertura. ....	78
5.2.1	Experiencias de otros países .....	78
5.2.2	Cálculo de cobertura y propuesta de planificación .....	80

# ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA</b>		<b>PP</b>
2.1	Resolución en TDT del Estándar ATSC . . . . .	24
2.2	Velocidad de Transmisión en Mbps del estándar DVB-T . . . . .	31
2.3	Velocidad de Transmisión del Estándar ISDB-T. . . . .	41
2.4	Características principales de la versión brasilera del Estándar ISDB-T . . . . .	45
2.5	Velocidad de Transmisión en Mbps del Estándar DTMB . . . . .	46
3.1	Valor del Intervalo de Guarda y distancia máxima asociada. . . . .	55
5.1	C/N mínimo requerida del Estándar DVB-T. . . . .	69
5.2	Disponibilidad de Tiempo. . . . .	74
5.3	Funcionamiento del Receptor . . . . .	74
5.4	Ruido artificial en dB. . . . .	75
5.5	Márgenes para una altura de la antena Rx de 5 m. . . . .	75
5.6	Método de la proporción . . . . .	77
5.7	Parámetros de la Simulación en <i>Radio Mobile</i> . . . . .	82

# ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PP
1.1 Exploración en Zig-Zag y código de longitud variable . . . . .	13
1.2 Digitalización y Comprensión de Audio . . . . .	17
1.3 Formación de un MUX . . . . .	18
1.4 Portadoras ortogonales OFDM . . . . .	22
2.1 Proceso de codificación de canal y modulación del estándar ATSC . . . . .	25
2.2 Espectro de la señal RF . . . . .	29
2.3 Niveles de la señal en los tiempos de muestreo en el receptor . . . . .	29
2.4 Codificación de canal y modulación del estándar DVB-T . . . . .	32
2.5 Formación de tramas con símbolos OFDM . . . . .	35
2.6 Espectro de la señal RF . . . . .	37
2.7 Ráfagas de datos multiplexada y paquetes MPEG-2 . . . . .	38
2.8 Codificación de canal y modulación del estándar ATSC . . . . .	42
2.9 Entrelazamiento en tiempo y frecuencia . . . . .	44
2.10 Aplicando el concepto de <i>One-Seg</i> . . . . .	45
2.11 Codificación de canal y modulación del estándar DTMB. . . . .	47
2.12 Estructura jerárquica del Marco . . . . .	50
2.13 Forma de la señal en banda-base . . . . .	51
3.1 Red SFN . . . . .	57
5.1 Márgenes de protección con canales adyacentes . . . . .	73
5.2 Mapa del edo. Mérida descargado de <i>Radio Mobile</i> . . . . .	81
5.3 Transmisores, Repetidores y unidades de Referencia . . . . .	82
5.4 Cobertura total del Edo. Mérida. Red SFN y MFN . . . . .	84
5.5 Intensidad de campo en la población de Tabay. Estándares DVB-T y DTMB	85
5.6 Colocación de gap-fillers para aumentar la cobertura . . . . .	86
5.7 Cobertura antes y después de los gap-fillers . . . . .	87
5.8 Cobertura de la ciudad de Mérida . . . . .	88
5.9 Cobertura de Tovar, Bailadores, Lagunillas y pueblos de Sur . . . . .	88
5.10 Cobertura de Lagunillas . . . . .	89
5.11 Cobertura de El Vigia . . . . .	89

# INTRODUCCIÓN

La televisión en Venezuela nace en 1952 con el programa Televisora Nacional (TVN) en el canal 5. Ese mismo año, nace Televisa, canal 4, y Radio Caracas Televisión (RCTV), primero en el canal 7 y luego pasa al canal 2. En 1960 Televisa es adquirida por el empresario Cisneros, fundando así Venevisión, en 1961. En 1964, se funda la cuarta televisora con cobertura nacional, Cadena Venezolana de Televisión, y diez (10) años más tarde es adquirida por el Estado, pasándose a llamar Venezolana de Televisión (VTV). En 1988 nace Televen, y en los años noventa se fundan: Globovisión (1994), Bravo TV (1995) (luego Puma TV, y actual Canal I), Meridiano Televisión (1997) y Vale TV (1998) cuya señal ocupa la de la TVN que cesa transmisiones ese año. El gobierno nacional decide lanzar la televisora ViVe (2003) y TeleSUR (2005), además de apoyar y financiar una red de televisoras comunitarias como Ávila TV. En el año 2006 surge ANTV y en el 2007 Sun Channel, en este último año cesan las transmisiones de RCTV reemplazado por Televisora Venezolana Social (Tves).

Todos esos años, la televisión analógica terrestre en Venezuela cumplió con las necesidades de los usuarios, siendo (y aún lo es) el medio de comunicación más influyente en la población venezolana. Sin embargo, con el pasar del tiempo, la gran demanda de servicios de telecomunicaciones ha traído como consecuencia el desarrollo de tecnologías orientadas al mejoramiento de la transmisión de información y al mejor aprovechamiento del espectro radioeléctrico. De esta manera, el sistema de televisión analógico está pronto a migrar para la televisión digital terrestre (TDT), con el correspondiente proceso de transición.

Tal proceso de transición del sistema de televisión analógico al digital se está dando en muchos países a nivel mundial. La transición inicia con la introducción del sistema digital y culmina con el cese de las transmisiones analógicas (apagón digital). La velocidad y duración



de dicho proceso depende, entre otras causas, del grado de intervención efectiva del gobierno, la influencia del actual sistema analógico y de las partes interesadas.

En Venezuela, durante el periodo de realización de este trabajo se está próximo de elegir el estándar de TDT para la implementación de esta nueva tecnología en el país, así como el inicio de las transmisiones. Esto parece indicar que el sistema de TDT está pronto a iniciar su fase introductoria, lo que conlleva al planteamiento de distintos objetivos y problemas que se deben proponer y superar, algunos de ellos independientes del estándar elegido, para una implementación exitosa. Uno de esos objetivos es lograr un nivel óptimo de cobertura, en el peor de los casos similar al alcanzado por el sistema analógico, utilizando así un mínimo de recursos adicionales para ese fin, es decir, en la medida de lo posible utilizar la misma infraestructura de la televisión analógica. El análisis de los aspectos técnicos de los estándares de televisión digital y las topologías de red utilizadas, SFN (*Single Frequency Network*) y MFN (*Multi-Frequency Network*), sugieren distintos modos de transmisión que se pueden adaptar a la topografía del estado Mérida. Es importante resaltar que la fase introductoria está acompañada de un conjunto de leyes y reglas a seguir, así como el modelo de negocio a utilizar. Este trabajo se enfocará en los aspectos técnicos para la elaboración de una propuesta de planificación de frecuencia, basada en las redes SFN y MFN.

La realización de propuestas de planificación en las distintas regiones de Venezuela, teniendo en cuenta su topografía y nivel de urbanismo, facilitará en gran medida esta fase inicial, he ahí su gran importancia. La herramienta de software *Radio Mobile* es utilizada para medir la cobertura y analizar la intensidad mínima de campo necesaria, en el área de estudio, según la frecuencia, estándar y tipo de topología de red utilizado; y basándose en la actual infraestructura del sistema analógico, así como también en los niveles de señal calculados y necesarios para una óptima recepción.

Así, el objetivo principal de este trabajo es proponer alternativas de planificación de frecuencias para televisión digital terrestre (TDT) en el estado Mérida. Este objetivo es alcanzado cumpliendo los siguientes objetivos específicos:

- Analizar las características de los estándares de televisión digital terrestre (TDT).
- Analizar los principales aspectos de la planificación de TDT.
- Analizar las características, ventajas y desventajas de las redes de SFN y MFN.
- Realizar un levantamiento de la situación actual del sistema de televisión en el estado Mérida.
- Desarrollar las propuestas para la planificación de frecuencias para televisión digital terrestre en el estado Mérida, basadas en redes de MFN y SFN.

Finalmente, para una mejor comprensión de este trabajo, su contenido ha sido estructurado en los siguientes capítulos:

- **Capítulo 1:** Comprende la definición de la TDT y sus ventajas. También se analiza los estándares de compresión del audio y del video, específicamente MPEG-2 y MPEG-4, así como también los paquetes de transporte MPEG-2 y se da una breve introducción de las técnicas de modulación OFDM y QAM.
- **Capítulo 2:** Se realiza un análisis medianamente detallado de los estándares desarrollados hasta la fecha, teniendo en cuenta también la transmisión a dispositivos móviles y portátiles.
- **Capítulo 3:** Consta del estudio de las dos (02) topologías de red usadas en la TDT, es decir, redes SFN y MFN, exponiendo sus ventajas y desventajas en el momento de la implementación, y en su funcionamiento.
- **Capítulo 4:** En este capítulo se realiza un levantamiento de la situación actual del sistema de televisión analógico en el estado Mérida, describiendo la distribución de la señal de TV y la localización de las estaciones de TV en el Edo. Mérida.
- **Capítulo 5:** Abarca los aspectos técnicos de la TDT, es decir, los métodos usados para el cálculo de la intensidad de campo mínima necesaria para una recepción sin errores. Por medio del software *Radio Mobile* se calcula la cobertura. Por último, mediante un breve resumen de las experiencias de implementación en otros países, y con base en las topologías de redes MFN y SFN, se plantea la propuesta de planificación de frecuencias.

# CAPÍTULO 1

## TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE (TDT)

### 1.1 TRANSICIÓN DE TV ANALÓGICA A TV DIGITAL

La televisión analógica basa su funcionamiento en una sucesión de imágenes que causa la sensación de movimiento. Los parámetros eléctricos asociados a estas imágenes, así como del sonido correspondiente, se representan a través de una señal eléctrica. Sin embargo, la transmisión de esta señal analógica hasta los usuarios puede ser bastante compleja además de usar muchos recursos.

No obstante, la señal de TV analógica puede ser digitalizada por medio de un convertidor A/D (analógico/digital). La señal digital que se obtiene (flujo de bits, 1 y 0) puede ser sometida a procesos de codificación y comprensión logrando que la imagen recibida sea de calidad superior, lo cual posibilita y justifica en parte la migración que actualmente se observa hacia la TDT.

El principal problema de la televisión analógica es que no usa eficientemente el espectro electromagnético, debido a que parte de la información transmitida en cada imagen es una copia exacta de la imagen o imágenes anteriores, o parte de la información dentro de la misma imagen es redundante o muy parecida [Prieto y Al-Majdalawi, 2006]. Por esta razón, al digitalizar la señal se obtiene un flujo de bits demasiado grande para cuya transmisión se requiere elevada capacidad de almacenamiento. En otras palabras, no es factible, con ningún método de modulación existente, transmitir por un canal de 6 MHz, 7 MHz u 8 MHz, por ejemplo [Fischer, 2008], una señal de alta definición que al ser digitalizada genera un flujo

aproximado de bits de 1 Gbps.

El flujo de bits tan grande obtenido al digitalizar la señal analógica de TV contiene más información de la que necesita el ojo humano para ver correctamente las imágenes de TV. Los bits redundantes son utilizados por las técnicas de compresión digital para reducir el flujo de bits a un número adecuado para ser transmitido por un canal de televisión. El estándar de compresión del grupo MPEG (*Moving Picture Experts Group*), es utilizado por todos los estándares de TDT desarrollados hasta la fecha y fue lo que posibilitó el desarrollo de la televisión digital.

El desarrollo del estándar de compresión digital fue seguido por la creación de estándares de televisión digital, que basan su funcionamiento en paquetes de bytes comprimidos por los estándares MPEG-2 ó MPEG-4. Con el desarrollo de dichos estándares, los países comienzan a introducir la televisión digital utilizando el estándar que mejor se adapte a cada uno de ellos. Esta fase introductoria es gradual y en la gran mayoría de los casos ambos sistemas, analógico y digital, coexisten por varios años.

## **1.2 TELEVISIÓN DIGITAL**

Tal como fue mencionado, la televisión digital es el resultado de la aplicación del procesamiento digital a las señales de televisión analógicas. Esto permite a los operadores de TV la transmisión de programas de televisión con gran calidad de vídeo y audio, además de incorporar información adicional que puede ser entregada al usuario final. Los radiodifusores de TV podrán proporcionar hasta cinco (05) programas de televisión en calidad estándar (SDTV, *Standard Definition TV*) y uno (01) o dos (02) programas de televisión de alta definición (HDTV, *High Definition TV*). Todo depende del nivel de compresión utilizado y del tipo de programa a transmitir. Por ejemplo, un programa que contenga escenas con mucho movimiento necesita mayor velocidad para ser transmitido con suficiente calidad, es decir, mayor ancho de banda. Así, un programa deportivo transmitido en alta definición, necesitará un canal de radio frecuencia (RF) completo, si es comprimido con el estándar MPEG-2 [UIT-D, 2006].

Ahora bien, aunque las señales de entrada en la cámara y de salida en el receptor de los sistemas de televisión son analógicas, la regeneración de un tren de impulsos digital hace que las señales digitales sean teóricamente inmunes a degradaciones procedentes de fuentes externas. Los flujos de bits se pueden intercalar dentro de un canal simple. Este procedimiento de intercalación permite la emisión, transmisión, almacenamiento o procesamiento de señales auxiliares junto con la señal de vídeo y de audio asociadas [UIT-D, 2006].

Existen diferentes tipos de televisión digital, dependiendo del medio y el modo de transmisión [Comisión Nacional de Televisión, 2008]. A saber:

- Televisión digital vía terrestre
- Televisión digital vía satélite
- Televisión digital por cable
- IPTV (Televisión por IP)

El interés del presente trabajo de grado está dirigido hacia la televisión digital terrestre (TDT).

### **1.3 TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE (TDT)**

La Televisión Digital Terrestre (TDT) es aquella en la que luego de la aplicación de las técnicas de digitalización y compresión, la señal es transmitida por medio de ondas electromagnéticas y recibida a través de una antena convencional [Comisión Nacional de Televisión, 2008]. Por lo general, la TDT posee una red de microondas para transmitir la señal hasta las distintas estaciones ubicadas en lugares estratégicos, las cuales a su vez, se encargan de difundir la señal en las frecuencias de VHF (*Very High Frequency*) y UHF (*Ultra High Frequency*) hasta los usuarios (televidentes). Un objetivo que se ha planteado la TDT es, en la medida de lo posible, utilizar la misma infraestructura de transmisión y difusión utilizada por la televisión analógica, aunque en el momento de la instalación del sistema digital, se necesitarán nuevas antenas, así como transmisores digitales [Casas G., 2009].

En Venezuela, la televisión analógica terrestre es uno de los medios de comunicación más conocidos e importantes, con una cobertura de casi la totalidad de la población. Por su parte, la TDT presenta una mejora significativa en la calidad técnica de la televisión, además de incrementar la cantidad de programas disponibles y permitir la transmisión de información adicional (guía electrónica, información del clima, interactividad, etc.) a los usuarios, gracias al eficiente uso del espectro [Prieto y Al-Majdalawi, 2006]. Si se tiene en cuenta el pequeño número de operadores de TV y programas ofrecidos actualmente en Venezuela, con la llegada de la TDT hay suficiente espacio en el espectro para contar con nuevos beneficios tales como: a) los canales nacionales y regionales que actualmente no salen en abierto, podrán hacerlo, b) más espacio del espectro para canales comunitarios, c) servicios interactivos, entre otros. Todo esto podrá ser recibido por los televisores analógicos incorporando un decodificador (*set top box*), que de acuerdo a su rango de precios, logrará que todos los grupos socioeconómicos del país puedan tener acceso a la TDT.

### **1.3.1 Ventajas de la Televisión Digital Terrestre**

El uso eficiente del espectro electromagnético en la TDT permite la prestación de un gran número y tipo de servicios. Por ejemplo, ofrecer con buena calidad cuatro (04) programas en un canal RF, que en TV analógica es ocupado por un sólo programa, es una de las ventajas de la TDT. Otras son [Prieto y Al-Majdalawi 2006, UIT-D 2006]

- Se requiere menor relación señal a ruido ( $S/N$ , *Signal to Noise ratio*) debido a que el flujo de bits es codificado.
- La ventaja de la compresión es que se pueden agrupar de tres (03) a cinco (05) programas en un solo canal RF, o un sólo programa pero HDTV.
- El ancho de banda que ocupa cada programa o alguna otra información dentro de un multiplex (MUX), puede ser asignado de forma dinámica. La ventaja de esto está en que los distintos operadores de TV pueden gestionar la cantidad de ancho de banda que necesiten dentro del multiplex, lo cual genera estrategias de negocios.
- La codificación de canal hace que la señal sea más robusta y menos susceptible a las interferencias. La señal recibida es idéntica a la transmitida, debido a que; o se

decodifica el tren de bits correcto o no se recupera nada, es decir, los receptores no son capaces de mostrar nada en la pantalla si no se decodifica el tren de bits exacto que fue transmitido. Esto es conocido como “abismo digital”.

- El tren de bits codificado necesita menor potencia de transmisión, para alcanzar la misma cobertura del sistema analógico.
- Ofrece la interactividad como una de sus principales ventajas competitivas a futuro. Hay dos (2) formas de interactividad: interactividad local y interactividad remota. La local es aquella en la cual el usuario interactúa con datos guardados en el receptor que se actualizan constantemente, y la remota es aquella que utiliza un canal de retorno.
- Nuevo formato de relación de aspecto de 16/9, con imágenes que se parecen a las de una pantalla de cine.
- Es posible implementar, además de las redes de múltiple frecuencias (MFN, *Multi-Frequency Network*), redes de frecuencia única (SFN, *Single Frequency Network*), en las que se transmite el mismo programa en la misma frecuencia desde varios transmisores.
- Es posible recibir TDT en dispositivos móviles o portátiles.

## **1.4 ESTÁNDAR DE CODIFICACIÓN DE VIDEO Y AUDIO MPEG**

Una señal de televisión SDTV, al ser digitalizada, genera un flujo de bits de aproximadamente 270 Mbps. Esta velocidad de transmisión es muy grande para ser transmitida en el ancho de banda limitado que posee la televisión terrestre. Por esta razón, se deben aplicar técnicas de compresión reduciendo el flujo de bits a unos 7 Mbps. Por su parte, una transmisión HDTV al ser convertida de analógica a digital, genera más de 1 Gbps; con las técnicas de compresión se logra reducir a 20 Mbps aproximadamente [Fischer, 2008].

### **1.4.1 Compresión de video**

Es posible comprimir el video removiendo la información redundante e irrelevante del flujo de bits. La información redundante es aquella que no transporta información útil, es decir, información innecesaria, y puede ser fácilmente recuperada sin pérdidas por el receptor. Por su

parte, la información irrelevante es aquella que los sentidos humanos no pueden percibir, por ejemplo, el ojo humano es más sensible a los cambios en el brillo de una imagen que a los cambios del color [Fischer, 2008]. Por esta razón, se puede disminuir la intensidad del color, reduciendo su ancho de banda. El problema de la información irrelevante es que al eliminarla, se pierde información útil que no puede ser recuperada de ninguna manera.

Los pasos a seguir para la reducir el flujo de datos en el estándar MPEG2, son los siguientes [Fischer, 2008]:

- Tomar 8 bits de resolución en lugar de 10 bits al convertir la señal de analógica a digital (esto es información irrelevante).
- Eliminar el intervalo de bloqueo horizontal y vertical que se ve representado como franjas negras en la pantalla (esto es información redundante).
- Reducir la resolución de color en la dirección horizontal y vertical, 4:2:0 (esto es información irrelevante).
- Utilizar la modulación diferencial de impulsos codificados (DPCM; *Differential Pulse Code Modulation*). Esto forma parte de la información redundante.
- Utilizar la transformada discreta del coseno (DTC, *Discrete Cosine Transform*), después de la cuantificación (esto es reducción de información irrelevante).
- Utilizar una exploración en zig-zag<sup>1</sup> a las matrices resultantes después de aplicar la DTC, y a su vez un código de longitud variable (información redundante).
- Codificación Huffman.

En primer lugar, la señal analógica de video a la salida de una cámara de televisión está dada por tres (3) componentes; una representa el rojo, otra al verde y la ultima al azul (RGB: *Red, Green and Blue*). Estas señales son expresadas en forma matricial y convertidas en dos nuevas señales, una de luminancia (Y) y otra de crominancia con dos (2) componentes ( $C_B$  y  $C_R$ ), de la siguiente forma [Prieto y Al-Majdalawi, 2006]:

$$Y = 0,299R + 0,587G + 0.114B \quad (1.1)$$

---

<sup>1</sup> Este y otros términos nombrados en estos pasos se explican más adelante en este Capítulo



$$Cb = -0,1687R - 0,3313G + 0,5B \quad (1.2)$$

$$Cr = 0,5R - 0,4187G - 0,0813B \quad (1.3)$$

Dichas señales son convertidas de analógico a digital generando un flujo de bits que va de los 270 Mbps hasta un poco más de 1 Gbps, dependiendo de su calidad. Con base en lo que se mencionó de la percepción humana, se puede reducir las muestras de color en comparación con las muestras de brillo o luminancia, disminuyendo la resolución de color y a su vez el flujo de bits. El formato de muestreo 4:2:2, significa cuatro (04) muestras de luminancia por cada dos (02) muestras de las componentes de crominancia [Fischer, 2008].

#### **a) Reducción de la resolución de cuantificación de 10 bits a 8 bits**

Un ruido de cuantificación de 8 bits de resolución, en el convertidor A/D, asegura que la componente de ruido de la señal sea menor que el umbral de percepción de un ojo humano. En la televisión analógica, es necesaria una relación señal a ruido (S/N) de 48 dB en adelante para asegurar que la componente de ruido de la señal esté por debajo del umbral de percepción del ojo humano. Al disminuir de 10 bits a 8 bits la resolución de cuantificación, se reduce en 20 % el flujo de bits o datos total [Fischer, 2008].

#### **b) Eliminación de los intervalos de bloqueo horizontal y vertical**

Los intervalos de bloqueo horizontal y vertical en una señal de video digital, no contienen ninguna información útil. Por tanto, estos intervalos pueden ser eliminados completamente en la transmisión y luego ser recuperados en el receptor. Esto produce una reducción en el flujo de datos de aproximadamente 25% [Fischer, 2008].

#### **c) Reducción de la resolución de color en la dirección vertical**

El ojo humano no puede distinguir entre la resolución de color vertical y la horizontal. Por esta razón, es posible reducir la resolución de color vertical sin mayores efectos. Con esta

reducción el formato de muestreo pasa de 4:2:2 a 4:2:0, lo que significa que por cada cuatro (04) muestras de luminancia hay una sola muestra de cada una de las componentes de color ( $C_B$  y  $C_R$ ). Esta reducción se considera información irrelevante y no puede ser recuperada por el receptor, reduciendo el flujo de bits aproximadamente en 25% [Fischer, 2008].

**d) Modulación Diferencial de Impulsos Codificados (DPCM, *Differential Pulse Code Modulation*)**

Si en una secuencia las imágenes se transmiten completas durante todo el tiempo, el flujo de bits es muy grande. Por este motivo, es razonable pensar que la solución a este problema es transmitir sólo los cambios entre una imagen y la otra. Esto se logra con la modulación diferencial de impulsos codificados. Al codificar la señal con DCPM, en lugar de codificar cada muestra por separado, se codifica la diferencia entre dos muestras adyacentes, aumentando el rendimiento del sistema y disminuyendo el número de bits de los grupos de codificación [Briceño, 1998].

El problema de DCPM es que en una transmisión con errores toma mucho tiempo útil demodular la señal en el dominio del tiempo y acoplarla de nuevo a la señal original [Fischer, 2008]. Por esta razón, se emplea la transmisión a intervalos regulares, es decir, del primer cuadro se transmiten todas sus muestras, de los cuadros siguientes se transmiten solo las diferencias entre ellos y el primer cuadro. Finalmente, se transmite otro cuadro con todas sus muestras que sirve de primer cuadro para la siguiente secuencia, y así sucesivamente.

Un cuadro está dividido en bloques cuadrados de  $16 \times 16$  píxeles<sup>2</sup> en el caso de la luminancia y  $8 \times 8$  píxeles para cada componente de la crominancia. Los  $8 \times 8$   $C_B$  píxeles y los  $8 \times 8$   $C_R$  píxeles se superponen en una sola capa de  $16 \times 16$   $Y$  píxeles, formando un macrobloque [Fischer, 2008]. Cada cuadro está compuesto por muchos macrobloques y la cantidad de información transmitida por imagen o cuadro depende del tipo de cuadro como sigue [Valentín, 2004]:

- Cuadros I (Intra-trama): Son cuadros codificados sin ninguna referencia. Contienen

---

<sup>2</sup> Un píxel es la menor unidad homogénea en color que forma parte de una imagen digital.

toda la información para su reconstrucción en el receptor.

- Cuadros P (Predecibles): Son cuadros codificados con la referencia de los cuadros previamente codificados, bien sea cuadros tipo I o tipo P. Estos incorporan compensación de movimiento y su compresión es más alta que la de los cuadros I.
- Cuadros B (Bidireccionales): requieren como referencia tanto los cuadros futuros como pasados, los cuadros B usan compensación e interpolación de movimientos y logran alta compresión.

El arreglo de cuadros que tiene como inicio y fin dos cuadros tipo I, se conoce como GOP (*group of pictures*).

#### e) **Transformada Discreta del Coseno (DCT, *Discrete Cosine Transform*)**

Pruebas realizadas a señales de video analógico demuestran que el ojo humano percibe con más facilidad las alteraciones de baja frecuencia de la imagen que corresponden a estructuras gruesas, que las de alta frecuencia que corresponden a estructuras finas. Por esta razón, se permite mayor ruido en las altas frecuencias o imágenes con detalles finos. A su vez, estas imágenes son codificadas con una cuantificación menos robusta en comparación con la cuantificación más fina de las imágenes con estructuras gruesas [Fischer, 2008].

La DTC, que es un caso especial de la transformada discreta de Fourier, se utiliza para pasar la señal del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia y separar las componentes gruesas, medias y finas de la imagen. Al usar la DTC se crean valores de las muestras que corresponden a valores de potencia en el dominio de la frecuencia clasificados en el valor de corriente continua (DC, *Direct current*), valores de media y de alta frecuencia. Esto permite la reducción de la información irrelevante en función de las propiedades de la percepción humana.

Como ya se mencionó anteriormente, el tipo de cuantificación varía según el tipo de estructura, es decir, hay un factor de cuantificación que divide a los valores de frecuencias después de aplicar la DTC, y este factor puede ser grande o casi nulo para valores en altas y

bajas frecuencias, respectivamente. Esta forma de cuantificación produce valores alrededor de cero en los valores con las frecuencias más altas o estructuras más finas, los cuales en los pasos siguientes son utilizados para disminuir el flujo de bits.

#### f) Proceso de exploración en Zig-Zag y codificación de longitud variable

Después de la etapa de cuantificación, las matrices de 8x8 píxeles se leen mediante un proceso de exploración en zig-zag lo que genera un gran número de ceros adyacentes. Luego, estos ceros son transmitidos mediante un código de longitud variable. El código de longitud variable identifica secuencias repetitivas de al menos tres caracteres, enviándose el caracter junto con el número que indica la cantidad de veces que debe ser repetido ese caracter. Ejemplo, para ahorrar espacio y disminuir el flujo de bits, en vez de transmitir 0, ... 0, 10 veces, se transmite, 10\*0 (ver Fig. 1.1).

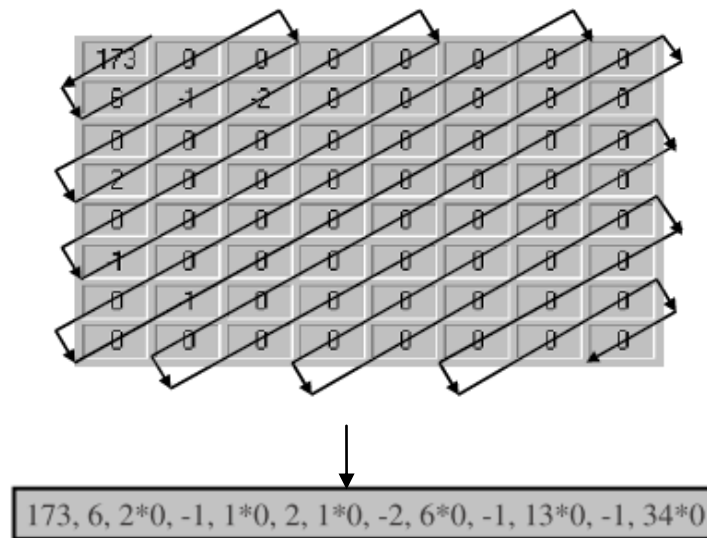


Fig. 1.1: Exploración en Zig-Zag y código de longitud variable [Fischer, 2008]

#### g) Codificación Huffman

Se trata de un algoritmo usado para compresión de datos, que crea una tabla que codifica los caracteres con longitud de bits variables. Se asignan códigos más cortos a los caracteres que aparecen con más frecuencia. Los caracteres más usados se codifican en 4 bits y los menos

usados de 5 a 11 bits. Esta compresión es mayor cuando aparecen menos caracteres diferentes. Para poder recuperar los valores iniciales es necesario que el decodificador conozca el código asignado a cada carácter [Faúndez, 2001].

#### **h) Disminución de la velocidad de transmisión**

Con las técnicas aplicadas, y tomando como ejemplo una señal de televisión de resolución estándar (270 Mbps), se ha logrado reducir el flujo de bits de la siguiente forma [Fisher 2008]:

- Reducción de la resolución de cuantificación de 10 bits a 8 bits (20%) da un total de 216 Mbps.
- Omisión del intervalo de bloqueo horizontal y vertical (25%) da un total de 162 Mbps.
- Reducción de la resolución de color vertical (25%) da un total de 121,5 Mbps.
- Aplicando DPCM, DCT, exploración en zig-zag y codificación huffman, se logra de un 95% a un 98% más de reducción dependiendo del grado de compresión, dando como resultado una velocidad de transmisión de 6 Mbps a 2 Mbps.

#### **i) Perfiles y niveles**

El estándar de compresión de video MPEG-2 tiene una gran variedad de combinaciones. Las combinaciones más utilizadas son definidas bajo perfiles y niveles. Los perfiles limitan la sintaxis (algoritmos), mientras los niveles limitan los parámetros (velocidad de muestreo, dimensiones de las tramas, velocidad binaria codificada, etc.) [Fischer, 2008].

- Niveles: Definen los máximos y mínimos para la resolución de la imagen, así como muestras Y (luminancia) por segundo, el número de capas de audio y vídeo soportados por los perfiles escalados, y la máxima velocidad binaria por perfil. Se enumeran como: Nivel Bajo, Nivel Principal, Nivel Alto 1440, Nivel Alto.
- Perfiles: Definen las características de sintaxis (algoritmos), usados para hacer converger la información. Hay cinco (05) diferentes perfiles y cada uno es progresivamente más sofisticado y agrega herramientas adicionales. Los perfiles son:

Perfil Simple, Perfil Principal, Perfil Escalable SNR y Perfil Escalable, Perfil Alto.

#### 1.4.2 Codificación avanzada de video MPEG-4

MPEG-4 reduce de un 30% a un 50% más el flujo de bits, comparado con MPEG-2, y además con una mejor calidad en las imágenes. MPEG-4 permite comprimir un programa de definición estándar en menos de 3 Mbps y uno de alta definición en 10 Mbps. También permite flujos de bits menores a 1 Mbps usados para la transmisión de televisión móvil en definición estándar. Una de las ventajas principales es que puede ser incorporado a un paquete de transporte MPEG-2 sin ningún problema [Fischer, 2008].

Aunque el estándar de compresión de video MPEG-2 emplea técnicas de compresión eficientes y transmite, después de un cuadro I, sólo la información que ha cambiado respecto a este cuadro de referencia. Aun así, la codificación de un cuadro simple sigue siendo muy larga. Por su parte, el estándar MPEG-4 para ahorrar espacio, reconoce objetos individualmente dentro de un cuadro. Por ejemplo; en el estándar MPEG-4 es posible crear escenas en donde diferentes personas (imágenes en 2D) pueden estar juntas alrededor de una mesa en la misma escena, siendo cada una, un objeto audiovisual definido y tratado en forma completamente diferente. Codificando cada objeto en forma individual, el estándar MPEG-4 es capaz de disminuir una mayor cantidad de bits obteniendo niveles de compresión que van de 8 a 12 veces más que los obtenidos en MPEG-2.

El poder de MPEG-4 se basa en que debido a su codificación en objetos, una gran variedad de funciones interactivas (no permitidas en MPEG-2, debido al retardo de codificación) pueden ser introducidas en los archivos de video. Por ejemplo, un productor puede colocar el logotipo de una marca de automóviles en la franela de un actor, a su vez, se puede hacer *click* sobre el actor y ver información acerca de la marca de automóviles.

El estándar MPEG-4 se distingue por las siguientes características [Fischer, 2008]:

- Son soportados los formatos de muestreos 4:2:0, 4:2:2 y 4:4:4.

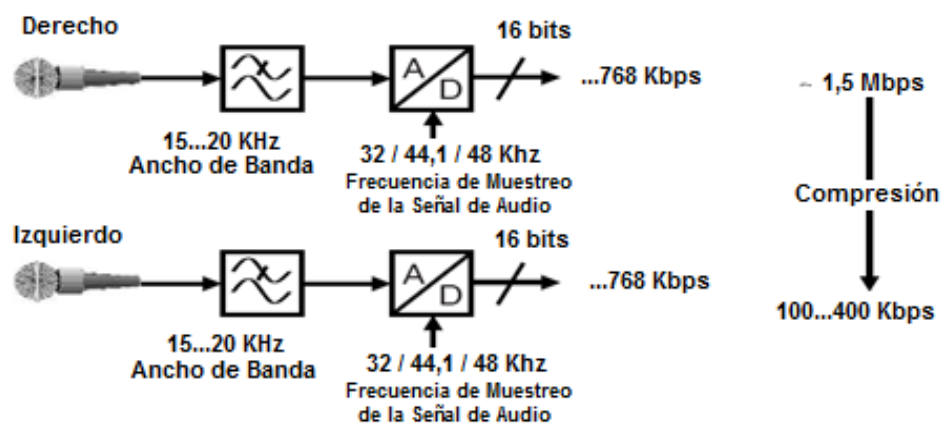
- Hasta un máximo de 16 marcos de referencia.
- Una compensación de movimiento mejorada a  $\frac{1}{4}$  de pixel de exactitud, comparado con el  $\frac{1}{2}$  de pixel del MPEG-2.
- Estructuras de macrobloque flexibles (16x16, 16x8, 8x16, 8x4, 4x8, 4x4).
- 52 parámetros seleccionables de las tablas de cuantificación.
- Transformada Hadamard, en vez de DCT.
- Se aplican códigos de longitud variable.
- Una imagen es la suma de los objetos, el texto y el fondo que la conforman.
- La codificación de los objetos se hace por separado.
- Los objetos son manipulables.

MPEG-4 introduce el concepto de VOP (*Video Object Plane*), los cuales se clasifican de la siguiente forma [Vargas, 2007]:

- I-VOPs: Contienen cuadros completos a los que no se les ha aplicado una codificación incremental.
- P-VOPs: Se ha realizado una codificación predictiva basándose en los VOPs previamente codificados.
- B-VOPs: Se codifican de forma bidireccional, basándose en las diferencias con los VOPs tanto anteriores como posteriores.

### 1.4.3 Comprensión de audio

El oído humano percibe sonidos en un ancho de banda desde 20 Hz hasta 20 KHz, y posee ciertas características dadas por un modelo psico-acústico que permiten reducir el flujo de bits resultante al digitalizar la señal. La reducción de flujo de bits se logra eliminando la información irrelevante al igual que en la compresión del video. La señal de audio puede ser muestreada a diferentes frecuencias que van desde los 32 KHz hasta 48 KHz e incluso 96 KHz, y cuantificada con una resolución de 16 bits. Todo esto genera un flujo de bits de aproximadamente 1.5 Mbps que deben ser comprimidos para reducirlo aproximadamente de 400 Kbps a 100Kbps como se muestra en la **Fig. 1.2** [Fischer, 2008].



**Fig. 1.2: Digitalización y Compresión de Audio**

Al estudiar el modelo psico-acústico del oído humano, se observa que en presencia de una señal fuerte todas las señales débiles son cubiertas y aunque son parte del espectro, no son percibidas por el oído [Fischer, 2008]. Además se observa que el oído humano presenta la máxima sensibilidad, para las señales entre 1 KHz y 3 KHz. Al explotar todas estas características se puede reducir el flujo de bits, al necesario para ser transmitido.

Para su compresión, la señal de audio es dividida en dos (02) ramas, se filtra y luego tomada para ser analizada en la frecuencia. El análisis en la frecuencia se realiza por medio de la transformada rápida de Fourier y se determinan sus componentes en la frecuencia. Luego, se puede usar el modelo psico-acústico del oído humano para eliminar la información irrelevante. Después del análisis en la frecuencia, la señal se somete a un filtrado que la divide en muchas sub-bandas; con esto, se pueden determinar las sub-bandas que están siendo cubiertas por otras sub-bandas y no transmitir las, ya que no van a ser audibles. Simultáneamente, se realiza una cuantificación variable, la cual depende de nuevo del modelo psico-acústico y se determina qué componentes están por debajo del umbral de percepción para ser eliminadas [Fischer, 2008].

El estándar de compresión de audio MPEG-2 ofrece una configuración básica de seis (6) canales de audio. Puede ser usado para distribuir tres (3) pares de estéreos (o 6 canales mono) para aplicaciones multilenguajes o para crear un sistema estereofónico multicanal [Fisher, 2008].



### 1.4.4 Múltiplex de transporte

El estándar MPEG-2 puede ser definido por dos (02) capas. La primera es la capa de compresión, ya estudiada, y la segunda es la capa sistema. La capa de sistema es la encargada de organizar los datos comprimidos en paquetes, para después hacer el multiplexado de todas las señales asociadas al programa (video, audio y datos), formando un múltiplex (**Fig. 1.3**) [Gutiérrez, 2001].

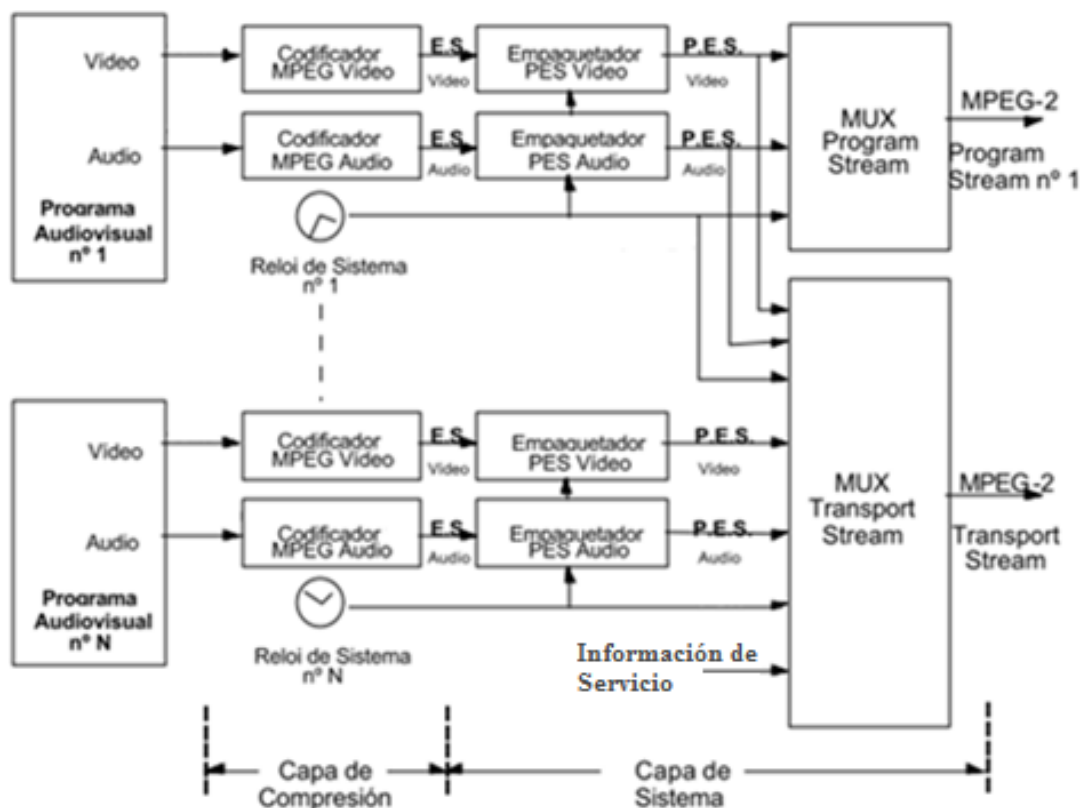


Fig. 1.3: Formación de un MUX

Dentro de un múltiplex no existen protecciones contra errores, y la nomenclatura usada para definir las partes de la capa de sistema es la siguiente:

- Flujo Elemental (E.S., Elementary Stream): Es cada componente simple de un programa de TV después de que se ha codificado digitalmente y comprimido según el estándar MPEG. Un programa de TV se compone de varios *Elementary Streams*: Uno para el vídeo, varios para sonido, otro para el teletexto, etc.

- *Packetised Elementary Stream (P.E.S.)*: Cada E.S. se estructura en paquetes (*PES packets*), creando un flujo que se denomina *Packetised Elementary Stream (P.E.S.)*. Existe un P.E.S. por cada E.S. original.

Una secuencia de vídeo, después de ser codificada con MPEG, es una sucesión de Unidades de Acceso (*Access Units*) de Vídeo. Esta sucesión de unidades de acceso constituye el denominado *Vídeo Elementary Stream (Vídeo E.S.)*. Igualmente sucede con el audio, creando el *Audio Elementary Stream (Audio E.S.)* [Gutiérrez, 2001].

#### a) **Empaquetado P.E.S.**

Cada E.S., compuesto exclusivamente por *Access Units*, es convertido en un *Packetised Elementary Stream (P.E.S.)*. Un P.E.S. está formado completamente por *PES-Packets*, los cuales tienen una cabecera y una carga útil (*Payload*). La carga útil está formada por bytes de datos tomados secuencialmente desde el E.S. original [Gutiérrez, 2001].

#### b) **Múltiplex tipo *Transport Stream***

El múltiplex tipo *Transport Stream* está formado por paquetes de transporte pertenecientes a varios programas de TV que tienen una longitud fija de 188 bytes. El paquete de transporte incluye una cabecera de 4 bytes, seguida a veces de un campo de adaptación (usado para completar el exceso de espacio disponible) y en todos los casos, de una carga útil. Los paquetes de transporte se forman a partir de los *PES-Packets* correspondientes a cada flujo elemental de señal de TV (vídeo, audio, datos, etc.) [Gutiérrez, 2001].

#### c) **Formación del *Transport Stream***

Los paquetes de transporte pertenecientes a su vez a varios programas audiovisuales se arreglan secuencialmente para configurar el *MPEG-2 Transport Stream (TS)* [Gutiérrez, 2001]. A su vez, es necesario incorporar paquetes de transporte que contengan información de servicio y paquetes de transporte nulos los cuales se emplean para absorber reservas de

capacidad del múltiplex.

Entre los bytes de la cabecera de los paquetes de transporte, un campo de trece (13) bits es usado para distinguir los paquetes de transporte asociados a un determinado flujo elemental. Este campo es conocido como identificador de paquete (PID, *Packet Identifier*) y es utilizado por el decodificador para saber que paquetes de transporte pertenecen a un mismo programa de TV, además de la información específica de los programas (PSI, *Program Specific Information*).

#### **d) Información Específica de los Programas (PSI)**

Para que el decodificador pueda recuperar completamente un programa de TV a través de los valores PID de los paquetes de transporte, es necesario incluir información adicional dentro del TS que relacione estos PID con los programas de TV a los que pertenecen. Esta información se conoce como PSI (*Program Specific Information*) y comprende la inclusión de un número de tablas dentro del TS. Algunas de estas tablas son las siguientes:

- PAT (*Program Association Table*)
- CAT (*Conditional Access Table*)
- PMT (*Program Map Table*)
- *Private*

## **1.5 MODULACIÓN QAM**

La Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM, *Quadrature Amplitude Modulation*) es un tipo de modulación digital en la que el mensaje está contenido tanto en la amplitud como en la fase de la señal transmitida. El flujo de bits a la entrada del modulador es agrupado en símbolos a los que se le asigna una amplitud y una fase. Su principio de funcionamiento consiste en transmitir dos mensajes independientes por un mismo camino, y se consigue modulando una misma portadora desfasada 90° entre ambos mensajes. Es decir, se forman dos canales ortogonales en el mismo ancho de banda de transmisión, mejorando la eficiencia

espectral [Haykin, 2001].

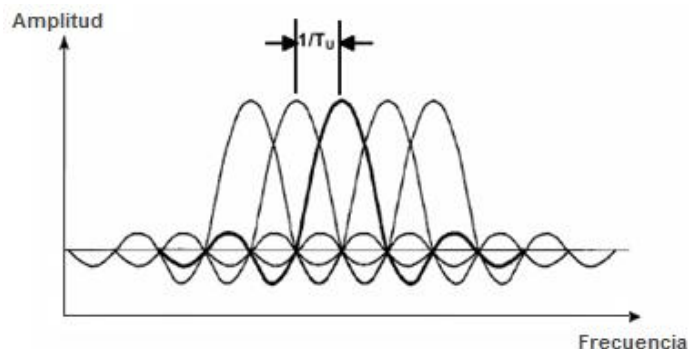
## 1.6 MODULACIÓN OFDM

*Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) es una técnica de modulación basada en la multiplexación por división de frecuencia. OFDM emplea varias portadoras ortogonales entre sí (ver **Fig. 1.4**), lo que permite que el espectro entre ellas se superponga y no exista interferencia aumentando la eficiencia del uso del espectro debido a que no se utilizan bandas de separación entre portadoras [Fischer, 2008].

OFDM divide el flujo de bits entre un gran número de portadoras, de tal forma que cada una manipule una cantidad reducida de bits (símbolos) con respecto al flujo de bits total. Estas portadoras son moduladas por una secuencia de símbolos producto de una modulación digital en banda base (ejemplo, 64QAM). Como cada portadora ocupa un pequeño ancho de banda, dentro de los 6 MHz, 7 MHz u 8 MHz de un canal RF, la duración de los símbolos ( $T_U$ ) aumenta con respecto a la modulación con una sola portadora. De esta manera se consigue una señal mucho más robusta frente a interferencias, selectivas en frecuencia, producidas por múltiples trayectos, ya que los retardo de los múltiples trayectos son relativamente cortos comparados al tiempo  $T_U$ .

Un sistema OFDM toma un flujo de datos y lo divide en  $N$  flujos paralelos, cada uno a una velocidad de transmisión de  $1/N$  de la original. Luego cada flujo modula a una de las portadoras y es combinado usando la transformada rápida inversa de Fourier (IFFT, *Inverse Fast Fourier Transform*). El número de portadoras que se tienen corresponde con el número de puntos que van a ser procesados en el algoritmo de la IFFT, como resultado de esto se obtiene la señal a transmitir, en el dominio del tiempo. Por ejemplo, si se utiliza un sistema con cien (100) portadoras y se transmite un flujo de datos total de 1 Mbps, este es convertido en cien (100) flujos de 10 Kbps. Estos flujos de datos paralelos más lentos, provocan que la duración de cada símbolo aumente en un factor de 100. La separación en frecuencia de las portadoras será el inverso de la duración  $T_U$  de los símbolos, con lo que la posición de las portadoras en el espectro coincide con los nulos de las portadoras adyacentes, esto indica la

condición de portadoras ortogonales, y de esta manera se consiguen una mínima interferencia inter-simbólica (ISI, *Intersymbol Interference*).



**Fig. 1.4: Portadoras ortogonales OFDM**

El número de portadoras no tiene incidencia sobre el flujo de datos total, ya que si son pocas portadoras se transmite más información en cada portadora, al contrario si son muchas portadoras se transmite menos información en cada una de ellas.

### 1.6.1 Intervalo de guarda

El intervalo de guarda ( $\Delta$ ) se agrega a la duración  $T_U$  de los símbolos, lo que da un nuevo tiempo de símbolo igual a;  $T_S = T_U + \Delta$ . La finalidad del intervalo de guarda es hacer la señal más robusta frente a señales retardadas (ecos) provenientes de otros transmisores, que crean interferencias debido a los múltiples trayectos de las mismas. Si la señal se recibe por dos caminos distintos con un retardo entre ellos, siempre que este retardo no supere al tiempo  $\Delta$ , no se producirán interferencias inter-simbólicas y se podrá decodificar la señal exitosamente [Fischer, 2008].

El problema del intervalo de guarda, es que reduce la capacidad del canal o eficiencia espectral ya que se transmiten muestras que no llevan información útil. Pero es de gran importancia en ambientes donde está presente un efecto fuerte de múltiples trayectos de la señal.

## CAPITULO 2

# ANÁLISIS DE LOS ESTÁNDARES DE TELEVISIÓN DIGITAL

### 2.1 ATSC

ATSC (*Advanced Television Systems Committee*) es un sistema de televisión avanzado desarrollado en los Estados Unidos y patrocinado por la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC, *Federal Communications Comision*). El estándar fue desarrollado por un consorcio de empresas llamado *Grand Alliance*, y fue adoptado el 16 de Septiembre de 1995 bajo la sigla A/53 [Marianov, Oberli y Rios, 2006].

ATSC fue creado principalmente para la televisión gratuita de alta definición. Sin embargo, también permite la transmisión de múltiples programas en formato SDTV e información adicional tal como comunicación interactiva. Se basa en un sistema para transmisión de video, audio y datos transportados a una velocidad de transmisión de 19,4 Mbps a través de un canal convencional de 6 MHz de ancho de banda. ATSC utiliza la modulación digital 8-VSB (*Vestigial Side Band*) con ocho (08) niveles, para adecuar el flujo de bits al canal RF.

ATSC posee dos (02) formatos principales de resolución: HDTV y SDTV. Dentro de estos formatos se derivan a su vez distintos tipos de resolución dependiendo de la cantidad de líneas visibles y pixeles por línea. El más sencillo incluye los formatos básicos provenientes de las normas de televisión analógica NTSC (*National Television System Committee*) y PAL (*Phase Alternating Line*), con 480 y 576 líneas visibles respectivamente y hasta 720 pixeles por línea.

También se tienen imágenes con resolución media de 720 líneas visibles y 960 píxeles por línea (razón de aspecto 4:3) y 1280 píxeles por línea (razón de aspecto 16:9). El nivel de mayor resolución tiene 1080 líneas con 1440 y 1920 píxeles por línea para razones de aspecto 4:3 y 16:9, respectivamente [Marianov, Oberli y Ríos, 2006]. Los tipos de resolución son resumidos en la **Tabla 2.1**.

**Tabla 2.1: Resolución en TDT del estándar ATSC**

<b>Líneas Verticales</b>	<b>Píxeles por Línea</b>	<b>Razón de Aspecto</b>
1080	1920, 1440	16:9, 4:3
720	1280, 960	16:9, 4:3
576	720	16:9, 4:3
480	720	16:9, 4:3
480	640	4:3

ATSC fue diseñado para tolerar la interferencia proveniente de señales analógicas, ruido impulsivo, ruido de fase (proveniente de los osciladores de los receptores) y efecto moderado de múltiples trayectorias. Presenta problemas en ambientes con un gran efecto de múltiples trayectorias, como lo es el centro de ciudades con muchos edificios altos que obstruyen la antena transmisora, requiriendo el uso excesivo de filtros ecualizadores en los receptores. Además ATSC no permite las transmisiones jerárquicas [Bouchard y Wu, 2000].

### **2.1.1 Codificación de video**

Para la codificación de video el ATSC utiliza la norma del estándar MPEG-2, el cual fue explicado en el capítulo anterior [Marianov, Oberli y Ríos, 2006].

### **2.1.2 Codificación de audio**

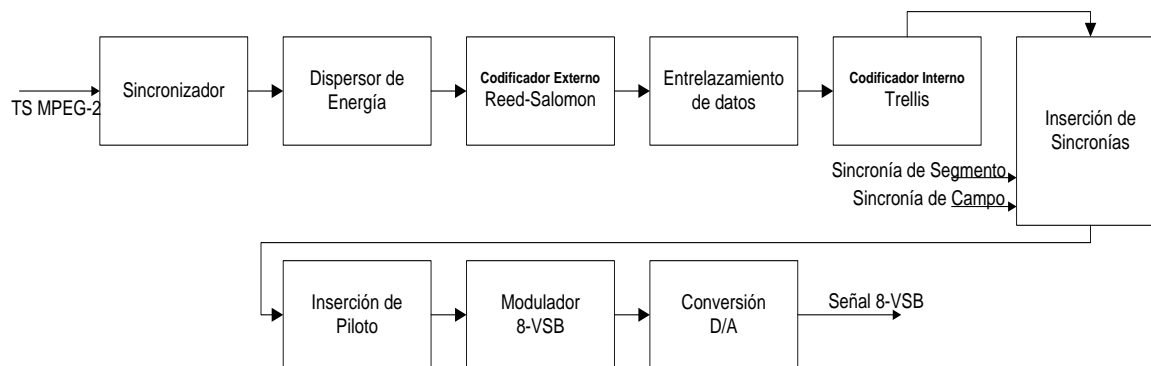
El estándar ATSC utiliza la norma de compresión de audio digital, *Dolby Digital* (AC-3) propiedad de los laboratorios Dolby, cuyo método es el que actualmente se utiliza en las salas de cine, el *Dolby Surround Sound* [Marianov, Oberli y Ríos, 2006].

El audio de cada canal está limitado a un ancho de banda de 20 kHz, con excepción del

canal de *subwoofer*, que está limitado a 120 Hz. De esta manera, todos los flujos elementales de audio son multiplexados en un TS MPEG-2 junto con los de video. Dentro de estos TS se puede incluir, además del servicio de audio principal en varios idiomas, el audio completo de una señal de video, es decir, diálogos, música, efectos especiales, servicios especiales para gente con discapacidades visuales y auditivas, etc. Todo ello, siempre y cuando la velocidad de transmisión no sea superior a 448 kbps.

### 2.1.3 Codificación de canal y modulación

A los paquetes de transporte MPEG-2 se le somete a una codificación de canal para que el receptor sea capaz de corregir posibles errores en la transmisión. Después de dicha codificación el flujo de bits es modulado y transmitido por el canal RF. El diagrama de bloques de la **Fig. 2.1** muestra las etapas de este proceso [Soprano, 2002].



**Fig. 2.1: Proceso de codificación de canal y modulación del estándar ATSC**

#### a) Sincronización de datos

Antes de comenzar la codificación de canal, se deben sincronizar los circuitos internos del modulador con el TS MPEG-2 de entrada. Esto requiere conocer el principio y el final de los paquetes de transporte MPEG-2, los cuales poseen para este fin, el primer byte de sincronismo de los 188 bytes totales que lo componen. Una vez ubicado el byte de sincronismo, este se elimina y es remplazado por la sincronía de segmento en otra etapa del proceso [Marianov, Oberli y Ríos, 2006].



### **b) Dispersor de energía**

El dispersor de energía se encarga de distribuir aleatoriamente la señal. Esto se logra multiplicando los bits que la conforman por una secuencia binaria pseudo-aleatoria. El resultado de la multiplicación es una señal totalmente aleatoria muy parecida al ruido, lo cual permite que la energía de la señal se distribuya uniformemente en el espectro utilizando los 6 MHz más eficientemente [Marianov, Oberli y Ríos, 2006].

### **c) Codificación *Reed-Solomon***

La codificación *Reed-Solomon* es una técnica para la corrección progresiva de errores (FEC, *Forward Error Correction*), debido a que no se necesita retransmitir la señal cuando se producen errores, sino que el receptor es capaz de corregirla por sí mismo. La codificación *Reed-Solomon* se aplica al flujo entrante de bits con el fin de hacer la señal más robusta contra los errores producidos durante su transmisión. El codificador toma los 187 bytes y les agrega al final 20 bytes adicionales de paridad formando paquetes de 207 bytes. El receptor compara los bytes recibidos con los bytes de paridad para determinar si han ocurrido errores y busca el paquete que mejor corresponda con los bytes de paridad recibidos, es decir, el receptor compara los byte de paridad y de esa forma busca el paquete que, con mayor probabilidad, ha sido transmitido. El esquema de codificación *Reed-Solomon* utilizado en el estándar ATSC es el código RS (207, 187,  $t = 10$ ), que es capaz de corregir hasta 10 bytes erróneos por paquete [Soprano, 2002].

### **d) Entrelazamiento de datos (*Data Interleaver*)**

El dispositivo de este bloque tiene como objetivo principal dar protección a la señal cuando se producen ráfagas de errores. Funciona dispersando el paquete de 207 bytes en el tiempo por medio de registros de memoria o buffers que dispersan el paquete de datos MPEG-2 en un rango aproximado de 4,5 ms. El dispositivo es del tipo convolucional y los bytes de datos que entran al dispositivo, se dividen en ramas y pasan por un número determinado de registros, diferente para cada rama, obteniéndose a la salida paquetes con la misma longitud, pero

formados por trozos pequeños de muchos paquetes [Soprano, 2002].

Cuando se producen interferencias en el canal de transmisión produciendo pérdidas de unos milisegundos en la señal, es posible que se pierda un paquete MPEG-2 completo. Debido a que luego de su entrelazamiento en el tiempo un paquete está formado por trozos pequeños de muchos otros paquetes, se perderán unos pocos bytes de esos muchos paquetes en lugar de perderse todos los bytes de un mismo paquete. De esta forma el decodificador *Reed-Solomon* podrá corregir los errores y recuperar los datos transmitidos [Soprano, 2002].

#### **e) Codificador *Trellis***

La codificación *trellis* forma parte también de la corrección progresiva de errores. Su objetivo es brindar una segunda capa de protección de errores y forma parte de los códigos convolucionales, a diferencia de la codificación *Reed-Solomon* que forma parte de los códigos de bloque. En la codificación *trellis* de cada byte se forman cuatro (04) palabras de 2 bits cada una. Cada palabra es comparada con las palabras de 2 bits anteriores mediante operaciones matemáticas, generando a la salida del codificador una palabra de 3 bits que describe la transición de la palabra anterior de 2 bits a la actual. Las palabras de 3 bits son los símbolos que serán transmitidos en los ocho (08) niveles de la modulación 8-VSB [Soprano, 2002].

En el receptor se utiliza el algoritmo de *Viterbi*. De esta manera, cuando el decodificador recibe símbolos con errores, usa criterios como la distancia mínima o mínima discrepancia para rastrear la historia del símbolo entrante y seleccionar el que tenga la mayor probabilidad de ser el correcto [Haykin, 2001].

#### **f) Inserción de sincronías**

La inserción de sincronías se hace con la finalidad de ayudar al receptor a demodular, decodificar y ubicar correctamente la señal transmitida, aun en ambientes con grandes interferencias sobre la señal. Hay dos (02) tipos de sincronías: la sincronía de campo y la sincronía de segmento. A la salida del codificador *trellis*, los paquetes de 207 bytes se han

convertido en un flujo de 828 símbolos, cada uno con un nivel de amplitud de los ocho (08) posibles, formando un segmento de datos. La sincronía de segmento, la cual reemplaza el byte de sincronismo que inicialmente fue eliminado de los paquetes MPEG-2, consta de 4 símbolos que se agregan al comienzo de cada segmento y que toman la forma de pulsos que saltan entre los niveles +5 y -5. Este tipo de sincronía aparece cada 832 símbolos, y es usada por el receptor para sincronizar su reloj y muestrear la señal recibida [Soprano, 2002].

La sincronía de campo aparece cada 313 segmentos y tiene un patrón conocido de símbolos, formando un segmento completo. Es usada por el receptor para ajustar el ecualizador y eliminar posibles fantasmas en la imagen.

#### **g) Inserción de la señal piloto**

La señal piloto se le agrega a la señal que se va a transmitir cuando esta se encuentra en banda base, con un pequeño *offset* de corriente continua. Esto proporciona una señal a los circuitos PLL (*Phase Locked Loops*), que es independiente de los datos transmitidos y a la cual pueden engancharse.

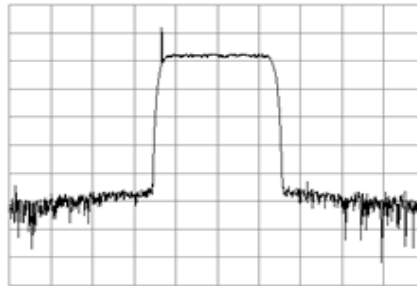
#### **h) Modulación de amplitud**

En este punto, la señal banda base de ocho niveles es modulada en amplitud sobre una portadora de frecuencia intermedia. El espectro de la señal resultante, presenta gran redundancia en sus lóbulos laterales, por esta razón la señal ocupa mucho espacio y todavía no puede ser transmitida por un canal de 6 MHz de ancho de banda. Esta redundancia puede ser eliminada con un filtro de *Nyquist*, sin que se elimine información útil. El filtro de *Nyquist* es usado para eliminar la mayor parte de la banda lateral inferior en la modulación VSB [Marianov, Oberli y Ríos, 2006].

#### **i) Señal 8-VSB y conversión D/A**

La señal obtenida en frecuencia intermedia a la salida del filtro de *Nyquist*, pasa por un

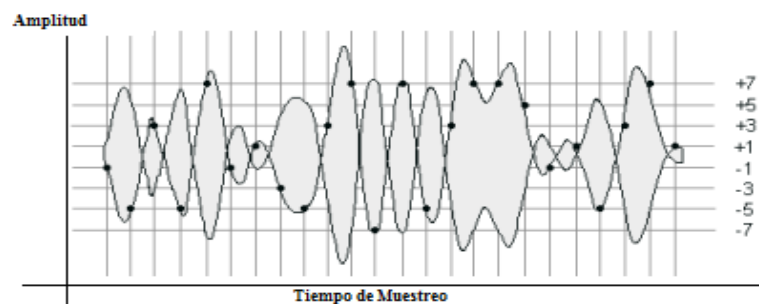
convertido D/A (digital/analógico) para ser llevada a la frecuencia del canal asignado, UHF o VHF, por medio de circuitos de oscilador-mezclador-filtro. Por último, la señal por medio de un amplificador de potencia, alcanza los valores de potencia requeridos para ser transmitida y es filtrada nuevamente antes de alimentar la antena transmisora. La **Fig. 2.2** muestra el espectro de la señal RF, destacando la señal piloto y la casi completa eliminación de la banda lateral inferior [Soprano, 2002].



**Fig. 2.2:** Espectro de la señal RF

#### 2.1.4 Receptor 8-VSB

En el receptor se aplica de manera inversa las etapas que se acaban de describir, hasta obtener los paquetes originales MPEG-2. Uno de los problemas en el sistema 8-VSB es su debilidad ante efectos de múltiples trayectos que obligan al receptor a contar con ecualizadores cada vez más desarrollados. Sin embargo, la tecnología puede considerarse cerca del límite pues en unos diez años se han desarrollado unas cinco (05) generaciones, buscando mejorar la recepción. La **Fig. 2.3** presenta el muestreo de la señal en el receptor para recuperar los niveles de los símbolos 8-VSB.



**Fig. 2.3:** Niveles de la señal en los tiempos de muestreo en el receptor

## 2.2 DVB-T

El estándar de TDT de origen europeo DVB (*Digital Video Broadcasting*), fue establecido por el ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) durante los años 90 y consta de un conjunto de aproximadamente 30 especificaciones y documentos técnicos que cubren la gran variedad de aspectos relacionados con la televisión digital [Fischer, 2008].

DVB-T es un estándar muy flexible que utiliza como sistema de modulación y codificación de canal a COFDM (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex*). Permite la configuración de varias velocidades de transmisión, variando distintos parámetros según las necesidades del operador de TV. Estos parámetros son [Prieto y Al-Majdalawi, 2006]:

- Los esquemas para modular las portadoras OFDM (QPSK, 16-QAM, 64-QAM).
- Los modos de transmisión según el número de portadoras moduladas: 2k (1705 portadoras) y 8K (6817 portadoras).
- Las relaciones de la codificación interna (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8).
- Las longitudes del intervalo de guarda (1/4, 1/8, 1/16, 1/32).
- Modulación jerárquica y no jerárquica.

DVB-T permite la modulación jerárquica que consiste en dividir el flujo de bits en dos (02) partes: uno de alta prioridad (HP, *High Priority*) y otro de baja prioridad (LP, *Low Priority*). De esta manera el operador de TV puede configurar ambos flujos por separado. Por ejemplo, se puede asignar el flujo HP para SDTV y el LP para HDTV [Marianov, Oberli y Ríos, 2006].

La calidad de la imagen está muy relacionada a la velocidad de transmisión del flujo de bits, y la misma varía dependiendo de la configuración dada por el operador de TV. Como ya se mencionó, el estándar DVB-T permite la configuración de varios parámetros para lograr distintas velocidades de transmisión. La **Tabla 2.2** muestra los tipos de configuraciones y las velocidades en Mbps respectivas a cada configuración.

### 2.2.1 Codificación de video

La codificación de video es realizada por medio del estándar MPEG-2, al igual que el estándar ATSC. Produce múltiples resoluciones que van desde la alta definición hasta la usada en los terminales portátiles, pasando por la definición estándar.

**Tabla 2.2: Velocidad de transmisión en Mbps del estándar DVB-T**

Velocidad de Transmisión en Mbps													
Modulación	FEC *	BW = 6 MHz				BW = 7 MHz				BW = 8 MHz			
		Intervalo de Guarda				Intervalo de Guarda				Intervalo de Guarda			
		1/4	1/8	1/16	1/32	1/4	1/8	1/16	1/32	1/4	1/8	1/16	1/32
QPSK	1/2	3,7	4,1	4,4	4,5	4,4	4,8	5,1	5,3	4,98	5,53	5,85	6,03
	2/3	4,97	5,5	5,9	6,03	5,8	6,5	6,8	7,04	6,6	7,4	7,8	8,04
	3/4	5,6	6,2	6,6	6,9	6,5	7,3	7,7	7,9	7,5	8,3	8,8	9,05
	5/6	6,2	6,9	7,3	7,6	7,3	8,1	8,5	8,8	8,3	9,2	9,8	10,1
	7/8	6,5	7,3	7,6	7,9	7,6	8,5	8,97	9,2	8,7	9,7	10,3	10,1
16-QAM	1/2	7,5	8,3	8,9	9,04	8,7	9,7	10,3	10,6	9,95	11,1	11,7	12,1
	2/3	9,9	11,1	11,7	12,1	11,6	12,9	13,7	14,1	13,3	14,8	15,6	16,1
	3/4	11,2	12,4	13,3	13,6	13,1	14,5	15,4	15,8	14,9	16,6	17,6	18,1
	5/6	12,4	13,8	14,6	15,1	14,5	16,1	17,1	17,6	16,5	18,4	19,5	20,1
	7/8	13,1	14,5	15,4	15,8	15,2	16,9	17,9	18,5	17,4	19,3	20,4	21,1
64-QAM	1/2	11,2	12,4	13,2	13,6	13,1	14,5	15,3	15,8	14,9	16,6	17,6	18,1
	2/3	14,9	16,6	17,6	18,1	17,4	19,4	20,6	21,1	19,9	22,1	23,4	24,1
	3/4	16,8	18,7	19,7	20,4	19,6	21,8	23,1	23,7	22,4	24,9	26,4	27,1
	5/6	18,7	20,7	21,9	22,6	21,8	24,2	25,6	26,4	24,9	27,7	29,3	30,2
	7/8	19,6	21,8	23,1	23,8	22,9	25,4	26,9	27,7	26,1	29,0	30,7	31,6

\*FEC: relación del código convolucional.

### 2.2.2 Codificación de audio

La compresión del audio está dada también por el estándar MPEG-2. Puede manejar audio mono, estéreo, multilinguaje o *surround*. Maneja flujo de bits que van desde 32 Kbps a 384 Kbps. Posteriormente fue incorporado el sonido AC-3, debido a su popularidad.

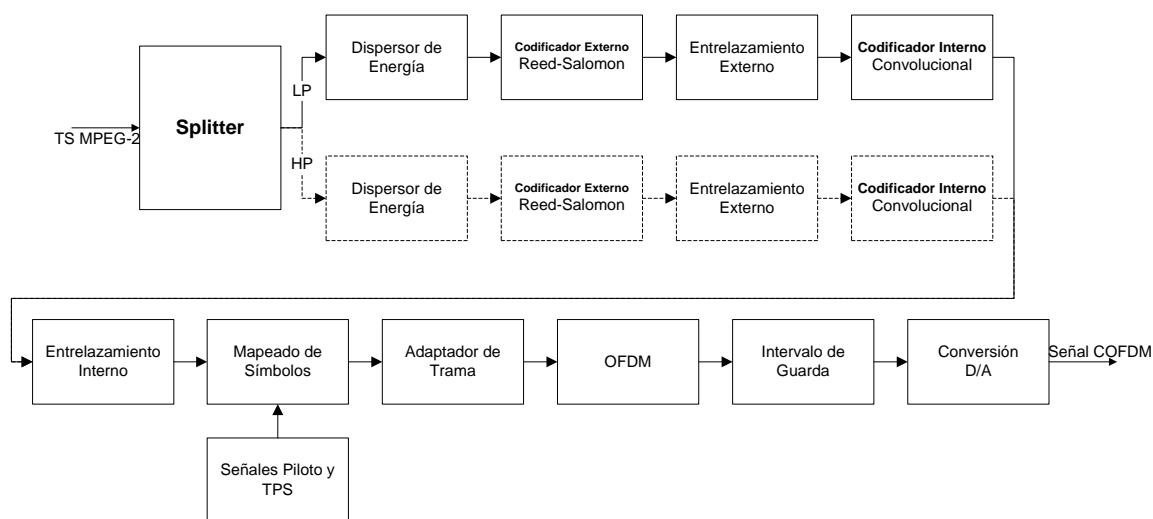
### 2.2.3 Modos de operación en la transmisión

El estándar DVB-T considera dos (02) modos de operación según el número de portadoras moduladas en la señal OFDM, estos son: a) modo 2k con 2048 portadoras, y b) modo 8k con

8192 portadoras. En la práctica sólo se modulan 1705 portadoras en el modo 2k y 6817 en el modo 8k, debido a que se trabaja con TS MPEG-2 y algunos símbolos de control que dan lugar a 1705 (2k) ó 6817 (8k) símbolos a transmitir. Para un ancho de banda del canal de 8 MHz, DVB-T tiene un periodo de símbolo útil de 224  $\mu$ s para el modo 2K y 896  $\mu$ s para el modo 8K. Para cumplir con la condición de ortogonalidad se tiene como espacio entre portadoras;  $1/224 \mu$ s = 4464 Hz (modo 2K) y  $1/896 \mu$ s = 1116 Hz (modo 8K) [Casas G., 2009].

#### 2.2.4 Codificación de canal y modulación

El TS MPEG-2 que entra al modulador puede dividirse en dos ramas en las etapas que conforman la codificación de canal. De esta manera se tiene la posibilidad de combinar jerárquicamente hasta dos (02) TS en una sola transmisión digital (ver **Fig. 2.4**). Cada rama representa un TS según su nivel de prioridad.



**Fig. 2.4: Proceso de codificación de canal y modulación del estándar DVB-T**

Un TS de HP es de baja velocidad y por lo tanto de baja calidad, lo cual es compensado por una codificación robusta frente a las interferencias del canal de transmisión, y por una menor S/N necesaria para su recepción, lo que significa que su decodificación puede ser posible a distancias lejanas de la antena transmisora. Un TS de HP puede ser modulado con QPSK. Por otra parte, Un TS de LP puede ser modulado con 64-QAM. Este flujo de bits presenta una codificación de canal menos robusta, lo que significa una alta velocidad de transmisión,

pudiendo transmitir programas de HDTV pero con una S/N mayor. No es necesario usar los modos jerárquicos, también se puede transmitir un solo TS el cual será sometido de igual forma a todas las etapas del proceso [Prieto y Al-Majdalawi, 2006].

#### **a) Dispersión de energía**

Al igual que en ATSC, el objetivo de este bloque es evitar que en un flujo de bits hayan ciertas secuencias que se repitan con mayor frecuencia, debido a que esto provocaría la aparición de ciertos puntos de la constelación constantemente. Si estos puntos coincidieran se necesitaría mayor potencia para su transmisión y causaría gran desperdicio de potencia. Al dispersar el flujo de bits se logra un espectro radiado parecido al ruido [Fischer, 2008].

#### **b) Codificación externa *Reed-Solomon***

Al igual que en el estándar ATSC, se agregan al final del flujo de datos, unos bytes de paridad que sirven para corregir los errores de la transmisión. DVB-T utiliza un código *Reed-Solomon* (204, 188,  $t = 8$ ), que agrega 16 bytes de paridad y es capaz de corregir hasta 8 bytes erróneos.

#### **c) Entrelazamiento externo (*Byte Interleaver*)**

El código *Reed-Solomon* puede corregir un número limitado de errores consecutivos, lo cual implica que ante la aparición de una gran cantidad de errores consecutivos, el código no es efectivo. El entrelazamiento externo altera el orden de los paquetes de transporte formando nuevos paquetes con bytes de muchos otros paquetes, de modo que las ráfagas de errores introducidas por el canal no afecten tanto a la transmisión. Cuando estos paquetes se ordenen en la recepción, los errores se habrán distribuido, lo que ayudará a la corrección de errores que puede proporcionar la codificación *Reed-Solomon* [Fischer, 2008].

#### **d) Codificación convolucional**

La codificación se realiza a nivel de bit y utiliza combinaciones en módulo dos de la señal de



origen, lo cual proporciona a la salida flujos de bits mayores dependiendo de la relación de codificación elegida. Se emplea un código convolucional punzado que puede operar a distintas relaciones ( $1/2$ ,  $2/3$ ,  $3/4$ ,  $5/6$  y  $7/8$ ), dando así flexibilidad entre la velocidad de transmisión y el nivel de protección. La relación de codificación es determinada por el operador de TV y puede modificarla libremente en el tiempo. La relación  $7/8$  agrega 1 bit de redundancia por cada 7 bits de información, y proporciona el grado de protección más débil a los datos, pero tiene una mayor capacidad de transporte. La ventaja es que 7 de cada 8 bits transmitidos contienen información, pero la cobertura es reducida porque se requiere una señal fuerte para lograr una decodificación sin errores. En el otro extremo se encuentra la relación  $1/2$ , que otorga el máximo grado de protección a los datos. Con esta relación se puede decodificar la señal a distancias mayores donde la S/N es débil, pero sacrifica capacidad de transporte puesto que de cada 8 bits transmitidos sólo 4 portan información útil [Prieto y Al-Majdalawi, 2006].

#### **e) Entrelazamiento interno (*Bit Interleaver*)**

El entrelazamiento interno consta de dos (02) partes. La primera se basa en el entrelazado de bits que da lugar a un símbolo formado por bits no consecutivos. En transmisiones jerárquicas los símbolos son formados por grupos de bits del flujo de HP y grupos del flujo de LP, ejemplo, 2 bits del flujo HP y 2 bits del flujo LP (en el caso de 16-QAM jerárquico). La segunda parte es el entrelazado de símbolos el cual se ve afectado por el modo de transmisión. Dependiendo del modo de transmisión utilizado la profundidad de entrelazado será de 1512 posiciones en el modo 2K o 6048 en el modo 8K; profundidad de entrelazado quiere decir la cantidad de símbolos que se son entrelazados por vez [Fischer, 2008].

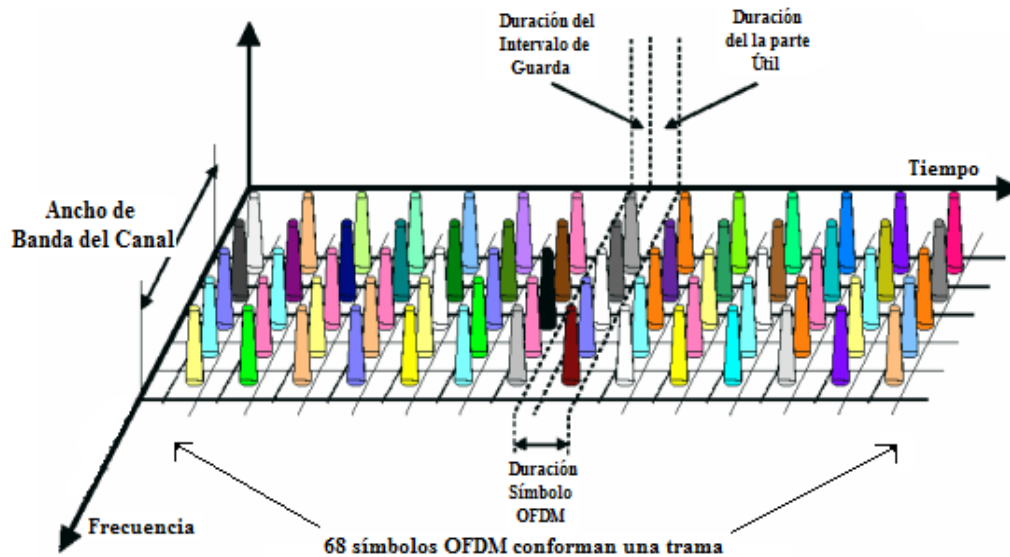
#### **f) Mapeado de los símbolos**

Aunque se utilizo la palabra símbolo en la etapa anterior, en realidad es en esta etapa donde los grupos de bits se convierten en símbolos. Los grupos de bits a la salida del entrelazamiento interno son mapeados en dos (02) señales: fase y cuadratura (I y Q), las cuales son necesarias para formar la constelación del tipo de modulación que se emplee y que más adelante modularán a las portadoras de la señal OFDM. Las constelaciones contempladas en este

estándar son: QPSK (*Quadrature Phase-Shift-Keying*), 16-QAM, 64-QAM.

### g) Adaptador de trama

El adaptador de trama organiza la señal que se va a transmitir con la finalidad de añadirle las señales pilotos y poderlas distribuir de manera adecuada. Cada trama está formada por 68 símbolos OFDM, y a su vez, cada símbolo OFDM (ver **Fig. 2.5**) está compuesto por 1705 y 6817 portadoras para los modos 2k y 8k respectivamente. Una trama tiene una duración de  $68 \cdot T_s$ . Por su parte, una súper-trama consiste en 4 tramas y una mega-trama consiste en 32 tramas para el modo 2k y 8 tramas en el modo 8k. La cantidad de símbolos OFDM en una trama está relacionada directamente con los TS MPEG-2 a la entrada del modulador y los bits redundantes agregados en la codificación de canal [Prieto y Al-Majdalawi, 2006].



**Fig. 2.5: Formación de tramas con símbolos OFDM**

### h) Señales piloto

De las 1705 y 6817 portadoras, de los modos 2k y 8k respectivamente, 193 y 769 portadoras son usadas para señales pilotos que se añaden a las tramas OFDM. Los tres (03) tipos de señales pilotos son:

- Portadoras Piloto Continuas: para sincronización del receptor en fase y frecuencia.
- Portadoras Piloto Dispersas: para la regeneración del canal en amplitud y fase, en el receptor. Estiman en canal de transmisión.
- Portadoras TPS (*Transmisión Parameter Signalling*): llevan la información de los parámetros usados en la transmisión (ejemplo: el modo de transmisión, 2k ó 8k).

#### **i) Señal OFDM**

En esta etapa, se aplica la IFFT a la señal para pasar del dominio de la frecuencia al dominio del tiempo. El número de puntos procesados en el algoritmo de la IFFT es igual al número de portadoras moduladas. Los puntos restantes se completan con ceros ya que estos al ser vistos en la frecuencia no afectan el ancho de banda final de la señal. Esto es debido a que en realidad se modulan 1705 y 6817 portadoras en los modos 2k y 8k respectivamente, y el número de puntos procesados debe ser potencia de dos (02), es decir, 2048 puntos para el modo 2k y 8192 puntos para el modo 8k.

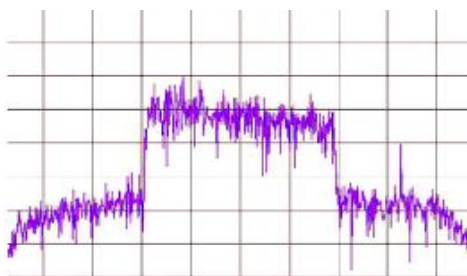
El modo utilizado también tiene relación con la cobertura lograda y el tipo de servicio ofrecido; el modo 2k es más adecuado para recepción en terminales móviles debido a que la duración menor de cada símbolo OFDM permite variaciones del canal más rápidas. Por su parte, la desventaja de usar el modo 2k es que el radio de cobertura es menor que para el modo 8k, produciendo altos costos de implementación.

#### **j) Intervalo de guarda**

En DVB-T el intervalo de guarda es una continuación cíclica del la parte útil del símbolo, y se inserta delante del mismo. Cuando llega el símbolo el receptor ignora el intervalo de guarda al momento de decodificar la señal. DVB-T considera cuatro (04) posibles valores para la duración del intervalo de guarda, los cuales son:  $1/4$ ,  $1/8$ ,  $1/16$  y  $1/32$  de la duración de la parte útil del periodo de símbolo de cada uno de los dos (02) modos de transmisión (2k y 8k). En el modo 2k la duración de la parte útil del símbolo es 224  $\mu$ s, y en el modo 8k es 896  $\mu$ s.

### k) Señal de salida

Finalmente la señal pasa por un convertidor D/A que la prepara para ser transmitida por el canal RF. Posteriormente esta señal pasa por un amplificador de potencia que es requerido para alcanzar el nivel de señal para la transmisión. Al pasar a través del amplificador, el cual es un dispositivo que posee cierta distorsión de tipo no lineal, se producen degradaciones en la señal OFDM. La **Fig. 2.6** muestra el espectro de una señal DVB-T.



**Fig. 2.6:** Espectro de la señal RF

#### 2.2.5 Receptor COFDM

En el receptor se emplea el proceso inverso para conseguir los TS que contienen la información de audio, video y datos de los programas de televisión. Una de las etapas principales del receptor es compensar la degradación introducida por el canal, debido a que no existen canales perfectos. El intervalo de guarda elimina la interferencia ISI, y por medio de la información que llevan las señales pilotos se puede compensar la acción del canal. Si el número de portadoras transmitidas es suficientemente grande, la influencia del canal para cada portadora se puede expresar como una atenuación y una fase. El modo 8k es mejor para estimar y compensar la influencia del canal de transmisión sobre la señal transmitida.

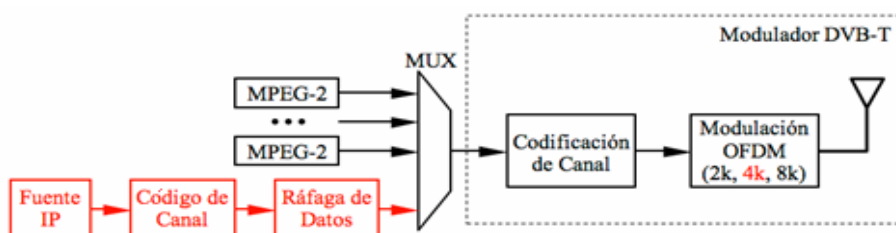
#### 2.2.6 DVB-H

DVB-H (*Digital Video Broadcasting Handheld*) es un estándar abierto desarrollado por DVB para la transmisión a dispositivos móviles y portátiles, como una forma de complementar el estándar DVB-T. DVB-H hace compatible la recepción de la TDT en receptores portátiles

alimentados con baterías.

DVB-H fue diseñado originariamente para trabajar en la banda UHF entre 470 y 862 MHz, y proporciona capacidades de 5 a 10 Mb/s en canales de 8 MHz. Se basa en datagramas UDP (*User Datagram Protocol*) que van encapsulados en la parte útil de un paquete IP según un multiprotocolo de encapsulación (MPE, *Multiprotocol Encapsulation*). En DVB-H la transmisión se realiza por medio de ráfagas según el concepto de *Time-slicing*, que significa que los datos de un programa de TV particular son transmitidos a los receptores portátiles en ráfagas mediante intervalos de tiempo.

Los datagramas UDP son multiplexados en un TS MPEG-2 (ver Fig. 2.7), junto con los distintos programas de TDT. Durante cada ráfaga las señales MPEG-2 ceden el ancho de banda a la señal DVB-H, lo que permite ahorrar batería a los terminales móviles ya que solo decodifican la información de interés.



**Fig. 2.7: Ráfagas de datos multiplexada junto con los demás paquetes MPEG-2**

Durante los períodos entre ráfagas, los terminales móviles desactivan sus circuitos de recepción y decodificación, o los pueden utilizar para conocer nuevas celdas DVB-H a medida que se aleja de la actual. Mientras está encendido el receptor, durante una ráfaga de datos, se reciben datos a gran velocidad que pueden almacenarse en un *buffer*. Se puede almacenar las aplicaciones descargadas o reproducir en vivo.

DVB-H, además de los modos 2k y 8k del estándar DVB-T, añadió el modo 4k (3409 portadoras moduladas). Este modo creado para la transmisión de televisión a dispositivos móviles o portátiles ofrece un compromiso entre el modo 2k y el modo 8k, ya que el modo 8k no se puede usar para transmisión móvil debido al poco espacio entre las portadoras y el de 2k

se puede usar pero la cobertura es muy reducida. Además, el modo 8K requiere más espacio en la memoria para los procesos de *data Interleaver*. Este espacio es utilizado en los modos 2k y 4k para un proceso de *Interleaver* más profundo [Fischer, 2008]. También el estándar propone el MPE-FEC (*Multi Protocol Encapsulation/Forward Error Correction*) que proporciona una sólida protección ante errores, haciendo a DVB-H un buena propuesta para transmisiones a dispositivos móviles. El problema es que requiere mucha más infraestructura de red que la existente para DVB-T. Es decir, mayores potencias de transmisión y un considerable mayor número de transmisores y repetidores (*gap-fillers*) [Faria y Henriksson, 2006].

#### a) DVB-SH

DVB-SH (*Digital Video Broadcasting – Satelital services for Handheld devices*) es una solución híbrida terrestre/satelital para la transmisión de televisión digital a terminales móviles. DVB-SH opera en la banda S la cual va desde los 2 GHz hasta los 4 GHz, haciendo posible la reutilización de los equipos, antenas y ubicaciones empleadas por los sistemas de tercera generación de telefonía celular, reduciendo considerablemente el costo del despliegue de la red terrestre. DVB-SH emplea un satélite geoestacionario junto con una red terrestre que proporciona el servicio en aquellas zonas donde la señal del satélite se ve muy degradada. Además, la red terrestre permite aumentar la capacidad del sistema. DVB-SH emplea señales OFDM en la red terrestre complementaria y señales OFDM o TDM (*Time Division Multiplexing*) en la transmisión vía satélite. La utilización de OFDM permite desplegar redes de frecuencia única SFN [Gonzálves y Cardona, 2006].

En la actualidad existen dos sistemas de difusión de TV móvil híbridos terrestre satelitales en funcionamiento, uno en Corea del Sur y otro en Japón. El sistema coreano está basado en S-DMB (*Satellite – Digital Multimedia Broadcasting*), mientras que el sistema japonés utiliza tecnología ISDB (*Integrated Services Digital Broadcasting*).

DVB-SH presenta dos arquitecturas de red:

- Arquitectura SH-A: tanto la componente satelital como la componente terrestre emplean señales OFDM.
- Arquitectura SH-B: la componente satelital emplea señales TDM mientras que la componente terrestre emplea señales OFDM.

### 2.3 ISDB-T

El estándar fue establecido por ARIB (*Association of Radio Industries and Businesses*) de Japón y es promovido en el mundo por el DiBEG (*Digital Broadcasting Experts Group*). ISDB (*Services Digital Broadcasting*) fue fundado en 1997 y conforma una familia de estándares para servicios terrestres, por cable y por satélite, de manera similar a DVB.

ISDB-T introduce el concepto de transmisión de banda segmentada (BST, *Band Segmented Transmission*), que consiste en dividir el canal RF otorgado para la televisión en 14 bandas o segmentos, permitiendo que cada segmento o grupo de segmentos puedan ser configurados de manera particular. Al igual que DVB-T utiliza la modulación COFDM, en este caso BST-OFDM, otorgando gran flexibilidad a los operadores de TV puesto que estos pueden configurar distintos parámetros como son: intervalo de guarda, relación de codificación convolucional, el tipo de mapeado de símbolos (QPSK, DQPSK, 16-QAM, 64-QAM), etc. En la **Tabla 2.3** se observa las distintas velocidades de transmisión, dependiendo de la configuración utilizada [Bouchard y Wu, 2000].

En ISDB-T es posible utilizar hasta tres (03) capas jerárquicas pudiendo configurarse los distintos parámetros de la transmisión (FEC, mapeado de símbolos, etc.), individualmente para cada capa. Al igual que DVB-T posee tres modos de transmisión, ellos son; 2k, 4k y 8k, y los símbolos que modulan las portadoras OFDM son mapeados usando QPSK, DQPSK, 16-QAM y 64-QAM. La principal diferencia, como ya se mencionó, es la división de la banda de 6 MHz en 14 segmentos, donde uno de ellos es dividido por la mitad y utilizado como banda de guarda en los extremos del canal. Los otros 13 segmentos son utilizados para transmitir los datos y tienen un ancho de banda de aproximadamente 430 KHz. Uno de los 13 segmentos es utilizado generalmente para la recepción móvil, técnica llamada *One-Seg* y forma parte de una

de las principales características del estándar así como sus cuatro (04) etapas de entrelazamiento (*Interleaver*). Los demás segmentos se pueden usar en programas de SDTV o HDTV, también en audio de alta calidad y datos según las tres capas jerárquicas [Comisión Nacional de Televisión, 2008].

**Tabla 2.3: Velocidad de transmisión del estándar ISDB-T**

Velocidad de Transmisión de un segmento y Velocidad Total en un canal de 6MHZ									
Modulación	FEC	Segmento (Kbps)				Total (Mbps)			
		Intervalo de Guarda				Intervalo de Guarda			
		1/4	1/8	1/16	1/32	1/4	1/8	1/16	1/32
QPSK DQPSK	1/2	280,85	312,06	330,42	340,43	3,651	4,056	4,295	4,425
	2/3	374,47	416,08	440,56	453,91	4,868	5,409	5,727	5,900
	3/4	421,28	468,09	495,63	510,65	5,476	6,085	6,443	6,638
	5/6	468,09	520,10	550,70	567,39	6,085	6,761	7,159	7,376
	7/8	491,50	546,11	578,23	595,79	6,389	7,099	7,517	7,744
16-QAM	1/2	561,71	624,13	660,84	680,87	7,302	8,113	8,590	8,851
	2/3	748,95	832,17	888,12	907,82	9,736	10,818	11,454	11,801
	3/4	842,57	936,19	991,26	1021,30	10,953	12,170	12,886	13,276
	5/6	936,19	1040,21	1101,40	1134,78	12,170	13,522	14,318	14,752
	7/8	983,00	1092,22	1156,47	1191,52	12,779	14,198	15,034	15,489
64-QAM	1/2	842,57	936,19	991,26	1021,30	10,953	12,170	12,886	13,276
	2/3	1123,43	1248,26	1321,68	1361,74	14,604	16,227	17,181	17,702
	3/4	1263,86	1404,29	1486,90	1531,95	16,430	18,255	19,329	19,915
	5/6	1404,29	1560,32	1652,11	1702,17	18,255	20,284	21,447	22,128
	7/8	1474,50	1638,34	1734,71	1787,28	19,168	21,298	22,551	23,234

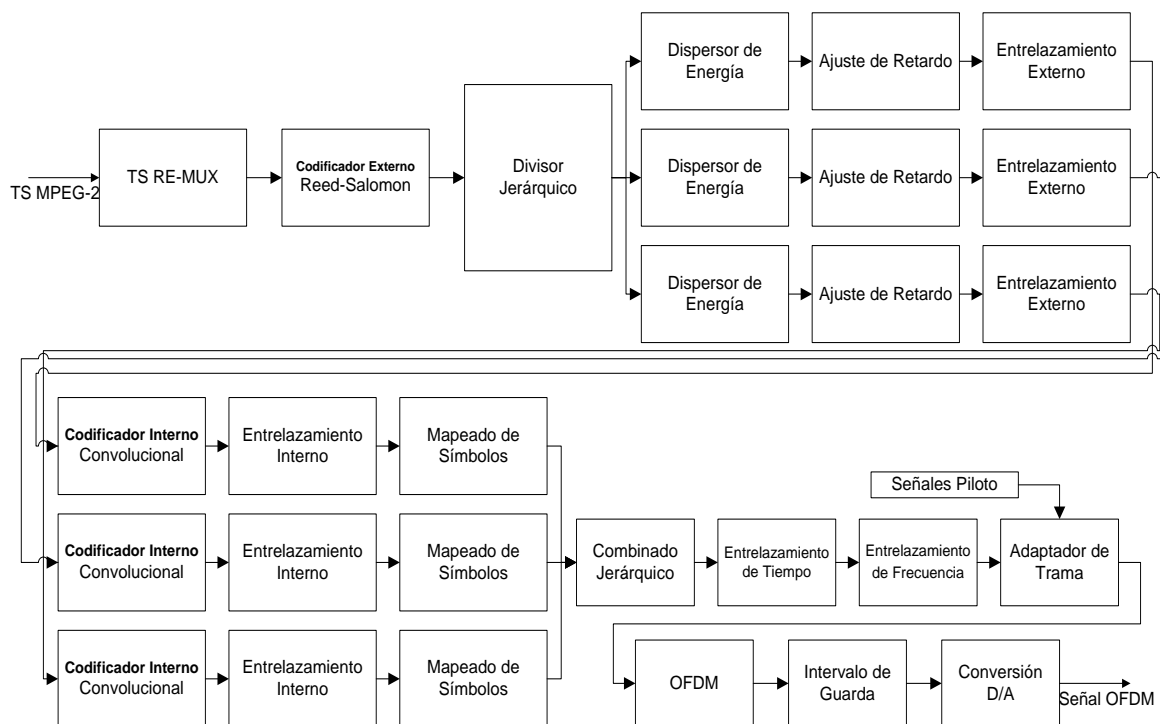
La codificación de audio y video, está basada en los estándares MPEG al igual que en DVB-T, pudiendo soportar otros formatos, por ejemplo, MPEG-4. La entrada al proceso de codificación de canal y modulación son TS MPEG-2, iguales a lo de los estándares previamente analizados.

### 2.3.1 Codificación de canal y modulación

La Fig. 2.8 muestra el proceso de codificación de canal y modulación, el cual es muy parecido al del estándar DVB-T. Por esta razón, no serán explicadas todas las etapas del proceso. En su defecto se explicarán solo las etapas diferentes entre ambos estándares. ISDB-T presenta dos



(02) características principales como son; tres (03) capas jerárquicas dos (02) etapas más de entrelazamiento, comparado con DVB-T [Marianov, Oberli y Ríos, 2006].



**Fig. 2.8: Proceso de codificación de canal y modulación del estándar ISDB-T**

### a) Re-multiplexador

El Re-multiplexador se encarga de preparar los datos para ser divididos jerárquicamente más adelante (máximo 3 capas). Funciona tomando el TS original a la entrada de todo el proceso (Ver **Fig. 2.8**), el cual está formado por paquetes de transporte que llevan información de múltiples programas de TV y servicios, para ordenar y re-multiplexar los paquetes que lleven únicamente información de uno de los tres servicios posibles a ser transmitidos jerárquicamente. El divisor jerárquico se encarga de alimentar una de las tres capas jerárquicas con estos paquetes re-multiplexados. De igual forma sucede para las otras dos capas jerárquicas. Luego estos paquetes son combinados con los paquetes re-multiplexados de las otras capas jerárquicas, formando en un nuevo TS que alimenta al modulador OFDM [Marianov, Oberli y Ríos, 2006].

### **b) Ajuste de retardo**

Al estar divididos los segmentos en capas jerárquicas y ser codificados de maneras diferentes, los paquetes de transporte pierden la sincronización. Por esta razón, se debe introducir un retardo en cada capa jerárquica para volver a sincronizar los paquetes de transporte [Marianov, Oberli y Ríos, 2006].

### **c) Combinado jerárquico**

Las tres capas jerárquicas, dependiendo de los servicios que se vayan a proporcionar en cada una de ellas, usarán un número determinados de segmentos entre los 13 disponibles. El combinado jerárquico toma los paquetes de transporte a la salida de una de las tres capas jerárquicas y le asigna los segmentos que dicho servicio utilizará, y de igual manera para las otras capas.

### **d) Etapas de entrelazado**

La robustez del estándar ISDB-T está principalmente en sus cuatro etapas de entrelazado, dos (02) más que en el estándar DVB-T. El entrelazado logra que ante ráfagas de errores que se puedan presentar en la transmisión, las mismas queden distribuidas en el espectro de la señal y no afecten a grupos consecutivos de bits, haciendo más fácil la corrección de errores en el receptor. Los entrelazamientos externo e interno fueron ya explicados en el estándar anterior. Por su parte, ISDB-T incorpora el entrelazamiento en el tiempo y en la frecuencia que serán explicados a continuación.

### **Entrelazamiento de tiempo (*Time Interleaver*)**

Este tipo de entrelazamiento distribuye en el tiempo los símbolos presentes a la salida del mapeado de símbolos (ver **Fig. 2.9**). Con esto se logra mejorar la robustez en contra del ruido impulsivo y mejora notablemente la robustez del sistema en recepciones móviles o portátiles. El ruido impulsivo es el factor dominante en la degradación de la señal en un área urbana.

### Entrelazamiento de frecuencia (*Frequency interleaver*)

El objetivo de esta etapa es mejorar la robustez del sistema frente a desvanecimientos selectivos en frecuencia causados por los múltiples trayectos de la señal. El entrelazado de frecuencias se encarga de rotar las portadoras para de esta forma distribuir aleatoriamente las ráfagas de errores (ver **Fig. 2.9**). Se realiza en dos (02) niveles; a) primero cada capa jerárquica es entrelazada sobre el rango de segmentos asignados a dicha capa, b) segundo las capas son entrelazadas conjuntamente sobre el rango completo de la frecuencia de transmisión.



**Fig. 2.9:** Entrelazamiento en tiempo y frecuencia

### 2.3.2 Movilidad y portabilidad

Desde que fue creado, ISDB-T consideró la transmisión a dispositivos portátiles y móviles. La transmisión consiste en usar el segmento central, entre los 13 segmentos, del canal de 6 MHz y es llamado *One-Seg* (ver **Fig. 2.10**). La ventaja de emplear esta técnica es que se puede configurar ese segmento de manera separada a los demás, de esta forma, se le puede aplicar una robusta codificación de canal y una modulación, como por ejemplo, la QPSK. Con este tipo de modulación se necesitará menos potencia para cubrir una amplia zona pudiéndose, en muchos casos, utilizar la misma infraestructura y el mismo canal que se utilizan para la transmisión de la TDT. Por su parte, los dispositivos portátiles y móviles son construidos para decodificar solo ese segmento de manera que hay un gran ahorro en el consumo de batería por parte de los mismos, así como también presenta una ventaja desde el punto de vista económico

debido a la menor complicación en la fabricación de los receptores [Comisión Nacional de Televisión, 2008].



Fig. 2.10: Aplicando el concepto de *One-Seg*

### 2.3.3 SBTVD-T

SBTVD (*Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre*) fue lanzado comercialmente en diciembre del 2007. SBTVD es el estándar que adoptó Brasil y que tiene como base al estándar ISDB-T, adaptándolo a las exigencias del país. La **Tabla 2.4** muestra las principales características de este estándar [Comisión Nacional de Televisión 2008, Pérez 2009].

Tabla 2.4: Características principales de la versión brasilera del estándar ISDB-T

Características Principales	
<b>Codificación de Video</b>	MPEG-4
<b>Modulación</b>	COFDM (13 segmentos)
<b>Mapeado de símbolos</b>	QPSK, 16-QAM o 64-QAM
<b>Código Externo</b>	<i>Reed-Salomon</i> (204,188,8)
<b>Código Interno</b>	LDPC* 9792 (1/2, 2/3, 5/6, 7/8)
<b>Intervalo de Guarda</b>	1/4, 1/8, 1/16, 1/32
<b>Velocidad de transmisión por segmento</b>	280,8 Kbps – 1,79 Mbps
<b>Ancho de Banda del canal</b>	6 MHz
<b>Diversidad de transmisión</b>	STC-OFDM
*LDPC ( <i>Low Density Parity Code</i> ), **STC-OFDM ( <i>Space-Time-Code OFDM</i> )	

## 2.4 DTMB

El gobierno de china oficialmente comenzó los esfuerzos por desarrollar su propio estándar en 1994, y le tomó 12 años de trabajo hasta completar finalmente el estándar de televisión digital

terrestre chino, ratificado en agosto del 2006. El nombre completo de este estándar es “*Framing structure, channel coding and modulation for digital television terrestrial broadcasting system*”, pero se hizo popular por las siglas DTMB (*Digital Terrestrial/Television Multimedia Broadcasting*). Este estándar es el resultado de la combinación de varias propuestas que respondieron la llamada del gobierno chino para crear un estándar de televisión digital, las cuales eran: DMB-T (*Digital Multimedia/TV Broadcasting-Terrestrial*), ADBT-T (*Advanced Digital Television Broadcasting-Terrestrial*) y por último TiMi (*Terrestrial Interactive Multiservice Infrastructure*) [Song y Yang, 2007].

El estándar DTMB ofrece características diferentes a los otros estándares tanto en el sistema de modulación como la codificación de canal. Es posible la transmisión de HDTV a vehículos moviéndose a velocidades de hasta 350 Km/h. También permite implementar redes SFN y MFN. Es un estándar que incluye desde sus inicios soporte para dispositivos móviles y presenta gran flexibilidad en su configuración, logrando distintas velocidades de transmisión (ver **Tabla 2.5**) [Song y Yang, 2007].

**Tabla 2.5: Velocidad de transmisión en Mbps del estándar DTMB**

<b>Señal Marco de 4200 símbolos</b>			
<b>FEC</b>	<b>0,4</b>	<b>0,6</b>	<b>0,8</b>
<b>4-QAM-NR</b>			5,414
<b>4-QAM</b>	5,414	8,122	10,829
<b>16-QAM</b>	10,829	16,243	21,658
<b>32-QAM</b>			27,072
<b>64-QAM</b>	16,243	23,365	32,486
<b>Señal Marco de 4375 símbolos</b>			
<b>4-QAM-NR</b>			5,198
<b>4-QAM</b>	5,198	7,797	10,396
<b>16-QAM</b>	10,396	15,593	20,791
<b>32-QAM</b>			25,989
<b>64-QAM</b>	15,593	23,390	31,187
<b>Señal Marco de 4725 símbolos</b>			
<b>4-QAM-NR</b>			4,813
<b>4-QAM</b>	4,813	7,219	9,626
<b>16-QAM</b>	9,626	14,438	19,251
<b>32-QAM</b>			24,064
<b>64-QAM</b>	14,438	21,658	28,877

Las tres (03) características principales de esta tecnología son: a) DTMB puede operar en un modo de múltiples portadoras y también en un modo de una sola portadora, b) DTMB en el modo de múltiples portadoras utiliza el sistema de modulación TSD-OFDM (*Time-domain Synchronous Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), con una secuencia de pseudo-ruido (PN, *Pseudo-Noise*), c) utiliza un tipo de señal basada en una estructura de marcos. El estándar DTMB posee un gran alcance de cobertura, teóricamente mayor a la de los demás estándares existentes.

### 2.4.1 Características del video

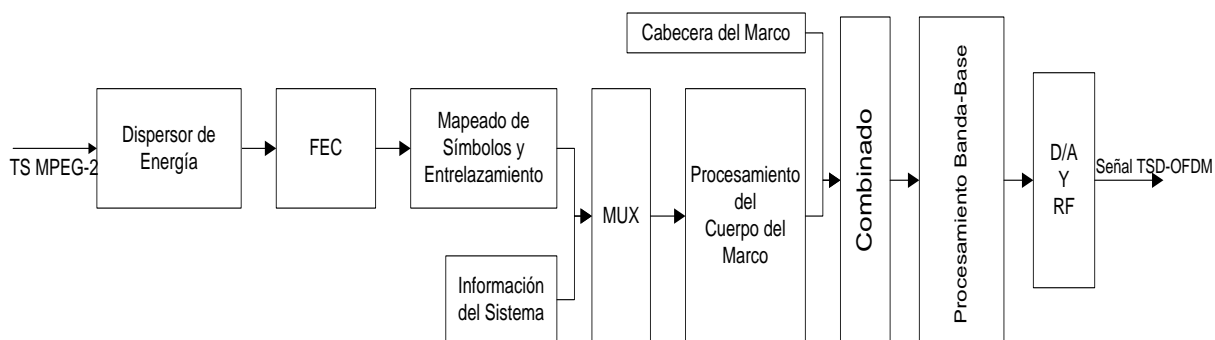
Las normas de compresión utilizada en el estándar DTMB, son compresión MPEG-4 y MPEG-2. DTMB deja la decisión de la compresión (MPEG-4 y MPEG-2), al operador de TV.

### 2.4.2 Características el audio

DTMB utiliza la compresión de audio MPEG2, y AVS (*Audio Video Estándar*).

### 2.4.3 Codificación de canal y modulación

La **Fig. 2.11** muestra el proceso de codificación de canal y modulación de DTMB. Los paquetes de transporte MPEG-2 a la entrada, son sometidos al dispersor de energía que trabaja exactamente igual al de los estándares ya analizados.



**Fig. 2.11: Proceso de codificación de canal y modulación del estándar DTMB**

### a) Códigos de corrección progresiva de errores (FEC)

El código externo es un código BCH (*Bose-Chaudhuri-Hocquenghen*) (762,752), el cual posee 752 bits de información y 10 bits de paridad, lo que da un total de 762 bits como palabra código a la salida del BCH. Sin un entrelazamiento entre el código externo y el interno, el código BCH no contribuye significativamente en la corrección de errores debido a que solo puede corregir errores de un bit. Sin embargo, sirve para dos (02) propósitos: a) cuando se eligen varios modos de trabajo, cada marco del sistema debería contener un paquete completo MPEG-2, el código BCH puede acoplar la longitud del paquete MPEG-2 y la palabra código del LDPC (*low density parity check*), b) reduce el piso de error del sistema eficientemente [Song y Yang, 2007].

El código interno es un código de comprobación de paridad de baja densidad (LDPC, *low density parity check*). Los códigos LDPC son un tipo de códigos de bloque lineal, caracterizados por una matriz de chequeo de paridad (H) dispersa, es decir con pocos unos en relación al número de ceros [Liang W. et al. 2007].

Hay tres (03) modos a elegir en este estándar para el código LDPC, y el número de bits de información de cada modo es: 3048, 4572 y 6096. El total de bits de la palabra código LDPC es el mismo para los tres modos y el número es 7493. Esto quiere decir que hay 4, 6 u 8 palabras código BCH incluidas dentro de una palabra código LDPC respectivamente, según el modo elegido. Luego los primeros 5 bits de paridad son eliminados dando un total de 7493 bits [Liang W. et al. 2007].

- Tasa de código: 0.4 FEC (7488, 3008).
- Tasa de código: 0.6 FEC (7488, 4512).
- Tasa de código: 0.8 FEC (7488, 6016).

Hasta ahora, el rendimiento de LDPC ha sido considerado en la teoría como la mejor codificación. Esta codificación puede proporcionar mejores capacidades de corrección de error, causando la cobertura más grande con la misma potencia de radiación, comparado con

otros estándares.

#### **b) Entrelazamiento de tiempo**

El sistema de transmisión de TDT debe tener la capacidad de neutralizar las ráfagas de errores, por esta razón se utiliza un entrelazamiento convolucional en el estándar DTMB. Hay dos (02) modos de operación: a) el modo corto con un intervalo de entrelazamiento de unos 100ms, b) el modo largo con un intervalo de aproximadamente 300 ms [Song y Yang, 2007].

#### **c) Entrelazamiento de frecuencia**

El intercalador de frecuencia se hace dentro de cada cuerpo de marco (FB, *frame body*) de señal OFDM que consiste en 36 símbolos de señalización de parámetros de transmisión y 3744 símbolos de datos. La longitud total del un cuerpo de marco es de 3780 símbolos [Song y Yang, 2007].

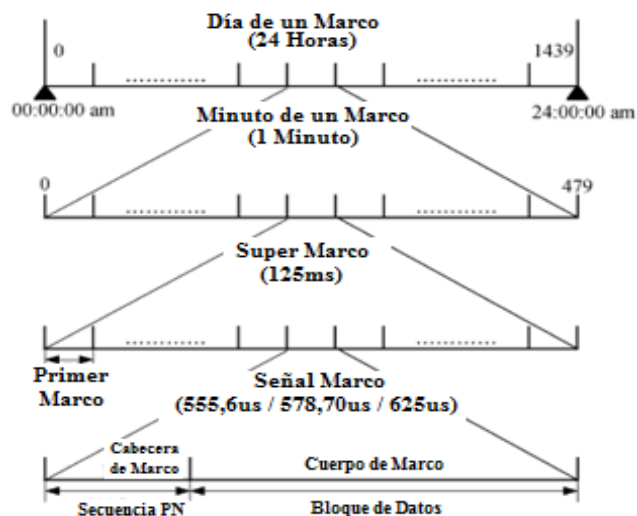
#### **d) Mapeado de los símbolos**

DTMB soporta las siguientes constelaciones: 64-QAM, 32-QAM, 16-QAM, 4-QAM y 4-QAM-NR. La normalización de potencia se utiliza durante el mapeado de los símbolos para de esa forma mantener una potencia promedio de los diferentes mapeos, aproximadamente igual.

#### **e) Estructura jerárquica del marco**

El estándar DTMB toma una estructura jerárquica de marcos como la mostrada en la **Fig. 2.12**. La estructura jerárquica se presenta como un calendario diario donde un minuto de marco corresponde exactamente a un minuto en tiempo real. Por su parte, un súper marco tiene una duración fija de 125 ms y está formado por varias señales marco, las cuales son el elemento fundamental de toda la estructura [Song y Yang, 2007].





**Fig. 2.12: Estructura jerárquica del Marco**

Cada señal marco consiste en una cabecera (FH, *frame header*) y un cuerpo (FB, *frame body*), y la velocidad de transmisión de los símbolos de ambas señales es la misma y tiene un valor de 7.56 Msp. Cada FB de la señal marco dura exactamente 500  $\mu$ s y tiene el mismo número de símbolos (3780) para todos los modos de estructura de la señal. La FH usa una secuencia de Pseudo-ruido y es por esta razón que el esquema de modulación para el modo de múltiples portadoras es llamado TDS-OFDM.

Existen tres (03) diferentes longitudes para la FH: 420, 595 y 945 símbolos. Estas longitudes hacen que el número de señales marco dentro de un súper marco sea: 225, 216 y 200 señales respectivamente. Las longitudes de la FH, son equivalentes con los intervalos de guarda de 1/9, 1/6 y 1/4 respectivamente, y sirven para soportar diferentes aplicaciones. La FH siempre es modulada con BPSK (*Binary Phase Shift Keying*) [Liang W. et al. (2007)].

Hay dos (02) diferentes métodos de construcción de la FH [Liang W. et al. (2007)]: a) para una FH de longitud de 420 ó 945 símbolos, la potencia promedio de la FH es dos veces mayor que la de los símbolos del FB. La estructura de la FH es rotada en cada súper marco. Esto significa que cada señal marco dentro de cada súper marco tiene una única dirección (FH) y puede ser identificada exclusivamente, b) para la FH de 595 símbolos de longitud, se toman los primeros 595 símbolos de una M-secuencia de 1023 bits de longitud con una potencia promedio igual a la de los símbolos del FB.

### f) Procesamiento del cuerpo del marco

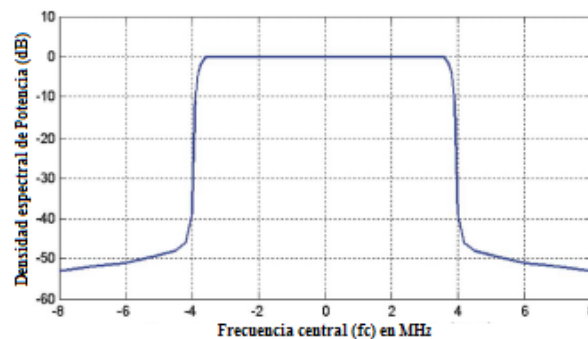
DTMB establece dos (02) modos en cuanto al número de portadoras (C) se refiere. El modo C=1 indica un esquema de modulación de una sola portadora y en este caso se insertan dos señales pilotos (opcionalmente) después de que la señal marco es formada. El segundo modo es el de C=3780, indica un esquema de modulación de múltiples portadoras con 3780 portadoras. La principal diferencia entre los dos modos es la manera en que se procesa la señal. Cuando el sistema trabaja en el modo de múltiples portadoras, los marcos serán procesados en los 3780 puntos IFFT, mientras que la señal en el modo de una sola portadora, evita la etapa de IFFT [Liang W. et al. 2007].

### g) Información del sistema

Cada FB contiene 36 símbolos con la información del sistema, modulados con BPSK. Los primeros cuatro símbolos indican el modo de operación, los últimos 32 símbolos están esparcidos por todo el espectro a través del código *Walsh*, para proteger esta información de posibles interferencias con una técnica llamada *spread-spectrum*.

### h) Procesamiento banda-base

Un filtro de la raíz cuadrada del coseno elevado con un factor de *roll-off* de  $\alpha=0.05$ , es adoptado para la forma de la señal de marco en banda base. La **Fig. 2.13** muestra la forma de la señal en banda base.



**Fig. 2.13:** Forma de la señal en banda-base

#### 2.4.4 Movilidad

DTMB soporta la transmisión a dispositivos móviles y portátiles, logrando que los 20 millones de vehículos en China puedan ser una gran parte del mercado de la televisión móvil [Liang W. et al. 2007]. La tecnología TDS-OFDM ofrece la capacidad natural de apoyo a la recepción de la señal de TV en dispositivos móviles. Se utiliza la técnica *Time-slicing* similar a la del estándar DVB-H, con la finalidad de reducir el consumo de energía en el dispositivo. TDS-OFDM hace posible tener mucha menor sobrecarga en la sincronización (ya que se hace en el dominio del tiempo), debido a la secuencia PN. La nueva norma también permite la recepción móvil a alta velocidad, beneficiando a los pasajeros que viajan en ferrocarril cada año.

## CAPÍTULO 3

### CARACTERÍSTICAS DE LAS REDES SFN Y MFN

La televisión digital terrestre (TDT) presenta dos (02) configuraciones básicas en sus redes para distribuir y difundir la señal hasta el usuario final. Para cubrir una determinada área geográfica, un operador de TDT puede utilizar un solo transmisor de alta potencia y gran alcance, o múltiples transmisores de potencias menores. A su vez, estos últimos pueden configurarse para transmitir a frecuencias distintas o a la misma frecuencia. De allí que las dos (02) redes en cuestión se denominen:

- Red de Frecuencia Única (SFN, *Single Frequency Network*)
- Red de Múltiples Frecuencias (MFN, *Multi-Frequency Network*)

#### 3.1 REDES SFN

La red de frecuencia única se caracteriza porque todos los transmisores que la componen transmiten el mismo contenido en el mismo canal RF, es decir, todos los transmisores transmiten el mismo símbolo del mismo TS (*Transport Stream*) en el mismo instante de tiempo. Para lograr esto, todos los transmisores que conforman la red deben estar sincronizados entre sí de manera muy precisa. En el receptor se tiene la mezcla de señales que provienen de los transmisores más cercanos. Esta mezcla está compuesta por la suma de señales que transportan el mismo contenido a la misma frecuencia, pero que arriban con un cierto retardo entre ellas dependiendo de la distancia entre el transmisor y el receptor [Fischer, 2008]. Por ello, es necesario implementar un tratamiento de señal que separe las componentes

de esta mezcla.

Desde el punto de vista del receptor, una red SFN puede ser considerada como una red clásica de radiodifusión que presenta retardos de larga duración y que se diferencian de los retardos reales, debido a que los retardos reales comprenden pocos símbolos [Marianov, Oberli y Ríos, 2006]. Un retraso de propagación típico de una red SFN es de 100  $\mu$ s para distancias entre transmisores iguales a 30 km. Con una frecuencia de símbolo igual a 10 MHz, esto corresponde a un retardo de 1000 símbolos [Burel y Magnez, 1999].

Si un estándar es más robusto frente a las interferencias producto de los múltiples trayectos de la señal, también lo será en términos de la operación en redes SFN. De los estándares de televisión digital existentes, solo el estándar ATSC utiliza una modulación de una sola portadora. En este tipo de modulación, la capacidad de contrarrestar las interferencias de múltiples trayectos depende del ecualizador en el receptor [Marianov, Oberli y Ríos, 2006]. Por esta razón, en ambientes con efectos grandes de múltiples trayectos como los presentes en una red SFN, los sistemas de una sola portadora presentan problemas en la implementación. Los demás estándares utilizan la modulación OFDM la cual es ideal para redes SFN debido a que es un sistema de múltiples portadoras y además utiliza un intervalo de guarda.

Las redes SFN dificultan la transmisión de programas locales así como también la interactividad remota. Ya que todos los transmisores deben transmitir la misma información en el mismo instante de tiempo, no es posible manipular los paquetes de transporte en cada transmisor porque el retardo que esto produciría en la señal sería muy grande [Fischer, 2008].

### **3.1.1 Longitud del intervalo de guarda**

Toda señal cuyo retardo al llegar al receptor no exceda el intervalo de guarda será sumada de forma constructiva para conformar la señal principal. Si por el contrario, el retardo de la señal supera al intervalo de guarda, la señal se sumará de manera destructiva y habrá interferencia inter-simbólica. Por esta razón, la elección de la duración del intervalo de guarda es muy importante al momento de diseñar la red. Mientras mayor sea el intervalo de guarda (aunque

se disminuya la capacidad del canal), la mayoría de las señales aportaran constructivamente a la señal principal. Este aporte se conoce como ganancia de la red SFN y cuanto mayor sea, mayor será la probabilidad de cobertura y menor la potencia necesaria para lograr dicha cobertura [Burel y Magnez, 1999].

El intervalo de guarda define la distancia máxima entre transmisores para que la señales provenientes de estos se puedan sumar de forma constructiva. Dicha distancia está relacionada con la longitud del intervalo de guarda y la velocidad de la luz. La duración del intervalo de guarda por cada kilometro de distancia del transmisor, respecto al receptor, viene dado según la siguiente expresión [Fischer, 2008]:

$$t(1 \text{ km}) = \frac{1000}{c} = 3,336 \mu\text{s} \quad (3.1)$$

donde la velocidad de la luz es,  $c = 299792458 \text{ m/s}$ .

La **Tabla 3.1** muestra las distancias asociadas a las longitudes del intervalo de guarda, usadas en el estándar DVB-T [Fischer, 2008].

**Tabla 3.1: Valor del intervalo de guarda y distancia máxima asociada**

Intervalo de Guarda	Valor de tiempo ( $\mu\text{s}$ ) (modo 2K)	Distancia máxima (km) (modo 2K)	Valor de tiempo ( $\mu\text{s}$ ) (modo 8K)	Distancia máxima (km) (modo 8K)
1/4	56	16,8	224	67,2
1/8	28	8,4	112	33,6
1/16	14	4,2	56	16,8
1/32	7	2,1	28	8,4

### 3.1.2 Sincronización de transmisores

La sincronización debe ser lograda en las siguientes partes:

- La sincronización de frecuencia es muy importante en la TDT. En un esquema de

modulación de múltiples portadoras (ejemplo, OFDM), todos los transmisores que conforman la red SFN deben transmitir las portadoras en la misma frecuencia RF. Cada portadora debe ser transmitida a una frecuencia igual a:

$$f_p = f_k \pm (Df/100) \quad (3.2)$$

donde  $f_p$  es la frecuencia de la portadora,  $f_k$  es la posición ideal en frecuencia de la portadora  $k$ -ésima y  $Df$  es el espacio entre portadoras (1116 Hz en el modo 8K).

- La sincronización de tiempo indica que el mismo símbolo se debe transmitir en el mismo instante de tiempo por todos los transmisores de la red. Se permite una precisión de más o menos un milisegundo (ms), para que el sistema funcione bien, tomando como referencia el instante de muestreo ideal de cada símbolo [Casas G., 2009].
- La sincronización de bit, significa que los mismos bits modulan la misma portadora a transmitir, de modo que todas las portadoras estén moduladas igual.

Si no se cumplen estas condiciones, se producirán degradaciones en la señal recibida que se asemejan a una pérdida de S/N o a una interferencia co-canal (ICC). Diferencias en los TS hacen que las transmisiones de celdas adyacentes tengan un efecto equivalente al de la ICC en la celda deseada, perdiéndose eficiencia espectral [Marianov, Oberli y Ríos, 2006].

Para lograr la sincronización de frecuencia y de tiempo, las señales se sincronizan con una señal de referencia de 10 MHz y una señal de 1 pulso por segundo (PPS, *Pulse per second*) provenientes de un receptor profesional GPS (*Global Positioning System*). El receptor GPS coloca en su salida estas dos (02) señales para cada sitio de transmisión y centro de múltiplex de transporte. En el centro de múltiplex de transporte se inserta un paquete de transporte especial llamado paquete de inicialización de mega-trama<sup>3</sup> (MIP, *Megaframe Initializing Packet*) dentro de cada mega-trama, en el flujo de paquetes de transporte MPEG-2 [Fischer, 2008].

---

<sup>3</sup> 1 mega-trama = 32 tramas en el modo 2k y 8 tramas en el modo 2k

El MIP contiene referencias de tiempo e información de control para los moduladores. Este consta de la diferencia de tiempo entre la última señal de referencia de 1 pps, proveniente de un receptor GPS, y el actual tiempo del mega-trama, diferencia llamada sello de tiempo (STS, *Synchronization Time Stamp*). El MIP también contiene el máximo valor de retardo de la red (peor caso de múltiple trayecto), para sincronizar los transmisores. EL STS, con una resolución de 100 ns, es usado junto con el máximo retardo de la red para medir automáticamente la distancia entre el centro de múltiplex de transporte y el sitio de transmisión, también llamada distancia de alimentación [Wang, Yang y Pan, 2004]. Esta información es usada por el adaptador SFN para corregir automáticamente el retraso ocurrido entre el centro de múltiplex de transporte y el sitio de transmisión, y de esa manera sincronizar todos los transmisores (ver Fig. 3.1).

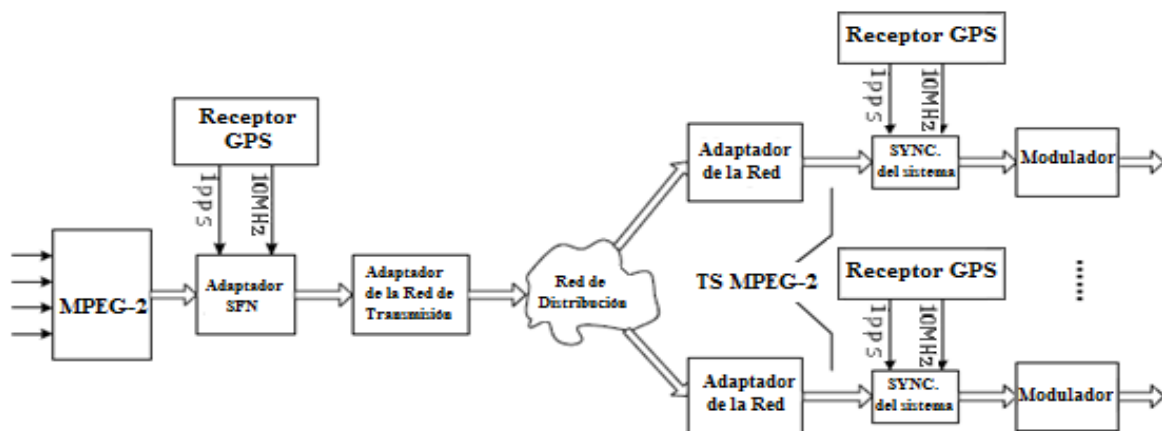


Fig. 3.1: Red SFN

En cada sitio de transmisor, antes de comenzar la transmisión, se recibe el TS y el modulador mide el actual desplazamiento desde la señal de referencia de 1 pps. Luego lee del MIP del paquete recibido el STS y el valor del máximo retardo de la red, los suma y les resta el desplazamiento previamente medido [Wang, Yang y Pan, 2004]. El resultado es el retardo que el modulador debe aplicar a los paquetes de transporte para así, sincronizar todos los transmisores. Es decir:

$$\begin{aligned}
 & STS(\text{del MIP}) + \max \text{retardo}(\text{del MIP}) \\
 & = \text{retardo med de la señal 1pps(GPS)} + \text{retardo adicional(calc)}
 \end{aligned}
 \tag{3.3}$$



La máxima diferencia en retardo entre diferentes sitios de re-transmisión que el sistema SFN puede manejar es de un segundo, debido a la señal de 1 pps de referencia.

Los MIP también pueden utilizarse para transmitir información adicional, como los parámetros de transmisión que permiten configurar toda la red SFN desde un solo lugar. Por ejemplo, se puede utilizar para cambiar el tipo de modulación, el tipo de código, etc. Si la transmisión de los paquetes MIP se corrompe se perderá sincronización [Fischer, 2008].

### 3.1.3 Ventajas y desventajas de una red SFN

Entre las ventajas de una red de frecuencia única están [Fischer 2008, Casas G. 2009]:

- Mejora la eficiencia espectral, cubriendo un área extensa con un menor número de canales (ejemplo, un país completo). Esto es importante, sobre todo en la fase inicial de la TDT, ya que tendrán que convivir con los actuales servicios analógicos y puede congestionarse mucho el espectro.
- Facilita cubrir zonas vacías con *gap-fillers* utilizando la misma frecuencia [Casas G., 2009].
- Debido a la ganancia de la red, hay mayor probabilidad de cobertura. Esto se debe a que la señal se recibe de varios transmisores, logrando niveles de señal más uniformes.
- Si se quiere aumentar la cobertura en una red de frecuencia única se aumenta el número de sitios de transmisión, mientras que en una red MFN solo se pueden aumentar los transmisores si hay suficientes canales libres.

Entre las principales desventajas están [Fischer 2008, Casas G. 2009]:

- La red no puede dividirse y necesita una sincronización muy precisa entre todos los transmisores que la conforman.
- No pueden hacerse desconexiones regionales, ni incluir programación en los paquetes de transporte ya configurados.

## 3.2 REDES MFN

Una red MFN se caracteriza porque todos los transmisores hacen uso de diferentes frecuencias de transmisión, de esa forma, ellos trabajan independientemente y no causan interferencias ICC unos con los otros [Casas G., 2009]. En las redes MFN, la gestión de frecuencias es similar a las que requiere la televisión analógica, con excepción de que pueden utilizarse canales adyacentes (lo que no ocurre en el caso de la televisión analógica). La TDT operando con una red MFN, puede introducirse entre los canales analógicos, cuando ambos sistemas coexistan.

Dentro de una red MFN, un gran número de pequeñas redes SFN puede ser usado para transmisiones regionales o locales. Una red de múltiples frecuencias tiene la ventaja de proveer grandes flexibilidades para variar las transmisiones locales y/o regionales. En una red MFN un programa de TV nacional es transmitido en un canal RF distinto en cada región [Casas G., 2009].

### 3.2.1 Ventajas y desventajas de una red MFN

Entre las ventajas se pueden encontrar [Casas G. 2009]:

- Mayor facilidad para incorporar servicios locales. Cuando varios transmisores compartan el mismo TS, se puede re-multiplexar este TS en algunos de ellos para incorporar programas locales.
- Pueden instalarse *gap-fillers* para cubrir áreas de sombra.
- Pueden solaparse las emisiones de distintos transmisores sin que haya interferencias entre ellos.
- Planificación relativamente igual al del servicio analógico pero con mayores márgenes de seguridad y diferentes valores de campo.
- Los programas emitidos pueden ser iguales o no.

Entre las desventajas, la más resaltante de ellas es el alto número de canales que pueden ser

requeridos para cubrir una zona extensa, más aun en el congestionado espectro radioeléctrico actual.

### **3.3 RE-TRANSMISORES**

#### **3.3.1 Transmisores distribuidos**

Los transmisores distribuidos reciben la señal de TV a través de una red de bajo retardo (ejemplo, fibra óptica o cable) y la retransmiten al aire en la misma frecuencia.

#### **3.3.2 Traductores distribuidos**

Estos equipos operan en forma similar a los repetidores, pero retransmitiendo en una frecuencia distinta.

#### **3.3.3 *Gap-Fillers***

Los *gap-fillers* toman la señal al aire y la retransmiten en la misma frecuencia. Pueden ser profesionales; cuando se incluye un filtro de cancelación de ecos, lo que garantiza una señal retransmitida de gran calidad. Si no se emplea un filtro de cancelación de ecos, el *gap-filler* debe ser el último elemento de la red y su señal no puede utilizarse para ser repetida de nuevo [Casas G., 2009]. En este tipo de retransmisores hay que tener cuidado en proporcionar un buen desacoplo entre la antena receptora y transmisora, ya que esto indicará el nivel de potencia que se le pueda suministrar al *gap-filler* [Casas G., 2009].

#### **3.3.4 Repetidor Regenerativo**

Este repetidor admite re-multiplexado (inserción de programas locales), y no puede funcionar como *gap-filler* debido a que el tiempo que toma procesar la señal es muy grande para que esta misma sea transmitida en el mismo canal RF [Comisión Nacional de Televisión, 2008].

## **CAPÍTULO 4**

# **SITUACIÓN ACTUAL DE LA PLATAFORMA DE TELEVISIÓN ANALÓGICA EN EL ESTADO MÉRIDA**

El Estado Mérida está situado en el occidente de Venezuela a 680 km de Caracas. Posee una topografía irregular debido a la presencia de dos (02) bloques montañosos que conforman dos sierras paralelas [Vivas L. 1992]. Mérida tiene una superficie terrestre que ocupa un área de 11.300 km<sup>2</sup>, donde predomina el ambiente geográfico andino, constituido por montañas, valles y tierras llanas. Sobre la geografía se destaca la cordillera de Mérida con una longitud de 460 km., 100 km. de ancho y una altura media de 4.000 metros. Su situación astronómica está comprendida entre los 7°39'19" y los 9°19'43" de latitud norte y 70°32'27" y 71°54'37" de longitud oeste. Limita por el sur con los estados Táchira y Barinas; por el norte con el Lago de Maracaibo y el Estado Trujillo; por el este con el Estado Barinas; por el oeste con los estados Táchira y Zulia.

### **4.1 TELEVISIÓN EN VENEZUELA**

La televisión en Venezuela<sup>4</sup> es el principal medio de comunicación del país, llegando al 95% de los hogares venezolanos. Para finales de 2006 el espectro en VHF estaba ocupado en un 78% por el sector privado y un 22% por el sector público, mientras que en UHF el 82% de las televisoras eran privadas y el 18% públicas. El número de horas dedicadas por los venezolanos

---

<sup>4</sup> Esta información así como la ubicación de los transmisores y todo lo referente a la plataforma analógica, fue suministrada por la empresa del estado RedTV. Por esa razón, no se encuentran citas bibliográficas.

a medios de comunicación también es favorable para la televisión. La televisión en abierto o gratuita ocupa el 46% de las horas y la televisión paga el 17%, mientras que el 36% que resta es invertido en radio, prensa escrita e internet.

Los canales usados para la TV pertenecientes al espectro UHF y VHF, se pueden encontrar en [Briceño, 1998]. Estos canales se agrupan en bandas de Frecuencias de la forma siguiente [Blake, 2004]:

- Banda I: Canal 2 al 4 (54-72 MHz en VHF).
- Banda II: Canal 5 al 6 (76-88 MHz en VHF).
- Banda III: Canal 7 al 13 (174-216 MHz en VHF).
- Banda IV: Canal 21 al 36 (512-608 MHz en UHF).
- Banda V: Canal 38 al 69 (614-806 MHz en UHF).

En la televisión analógica, la mejor banda para transmitir es la banda I y II, e inclusive la banda III también resulta mejor que las bandas de UHF, debido a que las señales se ven menos afectadas por la interferencia de los múltiples trayectos y las atenuaciones por obstáculos, lluvia, etc. A mayor frecuencia, la pequeña longitud de onda de las señales causa que cualquier interferencia pueda atenuar la misma, aunque una ventaja de UHF es la menor sensibilidad al ruido impulsivo. Un ejemplo de esto se encuentra en el estado. Guárico, en la estación Platillón, en donde el canal 3 (VTV) transmite a una potencia de 10 KW y al canal VIVE, al no tener disponibilidad en VHF, se le asignó el canal 52 de UHF, y para cubrir un área similar a la cubierta por VTV necesita una potencia 20 KW.

## **4.2 TELEVISIÓN EN EL ESTADO MÉRIDA**

La distribución de las principales televisoras nacionales y regionales, con señal en abierto, en el estado Mérida, es la siguiente:

- VENEZOLANA DE TELEVISION (VTV) está asignado al canal 11.
- VIVE está asignado al canal 24.

- TVES está asignado al canal 7.
- VENEVISION está asignado al canal 9.
- TELEVEN está asignado al canal 4.
- TAM está asignado al canal 6.
- ULA TV está asignado al canal 22.

Además de estos canales, se encuentra la televisora regional Organización de Medios de Comunicación (OMC) la cual no sale en “abierto”, sino que utiliza una red de transmisión por cable hasta la empresa INTERCABLE localizada a pocos metros de su sede, y esta última se encarga de su transmisión. Aunque una alternativa, con la introducción del servicio digital, es incorporarlo a la televisión abierta.

Televisora Andina de Mérida (TAM) es una televisora privada regional con sede en la ciudad de Mérida. TAM fue fundada en 1982 convirtiéndose en la primera estación de televisión regional de Venezuela en iniciar operaciones. El principal competidor de la TAM en el Estado Mérida es OMC Televisión, la cual es una televisora regional privada fundada el 27 de marzo de 1988 y que trasmite una programación variada de informativos, deportes y entretenimiento en general. El 2 de octubre de 1999 se crea la televisora regional ULA TV, manejada por la Universidad de Los Andes y de carácter educativo. ULA TV con sede en la ciudad de Mérida, transmite por la frecuencia UHF en el canal 22.

### **4.3 DISTRIBUCIÓN DEL LA SEÑAL Y PLATAFORMA ACTUAL EN ESTADO MÉRIDA**

La señal de las televisoras nacionales en Venezuela, llega a las distintas estaciones transmisoras ubicadas a lo largo y ancho del territorio nacional, a través de una red de enlaces microondas y satelitales. Este análisis del estado del arte de la plataforma analógica se basa en las televisoras propiedad del Estado, debido al difícil acceso a la información relativa a las televisoras privadas; sin embargo, la forma como es distribuida la señal de TV por todas las televisoras (públicas y privadas) es bastante similar y en muchos casos comparten la misma estación transmisora.

Las televisoras nacionales tienen su base de producción de programas en la capital de Venezuela, Caracas. Desde allí, la señal se envía vía microondas desde la sede de cada televisora hasta la estación principal de transmisión y distribución de señales de televisión en el país, llamada Mecedores y ubicada en el “Cerro el Ávila”. En Mecedores, están ubicadas todas las antenas de las televisoras nacionales y desde allí se distribuye la señal hasta los distintos estados a través de enlaces microondas y satelitales.

La señal de la televisora estatal VTV llega al estado Mérida desde la estación Boconó en el estado Trujillo, hasta un paso de microondas en Cerro los Hoyos ubicado en Apartaderos, al frente de la laguna Mucubaji y cuyas coordenadas son 8°48'43" latitud norte y 70°49'57" longitud oeste. De allí, vía microondas, pasa al Hato Las Pérez, estación paso de microondas ubicada vía San Rafael de Chama coordenadas 8°30'17" latitud norte y 71°13'15" longitud oeste, muy cerca de la estación transmisora principal la cual está ubicada en San Rafael de Chama, local de Niños Cantores, Parroquia Jacinto Plaza y con coordenadas 8°32'42" latitud norte y 71°12'08" longitud oeste.

Desde la estación de TV, la señal se transmite cubriendo la ciudad de Mérida y Ejido, con buena calidad. Otras localidades, dentro de un radio de 20 km sin obstáculos orográficos, pueden también recibir señal aunque con calidad inferior. La potencia de transmisión es de 5 KW para los dos (02) transmisores (VTV y VIVE). Por su parte, la señal de la televisora VIVE es recibida vía satélite como señal principal o por DirecTV como señal de emergencia. La ubicación de la estación de TV en San Rafael de Chama es estratégica debido a que además de tener vista directa con el casco central de la ciudad, también tiene vista con la población de ejido que representa una parte importante del total de la población de la zona.

Por su parte, la TAM transmite la señal desde su sede en el centro de la ciudad Mérida, coordenadas 8°35'12" latitud norte y 71°9'29" longitud oeste, hasta la estación de San Rafael de Chama vía enlace microondas pasando por Hatos Las Pérez, al igual que VTV. Transmitiendo con una potencia de 1 KW, alcanza a cubrir el casco central de la ciudad con buena calidad y otras zonas de la ciudad y localidades, como Ejido, con una calidad menor en las imágenes de TV.

Otra estación de antenas repetidoras de TV en la ciudad de Mérida es La Aguada, desde la cual se transmiten las televisoras nacionales como son: Venevision, Televen, TVES, e inclusive la televisora regional ULA TV. La Aguada está ubicada en el parque Nacional Sierra Nevada en la tercera estación del teleférico, sus coordenadas son 8°33'37" latitud norte y 71°05'03" longitud oeste. La señal de ULA TV ubicada en el centro de la ciudad de Mérida, específicamente en el edif. del rectorado de la ULA, es llevada a través de un enlace microonda de 7 km hasta la estación de TV la Aguada, y con una potencia nominal del transmisor de 1 KW tiene una cobertura pobre, en parte por la ubicación de la estación. La señal de TVES llega vía satélite al igual que su semejante VIVE, y la de las demás televisoras no se tiene información pero es probable que sea vía microondas al igual que la de VTV. La Aguada, por su ubicación, no cubre por completo a la ciudad de Mérida y de hecho no llega con buena calidad en Ejido, a menos que se aumente considerablemente la potencia de transmisión (teniendo en cuenta las limitaciones impuestas por CONATEL). En otras palabras, La Aguada tiene ventajas de propagación radioeléctrica menores a la de San Rafael de Chama.

En cuanto a la población de El Vigía, la estación que le brinda cobertura está ubicada en el páramo de San Telmo en Pueblo Hondo edo. Táchira, sus coordenadas son 08°14'03" latitud norte y 71°57'03" longitud oeste, y la señal de TV llega a la estación vía microondas desde Hato Las Pérez. Este transmisor cubre la región del Sur del lago y por lo tanto El Vigía, llegando la señal hasta Santa Bárbara del Zulia, y transmite a una potencia de 5 KW. En este sitio se encuentra VTV, TVES y también Venevision, aunque no se sabe la potencia de transmisión de este último.

La cobertura del estado Mérida se alcanza con la estación de TV localizada en Bailadores, que recibe la señal de TV vía satélite. Sus coordenadas son 08°15'00" latitud norte y 71°51'04" longitud oeste, transmitiendo con una potencia de 500 W. Como se mencionó al principio del capítulo, la geografía del estado Mérida es bastante accidentada, por lo que es difícil cubrir todos los poblados del estado. Para colocar un transmisor la población debe tener más de 5000 habitantes y tener disponibilidad de espacio, frecuencias y energía eléctrica.



## CAPITULO 5

# PROPUESTA DE PLANIFICACIÓN PARA TDT EN EL ESTADO MÉRIDA

En toda planificación de sistemas de televisión destacan tres (03) aspectos principales, los cuales son [UIT-D, 2006]:

- **Aspectos jurídicos y reglamentarios:** En este punto, independientemente del estándar elegido, se estudia la disponibilidad de frecuencias para implementar el sistema digital y la normativa que será impuesta a los operadores y demás entes responsables de las transmisiones digitales [UIT-D, 2006].
- **Aspectos Técnicos:** Se refiere a la realización de las pruebas necesarias de intensidad de campo para determinar la cobertura y evitar las posibles interferencias. Se realizan todas las simulaciones necesarias y estudios para un comienzo exitoso de las transmisiones de canales digitales.
- **Aspectos Económicos:** Aquí se estudia el plan de negocio que más se adapte a la región o país que comienza la transición y que conlleve a los menores gastos posibles [UIT-D, 2006].

El presente trabajo de grado se enfocará solamente en los aspectos técnicos.

### 5.1 ASPECTOS TÉCNICOS

El cálculo del área de cobertura va de la mano con el cálculo de la media de intensidad de campo mínimo, en los bordes del área que se espera cubrir. Se parte del objetivo de cobertura

en el que se espera lograr durante las primeras fases de la transición al nuevo sistema digital, el mismo nivel de cobertura que el sistema analógico actual. Se propone que el punto en donde fallan los sistemas analógicos existentes, es decir, el punto en donde la imagen llega a los receptores con una disminución importante de la calidad, se debe igualar, en términos de porcentaje de localizaciones con servicio, al punto donde la recepción de la señal digital apenas falla. De esta forma, la característica de falla gradual de la señal analógica se iguala a la característica de falla más abrupta de la señal digital [Australian Broadcasting Authority, 2005].

Para el cálculo de la cobertura se pueden utilizar dos (02) métodos: a) el método de la proporción, y b) el método de cálculo de la intensidad de campo en los límites del área de cobertura [Australian Broadcasting Authority, 2005]. El método de la proporción determina la media de intensidad de campo mínima, encontrando una adecuada proporción la cual se debe añadir a los valores con los cuales se planeó el sistema de televisión analógico. El segundo método, que se propone en este trabajo, calcula el valor medio de intensidad de campo mínima; tomando en cuenta el punto de falla del receptor digital, la propagación, la potencia de transmisión, la distancia entre el receptor y el transmisor y otros factores que afectan la recepción de las señales digitales.

Los resultados obtenidos por ambos métodos son muy similares, aunque no siempre idénticos. Garantizar el mismo nivel de cobertura es más sencillo donde se utilicen las mismas bandas de frecuencias.

### **5.1.1 Método de cálculo de las intensidades de campo**

Para calcular la intensidad de campo se debe determinar en primer lugar, el tipo de recepción que se va a utilizar como referencia. En este trabajo se calculará la intensidad de campo para la recepción fija, la cual toma como referencia una altura de 10 m sobre el suelo para la antena receptora. Para las antenas de los dispositivos móviles, por ser de poca ganancia y de tamaño reducido, se deben sumar aproximadamente 10 dB a los valores de C/N mínimos requeridos que serán explicados más adelante, además de utilizarse un canal tipo *Rayleigh* y asumirse una

altura de antena receptora de 1,5 m sobre el suelo [Bendov y Wu, 2004]. Además del tipo de recepción, también se deben tomar en cuenta ciertos factores que son necesarios para el cálculo, los cuales son [Fischer, 2008]:

- El tipo de modulación usado (QPSK, 16QAM, 64QAM).
- La tasa de FEC usada (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8).
- El modelo del canal (Gaussian, Ricean, Rayleigh).
- Ancho de banda del canal (6 MHz, 7 MHz, 8 MHz).
- Temperatura Ambiente.
- Características del receptor (figura de ruido del sintonizador, etc.).

Para la planificación de la TDT se considera un canal de tipo *Ricean*, y dependiendo del tipo de modulación usado y los parámetros configurados en el modo de transmisión, se define la relación  $S/N$  o  $C/N$  (*Carrier to Noise ratio*) mínima requerida para decodificar eficientemente la señal en el receptor (ver **Tabla 5.1**). De esta relación depende el valor de intensidad de campo resultante. Además, la frecuencia a usar para el cálculo es importante porque los valores suelen variar significativamente de acuerdo con la frecuencia utilizada [Fischer, 2008]. Las diferencias entre  $C/N$  y  $S/N$  en el estándar DVB-T son las siguientes:

$$C/N - S/N = 0,34 \text{ dB}; \text{ modo } 2K \quad (5.1)$$

$$C/N - S/N = 0,33 \text{ dB}; \text{ modo } 8K \quad (5.2)$$

A continuación, se desglosan las formulas usadas y los cálculos realizados para encontrar la intensidad de campo eléctrico en los límites del área de cobertura. Se muestran dos (02) formas: a) la primera utiliza la  $C/N$  mínima necesaria para que el receptor pueda decodificar la señal, b) la segunda es en virtud del espacio libre y se utiliza la potencia del transmisor.

**Tabla 5.1: C/N mínimo requerido del estándar DVB-T**

Mínimo C/N requerido en el estándar DVB-T (dB)				
Modulación	FEC	Canal Gaussian	Canal Ricean	Canal Rayleigh
QPSK	1/2	3,1	3,6	5,4
	2/3	4,9	5,7	8,4
	3/4	5,9	6,8	10,7
	5/6	6,9	8,0	13,1
	7/8	7,7	8,7	16,3
16-QAM	1/2	8,8	9,6	11,2
	2/3	11,1	11,6	14,2
	3/4	12,5	13,0	16,7
	5/6	13,5	14,4	19,3
	7/8	13,9	15,0	22,8
64-QAM	1/2	14,4	14,7	16,0
	2/3	16,5	17,1	19,3
	3/4	18,0	18,6	21,7
	5/6	19,3	20,0	25,3
	7/8	20,1	21,0	27,9

**a) Método de la C/N mínima**

Para asignarle valores prácticos, se utilizan situaciones que se encuentran con mucha frecuencia en las redes de TDT implementadas hasta ahora. Cabe destacar que los ejemplos están dados para el estándar DVB-T, por ser éste para el que se dispone de mayor información al respecto. Sin embargo, los métodos se puedan aplicar para los otros estándares y se adaptan a cualquier situación.

Para un canal tipo *Ricean*, una constelación de 64-QAM, una tasa de 2/3 de FEC y Recepción fija, se define lo siguiente:

- Ancho de banda;  $B = 6 \text{ MHz}$ ,  $7 \text{ MHz}$  u  $8 \text{ MHz}$
- Temperatura de referencia:  $T_0 = 290 \text{ °K}$ .
- Constante de *Boltzmann*;  $k = 1,38 * 10^{-23} \text{ J/°K}$
- Canal *Ricean* con  $C/N = 17, 1 \text{ dB}$ .

Con estos datos, se puede calcular la potencia de ruido y el nivel mínimo de señal a la entrada del receptor [Australian Broadcasting Authority, 2005]:

$$P_n = F + 10 \log(kT_0B) = -128,2 \text{ dBW} \quad (5.3)$$

$$P_S = P_n + C/N = -111,1 \text{ dBW} = -81,1 \text{ dBm} \quad (5.4)$$

$$U_S = P_S + 120 + 10 \log(Z_i) \quad (5.5)$$

donde:

- $F$  es el factor de ruido del receptor; se utilizó 7 dB.
- $P_n$  es la potencia de ruido.
- $P_S$  es el nivel mínimo de señal a la entrada del receptor.
- $Z_i$  impedancia de entrada del receptor (75  $\Omega$ )
- $U_S$  es el nivel mínimo de señal a la entrada del receptor con respecto a la impedancia de entrada,  $Z_i$  (dB $\mu$ V)

Las expresiones para determinar la intensidad de campo en la ubicación de la antena, son [Australian Broadcasting Authority, 2005]:

$$E_{\text{mín}} (\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}) = \varphi_{\text{mín}} + 120 + 10 \log(120\pi) \quad (5.6)$$

$$E_{\text{med}} (\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}) = \varphi_{\text{med}} + 120 + 10 \log(120\pi) \quad (5.7)$$

$$\begin{aligned} \varphi_{\text{mín}} (\text{dBW}/\text{m}^2) &= P_S - A_a + L_f \quad (\text{Recepción Fija}) \\ &= P_S - A_a \quad (\text{Recepción Móvil}) \end{aligned} \quad (5.8)$$

$$\begin{aligned} \varphi_{\text{med}} (\text{dBW}/\text{m}^2) &= \varphi_{\text{mín}} + P_{\text{mmn}} + \text{CI} \quad (\text{Recepción Fija}) \\ &= \varphi_{\text{mín}} + P_{\text{mmn}} + \text{CI} + L_h + L_b \quad (\text{Recepción Móvil}) \end{aligned} \quad (5.9)$$

$$A_a (\text{dBm}^2) = G + 10 \log\left(\frac{1,64 * \lambda^2}{4\pi}\right) \quad (5.10)$$

donde:

- $L_f$  (dB) son las pérdidas en los cables y en los conectores.
- $Aa$  es el área efectiva de la antena, y depende de la frecuencia.
- $\varphi_{\min}$  es el valor mínimo de densidad de flujo de potencia en el lugar del receptor.
- $\varphi_{\text{med}}$  es el valor medio de densidad de flujo de potencia en el lugar del receptor.
- $E_{\min}$  y  $E_{\text{med}}$  son las intensidades de campo mínimo y medio, respectivamente.
- $G$ (dBd) es la ganancia de la antena (con referencia al dipolo de  $\lambda/2$ ).
- $P_{\text{mnm}}$  (dB) es la asignación del ruido impulsivo, 0 dB para las bandas IV y V.
- $CI$  (dB) es el factor de corrección para el porcentaje de localidades cubiertas.
- $Lh$  (dB) es el factor de corrección para la altura de las antenas (10 m – 1,5 m).
- $Lb$  (dB) son las pérdidas por penetración en edificios.

De manera de continuar con el ejemplo, se utilizarán los siguientes valores; frecuencias 500 MHz y 800 MHz, una ganancia de antena de 10 dB y 12 dB (con referencia al dipolo de  $\lambda/2$ ), y unas pérdidas en cables y conectores de 3 dB y 5 dB. Con estos valores se obtiene:

$$E_{\min}(dB\mu V/m) = 4,0 \text{ Para } 500 \text{ MHz.} \quad (5.11)$$

$$E_{\min}(dB\mu V/m) = 45,1 \text{ Para } 800 \text{ MHz.} \quad (5.12)$$

Para calcular la media de intensidad de campo mínima en el límite del área de cobertura, se introduce una nueva ecuación dada por:

$$CI(dB) = \mu * \sigma \quad (5.13)$$

donde:

- $\mu$  es el factor de distribución.

- $\sigma$  es la desviación estándar.

Para garantizar que la señal llegue con una calidad aceptable (70%) o una calidad buena (95%) a un porcentaje de localizaciones en el límite de la cobertura, se debe agregar al  $E_{mín}$  un margen estadístico. La variación de la intensidad de campo sigue una distribución log-normal con una desviación estándar, que en aéreas pequeñas es de 5,5 dB [Casas G., 2009].

La Recomendación 370-7 de la ITU (*International Telecommunication Union*) muestra las figuras con dicha distribución log-normal para las señales de banda estrecha y de banda ancha, en VHF y UHF. Las figuras dan una proporción, en dB, de la intensidad de campo para un porcentaje de localizaciones de recepción, con respecto a la intensidad de campo para el 50% de las localizaciones de recepción. Para dar cobertura a un porcentaje mayor, se aplica el factor de distribución, que es de 0,52 veces la desviación estándar para el 70% de las localizaciones, y 1,64 para cubrir el 95% de las localizaciones [Casas G., 2009]. Con estos valores se obtiene:

$$CI(dB) = 0,52 \times 5,5 = 2,9 \text{ dB (Aceptable)} \quad (5.14)$$

$$CI(dB) = 1,64 \times 5,5 = 9 \text{ dB (Buena)} \quad (5.15)$$

En el ejemplo, la intensidad de campo media mínima en el límite del área de cobertura, para una calidad de señal buena es:

$$E_{med}(dB\mu V/m) = 41,0 + 0 + 9 = 50,0 \text{ dB}\mu V/m \text{ (500 MHz)} \quad (5.16)$$

$$E_{med}(dB\mu V/m) = 45,1 + 0 + 9 = 54,1 \text{ dB}\mu V/m \text{ (800 MHz)} \quad (5.17)$$

Estos valores quieren decir que si el valor medio de intensidad de campo es mayor que 50  $dB\mu V/m$ , entonces el 95 % de las localizaciones superarán el campo mínimo de 41  $dB\mu V/m$  en los 500 MHz. De forma similar, se pueden interpretar los resultados para los 800 MHz y para la calidad aceptable de señal.

## Factores adicionales que incrementan la intensidad de campo mínima

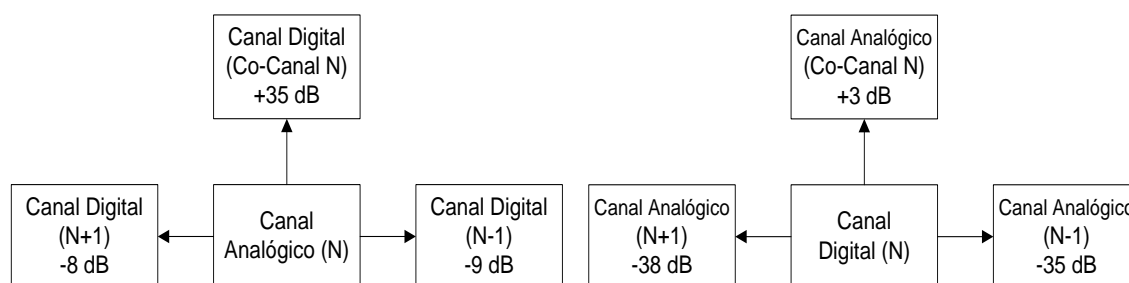
A los valores calculados de intensidad de campo en los límites del área de cobertura, se les debe agregar ciertos márgenes adicionales que incrementan dicha intensidad mínima requerida para poder decodificar la señal correctamente por parte del receptor. Estos márgenes depende del tipo de ambiente, R, S y U (rural, suburbano y urbano), donde se recibe la señal. Algunos de los factores que se explicaran a continuación ya están contemplados en las ecuaciones de la intensidad de campo, mientras que otros son márgenes que se deben agregar para compensar las posibles interferencias que puedan degradar la intensidad de la señal.

### *Disponibilidad de localización*

Los márgenes calculados con las ecuaciones 5.14 y 5.15, dependen de los ambientes de recepción. Para ambientes rurales se considera que es suficiente con garantizar sólo el 70% de las localizaciones, produciendo márgenes de que van de 2,5 dB a 3,5 dB que se deben agregar a la intensidad de campo calculada. Por su parte en ambientes suburbanos y urbanos se debe garantizar el 95% de las localizaciones, produciendo márgenes alrededor de los 9 dB [Australian Broadcasting Authority, 2005].

### *Interferencia*

Con la aparición de la televisión digital, desde un punto de vista regulatorio se pueden utilizar los canales adyacentes siempre y cuando ciertos márgenes de protección se cumplan [Australian Broadcasting Authority, 2005] (**Fig. 5.1**).



**Fig. 5.1: Márgenes de protección con canales adyacentes**



### Disponibilidad de tiempo

El instituto europeo de estándares de telecomunicaciones ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) ha propuesto dos (02) grados de servicios para la televisión digital: a) aceptable con 95%, b) bueno con 99%. La **Tabla 5.2**, muestran los márgenes que deben agregarse, en dB, para una altura efectiva de la antena transmisora de 300 m, y una distancia entre el transmisor y el receptor de 50 km, 100 km y 150 km [Australian Broadcasting Authority, 2005].

**Tabla 5.2: Disponibilidad de tiempo**

Márgenes en dB (Banda VHF y UHF)				
Distancia entre el Tx y el Rx en Km	Altura Efectiva del Tx 300 m (VHF)		Altura Efectiva del Tx 300 m (UHF)	
	Disponibilidad de Tiempo		Disponibilidad de Tiempo	
	95%	99%	95%	99%
50	1,3	1,8	1,5	3,6
100	5,5	6,0	4,3	7,2
150	7,8	8,4	6,0	9,3

### Umbral del receptor

El acoplamiento entre la antena y el receptor es importante en el momento de la implementación. Una ROE  $\leq 3$ dB (Relación de Onda Estacionaria) podría incrementar la figura de ruido hasta 5 dB, pudiendo aumentar la relación S/N hasta 0,3 dB. Estudios realizados muestran que debido al desacople de impedancia en el receptor, se incrementa el umbral de S/N de 0 a 1,7 dB, y la figura de ruido de 0 a 4,8 dB, dependiendo del canal y la antena. La **Tabla 5.3** muestra la ganancia de la antena y más importante aún, el umbral o mínimo C/N requerido [Australian Broadcasting Authority, 2005].

**Tabla 5.3: Funcionamiento del receptor**

Umbral de C/N requerido en dB									
Parámetros	Banda III			Banda IV			Banda V		
	R	S	U	R	S	U	R	S	U
Ganancia de la antena (con referencia al dipolo de $\lambda/2$ )	8	5	5	11	8	8	12	9	9
Umbral de C/N (dB)	20	22	24	20	22	24	20	22	24

### *Ruido artificial*

El ruido artificial es una fuente de ruido no coherente y debe ser añadida al ruido aportado por el receptor (representado por la figura de ruido en el cálculo de enlace). Esta asignación es el margen que se debe agregar en el cálculo de la intensidad de campo, en dB, junto con las asignaciones para la figura de ruido del receptor y la pérdida del cable, para tener el efecto neto del ruido artificial. La **Tabla 5.4** muestra los márgenes que deben agregarse, en dB, referentes al ruido artificial dependiendo del ambiente, figura de ruido y pérdidas en cables [Bendov y Wu, 2004].

**Tabla 5.4: Ruido artificial en dB**

<b>Márgenes que se deben añadir producto del ruido artificial (dB)</b>			
<b>Margen</b>	<b>Banda III</b>	<b>Banda IV</b>	<b>Banda V</b>
<b>Figura de Ruido en el Receptor (dB)</b>	6,0	7,0	8,0
<b>Perdidas en Cables (dB) (rural/suburbano/urbano) (15m/10m/10m)</b>	3/2/2	4/2,7/2,7	5/3,4/3,4
<b>Urbano</b>	7	3	2
<b>Suburbano</b>	3	1	1
<b>Rural</b>	1	0	0

### *Altura de la antena*

La altura efectiva de la antena transmisora es la altura del centro de radiación de la antena sobre el nivel medio del terreno entre 3 km y 15 km desde el transmisor hacia el receptor. La altura de la antena receptora se ha normalizado en 10 m (respecto al terreno local) para aplicaciones de radiodifusión [Australian Broadcasting Authority, 2005]. Para la recepción suburbana y urbana se asume que la antena receptora utilizada tiene menos altura. Asumiendo 5 m de altura en la antena receptora para estas zonas, los márgenes de corrección se muestran en la **Tabla 5.5**.

**Tabla 5.5: Márgenes para una altura de la antena Rx de 5 m**

	<b>VHF (dB)</b>	<b>UHF (dB)</b>
<b>S</b>	5	6
<b>U</b>	6	8

### *Recepción móvil/portátil*

Medidas realizadas entre el nivel de señal de una antena de techo a 1,5 metros sobre el nivel del terreno, arrojan, en UHF, unas pérdidas combinadas entre altura y penetración de 34 dB para el 50% de espacios en el 90% de las localizaciones dentro del espacio, y 41 dB de pérdidas en todos los espacios en el 50% de las localizaciones dentro del espacio. Pero se puede sugerir un valor medio de 37dB para ambas bandas UHF y VHF [Bendov y Wu, 2004].

#### **b) Método del espacio libre**

En virtud de las condiciones de espacio libre, la intensidad de campo en el sitio de recepción se puede calcular como [Fischer, 2008]:

$$E[dB\mu V/m] = 106.9 + 10\log[ERP(kW)] - 20\log[d(km)] \quad (5.18)$$

donde:

- E es la intensidad de campo eléctrico.
- ERP (*effective radiated power*) es la potencia efectiva radiada.
- d es la distancia del transmisor al receptor.

Esta ecuación no calcula la intensidad de campo utilizando la C/N y convirtiendo el nivel de señal en la entrada de la antena receptora como el caso anterior, sino que dá un valor de intensidad de campo dependiendo de la potencia del transmisor y la distancia entre el transmisor y el receptor. Sin embargo, en condiciones reales, al valor obtenido se le deben restar entre 20 dB y 30 dB, y aun más en el caso de recepción en interiores, debido a los obstáculos en el camino de la señal que producen desvanecimientos en la misma.

#### **Cálculo de la potencia de salida del transmisor**

Para calcular la potencia de salida ( $P_S$ ) del equipo [Fischer, 2008], se utiliza la siguiente

expresión:

$$P_S = ERP + Lf - G \quad (5.19)$$

donde

- $Lf$  son las pérdidas cables y conectores, en dB
- $G$  es la ganancia antena (referente al dipolo de  $\lambda/2$ ), en dBd

### 5.1.2 Método de la proporción

La proporción es encontrada tomando en cuenta solamente los factores en el los cuales el planeamiento del sistema digital se diferencia del analógico. La **Tabla 5.6** muestra un resumen de cómo se obtiene la proporción requerida entre un servicio digital y un servicio análogo para proporcionar el mismo nivel de cobertura [Australian Broadcasting Authority, 2005].

**Tabla 5.6: Método de la proporción**

<b>Márgenes Utilizados y proporción final que debe agregarse (dB)</b>									
<b>Parámetros</b>	<b>Banda III</b>			<b>Banda IV</b>			<b>Banda V</b>		
	<b>R</b>	<b>S</b>	<b>U</b>	<b>R</b>	<b>S</b>	<b>U</b>	<b>R</b>	<b>S</b>	<b>U</b>
<b>Umbral base requerido de C/N (dB) en el sistema Digital</b>	20			20			20		
<b>Múltiples trayecto (dB)</b>	0	2	4	0	2	4	0	2	4
<b>Disponibilidad de Localización (dB)</b>	4	6,5	8,5	4,5	7,0	9,0	4,5	7,0	9,0
<b>Asignación por ruido Ambiental (dB)</b>	0,5	1	1,5	0	0	0,5	0	0	0
<b>Margen por Interferencias (dB)</b>	1	0	0	1	0	0	1	0	0
<b>Total de C/N requerido en el sistema Digital (dB)</b>	25,5	29,5	34	25,5	29	33,5	25,5	29	33
<b>Umbral base requerido de C/N (dB) en el sistema Analógico</b>	26			26			26		
<b>Disponibilidad de Localización (dB)</b>	7	11	13,5	7	12	15,5	7	12	15,5
<b>Total de C/N requerido en el sistema Analógico (dB)</b>	33	37	39	33	38	41,5	33	38	41,5
<b>Diferencia de Ancho de Banda (DW) (dB)</b>	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
<b>Proporción Total (dB)</b>	6,2	5,7	4,2	6,2	6,7	5,7	6,2	6,7	6,2

Nota:

- No son tomados en cuentas los márgenes necesarios para evitar interferencias con los servicios analógicos (solo se agrega 1 dB, aunque en realidad es mucho más).
- La diferencia entre los ancho de banda en frecuencia intermedia de los receptores analógicos y digitales, proporciona un margen 1,3 dB.

La proporción total resultante (PT) esta expresada por [Australian Broadcasting Authority, 2005]:

$$PT(dB) = \left(\frac{C}{N}\right)_{Anal\acute{o}gico} - \left(\frac{C}{N}\right)_{Digital} - \Delta B \quad (5.20)$$

donde  $\Delta B$  es la diferencia de ancho de banda en frecuencia intermedia.

## 5.2 PROPUESTA DE PLANIFICACIÓN DE FRECUENCIA Y CÁLCULO DE COBERTURA

### 5.2.1 Experiencias de otros países

Experiencias recientes de otros países, como el Reino Unido, muestran el proceso para introducir el sistema de TDT en un congestionado espectro ocupado por el antiguo sistema de televisión analógica. En los primeros pasos, se realiza un estudio de las frecuencias disponibles y a su vez se planifican o asignan los canales en los que se comenzará a transmitir la TDT. Los siguientes pasos están asociados con los requerimientos del operador y las técnicas utilizadas para la planificación de la cobertura y el número de servicios a proporcionar [Laflin y Doel, 1996].

En el Reino Unido, los canales 35, 36, 37 y 38 de la banda UHF no son usados por la televisión analógica en ninguna región del país. Por esta razón, ellos proponen implementar el canal 35 para una red SFN nacional. El Reino Unido propone un plan en el cual los demás canales digitales pueden ser transmitidos con una red MFN, en los canales libres que se dejan

a modo de guarda entre los canales analógicos. La televisión analógica, con la finalidad de evitar interferencias, puede tener por cada canal analógico hasta 5 canales sin utilizarse. Estos canales se presentan como una opción para implementar la TDT, pero la posibilidad de utilizarlos depende de la densidad del uso del espectro por parte de la televisión analógica. Eso se debe a que en las zonas montañosas se emplean un gran número de transmisores, es decir, muchas frecuencias, mientras que en áreas costeras, aunque un sólo transmisor puede ser suficiente, suelen haber interferencia con regiones limítrofes.

El Reino Unido considera al momento de planificar una red de televisión digital, dos (02) requerimientos básicos [Laflin y Doel, 1996]:

- Garantizar la compatibilidad con los servicios existentes, para no interferir con estos usuarios
- Obtener el máximo de cobertura a un mínimo costo, es decir con el menor número de transmisores posible.

Las redes SFN y MFN pueden cubrir grandes áreas, y el plan utilizado en cada país para la introducción y desarrollo del servicio depende de los requerimientos de los operadores y de las políticas aplicadas a la distribución de la red de TDT. Por ejemplo, en Alemania se instaló una red SFN que abarca las principales ciudades logrando una gran cobertura. Esto es una forma de motivar a la mayor cantidad de usuarios posibles para que adopten la nueva tecnología que ofrece la TDT.

En todos los demás países como Francia, Croacia, España y muchos otros que ya comenzaron transmisiones en digital y poco a poco sustituyen a las analógicas, se intenta que la transición traiga consigo el menor gasto posible tanto a los operadores como, más importante aún, a los usuarios. Por esta razón, se comienzan utilizando los emplazamientos ya construidos del sistema analógico, es decir, sólo adquiriendo los nuevos transmisores digitales para instalarlos en la actual infraestructura. Todos estos países comienzan la transición realizando un plan de frecuencias, y de acuerdo a ello, planifican el tipo de red que se va a implementar, todo esto acompañado de los estudios de cobertura necesarios.

En resumen, es importante al momento de planificar, tener cuidado con las interferencias que puedan surgir entre los nuevos servicios digitales y los antiguos servicios analógicos, y también entre sí.

### 5.2.2 Cálculo de cobertura y propuesta de planificación

El cálculo de cobertura se hizo utilizando el programa *Radio Mobile* (RM)<sup>5</sup> [Polankko, 2009]. Se ubicaron los transmisores según la plataforma analógica actual descrita en el Capítulo 4, y se calculó la media mínima de intensidad de campo para obtener la cobertura, teniendo en cuenta los parámetros de los tres (03) estándares (DVB-T, ISDB-T y DTMB) que conforman la propuesta de planificación.

La **Fig. 5.2** muestra el mapa del estado Mérida obtenido con RM, donde se pueden observar las zonas que forman parte de la propuesta de planificación representadas por círculos de diferentes colores. La zona roja (círculo rojo) engloba la ciudad de Mérida, Ejido, Tabay, Jaji, Muchuchies, entre otras poblaciones cercanas a la capital del estado. La zona amarilla (círculo amarillo) muestra la parte de El Vigía y la zona panamericana. La zona negra (círculo negro) muestra la parte de Bailadores, Tovar y Santa Cruz de Mora. Por último, se muestra la zona azul que representa los pueblos del sur.

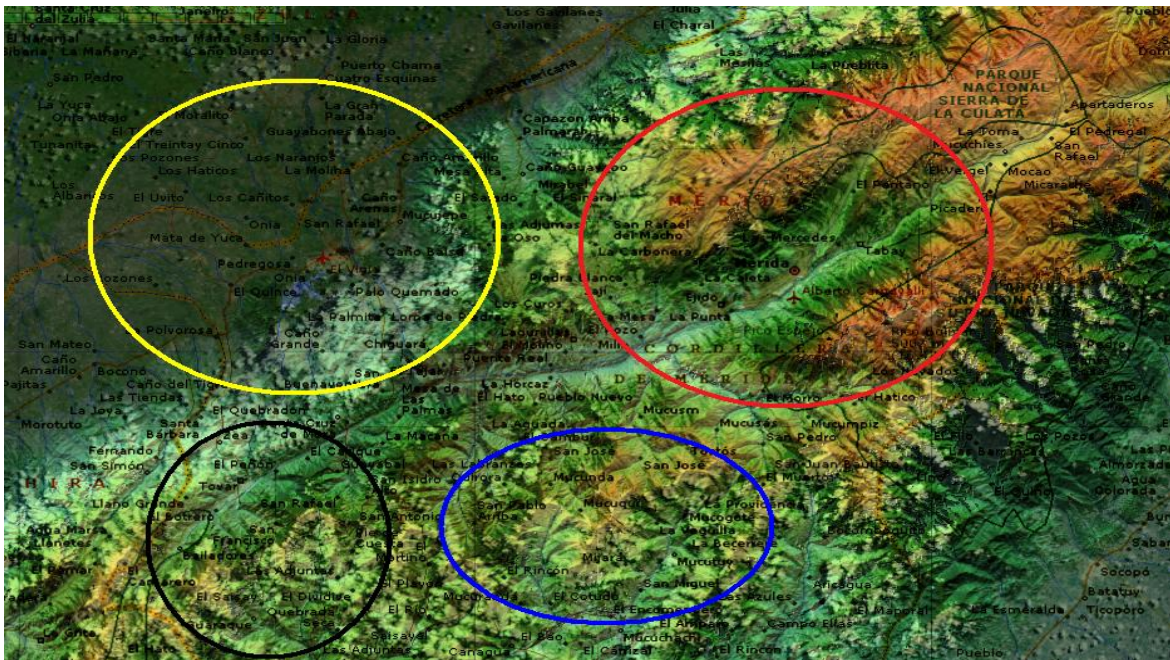
Basándose en las experiencias de otros países y en el uso actual del espectro por parte de los canales analógicos, se propone el canal 30 (566-572 MHz) y el canal 32 (578-584 MHz) de la banda UHF para realizar el cálculo de cobertura. Estos canales no se encuentran en uso actualmente y tampoco presentan canales analógicos cercanos que puedan interferir su señal. Se plantea una red SFN que cubra todo el estado, para lo cual fue necesario incluir tres (03) *gap-fillers*. Uno de ellos cumple la función de asegurar que no se supere la distancia máxima permitida entre transmisores (67 km) y los otros dos (02) ilustran como un *gap-filler* puede aumentar la cobertura.

Como esta propuesta está orientada al estado Mérida, se parte asumiendo que hay una

---

<sup>5</sup> Este programa es de uso libre.

solución ya planteada para la distribución de las televisoras nacionales que llegan al estado. Por esta razón, se propone utilizar el canal 32 para transmitir todas estas televisoras multiplexadas en una red SFN. Esta misma red SFN será utilizada por el canal 30 para transmitir los canales regionales y comunitarios, los cuales deben ser multiplexados en un centro de multiplex y distribuidos a las estaciones transmisoras por medio de una red de bajo retardo, preferiblemente enlaces microondas.



**Fig. 5.2:** Mapa del estado Mérida, utilizando *Radio Mobile*

#### a) Ubicación de Transmisores, re-transmisores y unidades de referencia

La **Fig. 5.3** muestra, a escala de grises, el mapa del estado Mérida que contiene la distribución de los transmisores de la señal de TV (círculos amarillos) según la plataforma del sistema analógico descrita en el capítulo 4. El transmisor que cubre la zona roja está ubicado en San Rafael de Chama, el que cubre la zona amarilla en el páramo San Telmo y el que cubre la zona negra en Bailadores. También muestra los tres (03) *gap-fillers* (círculos verdes) que ilustran cómo se puede aumentar la cobertura, y finalmente varias unidades de referencia (círculos vino tinto) que sirven para estudiar el nivel de campo en las distintas poblaciones donde debería recibirse la señal perfectamente.



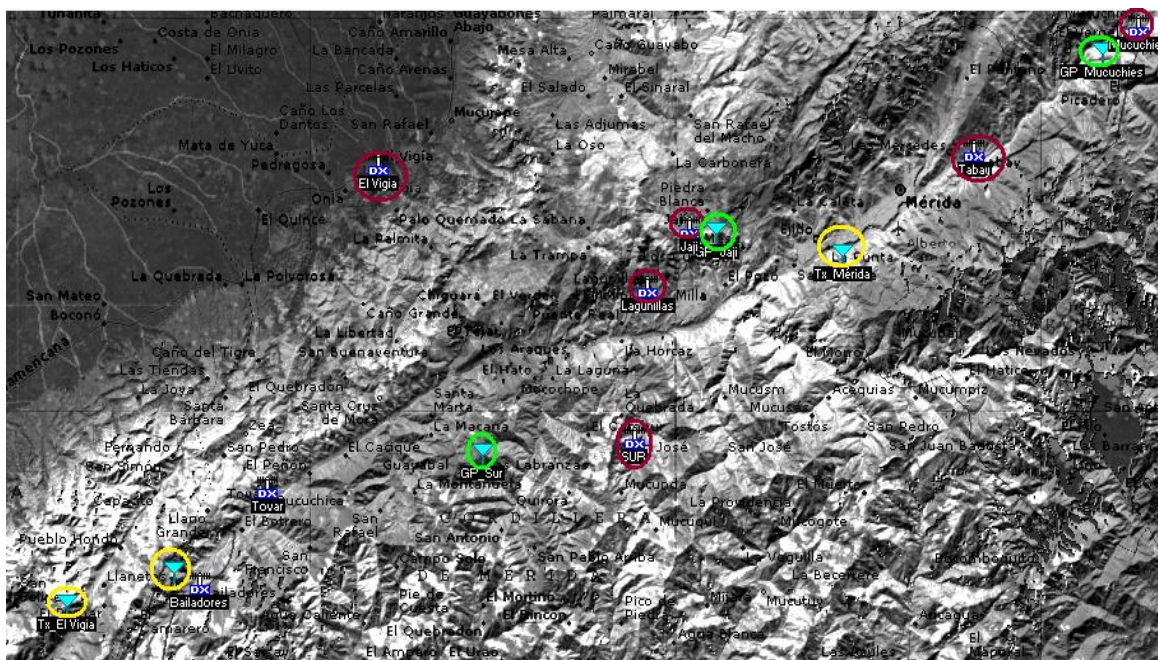


Fig. 5.3: Transmisores, repetidores y unidades de referencia

#### b) Parámetros utilizados en la simulación de la cobertura

La **Tabla 5.7a** y la **Tabla 5.7b** muestran los parámetros usados en la simulación de la cobertura, en base a los estándares y las zonas en estudio.

**Tabla 5.7a: Parámetros de la Simulación en *Radio Mobile***

Estándar	DVB-T	ISDB-T	DTMB
<b>Escenario</b>	Canal <i>Ricean</i> , 64-QAM, FEC 3/4, IG 1/16 y Canal 30 y 32 de UHF	Canal <i>Ricean</i> , 64-QAM, FEC 3/4, IG 1/16 y Canal 30 y 32 de UHF	Canal <i>Ricean</i> , 64-QAM, FEC 0,6, Señal Marco de 4200 símbolos, FH 420 y Canal 30 y 32 de UHF
<b>*Mínimo C/N Requerido (dB)</b>	18,6	20,1	19
<b>**Ganancia de la Antena (dB)</b>	8	11	12
<b>Velocidad de Transmisión (Mbps)</b>	18,66	18,255	23,365
<b>***E<sub>mín</sub> (dBμV/m) (Canal 30/Canal 32)</b>	45,57 / 47,90	44,07 / 46,40	41,97 / 44,30
<b>***E<sub>med</sub> (dBμV/m) (Canal 30/Canal 32)</b>	54,57 / 56,90	53,07 / 55,40	50,97 / 53,30
<b>***E<sub>simulación</sub> (dBμV/m)</b>	59	57	55
<b>****Altura de la Antena Transmisora (m)</b>	100 - 15	100 - 15	100 - 15

Nota:

- \*El valor del mínimo de C/N requerido para el estándar DVB-T, se encuentra en la Tabla 5.1. Para los estándares ISDB-T y DTMB dicho valor se extrajo de [Song y Yan, 2007], [Marianov, Oberli y Ríos, 2006].
- \*\*Debido a que la potencia de transmisión está estrechamente ligada a la ganancia de la antena (expresión 5.19), los 3 dB en ganancia de potencia que le ofrecen los procesos de entrelazamiento de ISDB-T comparado con DVB-T se ven expresados en la ganancia de la antena. DTMB, además de tener un proceso de entrelazamiento más que DVB-T, tiene la mejor FEC de los tres (03) estándares. Por esta razón, teóricamente debería ser superior a los otros estándares, pero sólo se agregó 1 dB más que ISDB-T, en primer lugar, por la falta de pruebas que validen esta teoría y en segundo lugar, porque DTMB presenta un tipo de FH que consume más potencia que los símbolos que llevan la información, es decir, se reduce la eficiencia de potencia. [Pérez, 2009 ]
- \*\*\*La intensidad de campo se calculó con las expresiones presentadas en el inicio de este capítulo. Se añadió un margen de 4 dB (canal 30) y 2 dB (canal 32) para igualar la intensidad requerida por ambos canales.
- \*\*\*\*La altura de la antena transmisora se tomó como 100 m, excepto para los casos que se utilizó un re-transmisor. En estos casos, se tomó 15 m para representar un *gap-filler*, el cual, no necesita una torre como la usada en las estaciones principales de TV, y se usó una potencia de 10 W.

En la **Tabla 5.7b** aparecen los demás parámetros utilizados en la simulación de la cobertura.

**Tabla 5.7b: Parámetros de la Simulación en Radio Mobile.** Continuación

<b>Altura de la Antena Receptora (m)</b>	10	10	10
<b>Pérdidas en cables y conectores (dB)</b>	4	4	4
<b>Zona</b>	<b>Roja</b>	<b>Amarilla</b>	<b>Negra</b>
<b>Disponibilidad de Localizaciones</b>	95%	95%	80%
<b>Disponibilidad de Tiempo</b>	99%	99%	99%
<b>Potencia de Transmisión (KW)</b>	3	2,5	0,4

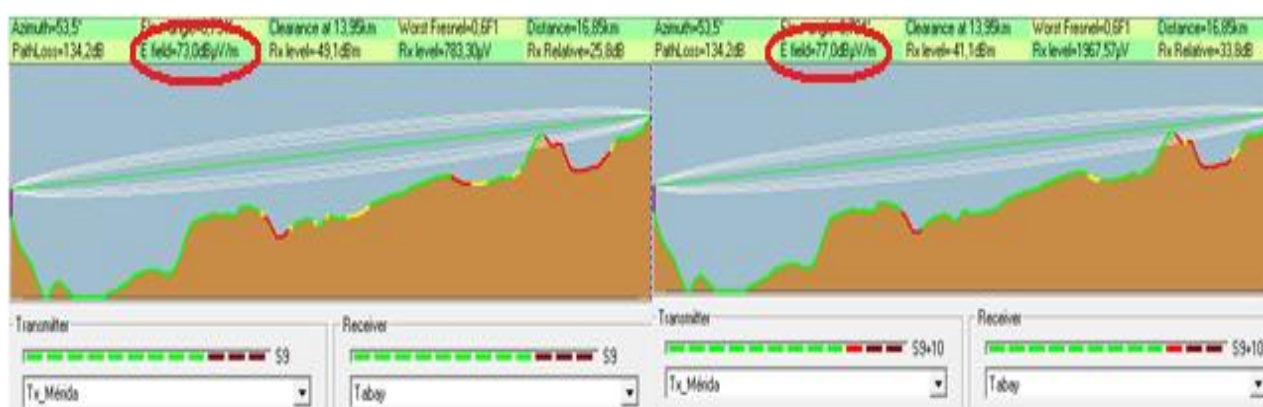


El color verde representa la cobertura de la zona amarilla donde está ubicada la población de El Vigía, el color azul representa la cobertura de la zona negra y la zona azul y finalmente el color amarillo representa la cobertura de la zona roja donde se encuentra la ciudad de Mérida. También se aprecia la parte donde se solapan las aéreas de cobertura en las cuales teóricamente debe existir una ganancia de la red.

La accidentada geografía del estado trae como consecuencia el uso de muchos transmisores para cubrirlo por completo. Por esta razón, la cobertura de los pueblos del sur del estado es muy difícil lograrla debido a sus muchas montañas y diferentes alturas. El uso de *gap-fillers* es una alternativa viable para hacer llegar la señal a estas zonas en una red SFN.

El programa Radio Mobile se configuró de manera tal que en vez de pintar de varios colores la zona de cobertura dependiendo del nivel de intensidad de campo, pintara de un solo color las zonas donde la intensidad de campo fuera mayor igual a la medida de intensidad de campo mínima calculada y mostrada en la **Tabla 5.7a** ( $E_{\text{simulación}}$ ). De esta forma se aprecia de mejor forma el área de cobertura y se supone que cualquier zona dentro de esta área recibirá la intensidad de campo suficiente para decodificar exitosamente la señal de TV.

Las **Fig. 5.5** y **Fig. 5.6** muestran la intensidad de campo en las unidades de referencia.

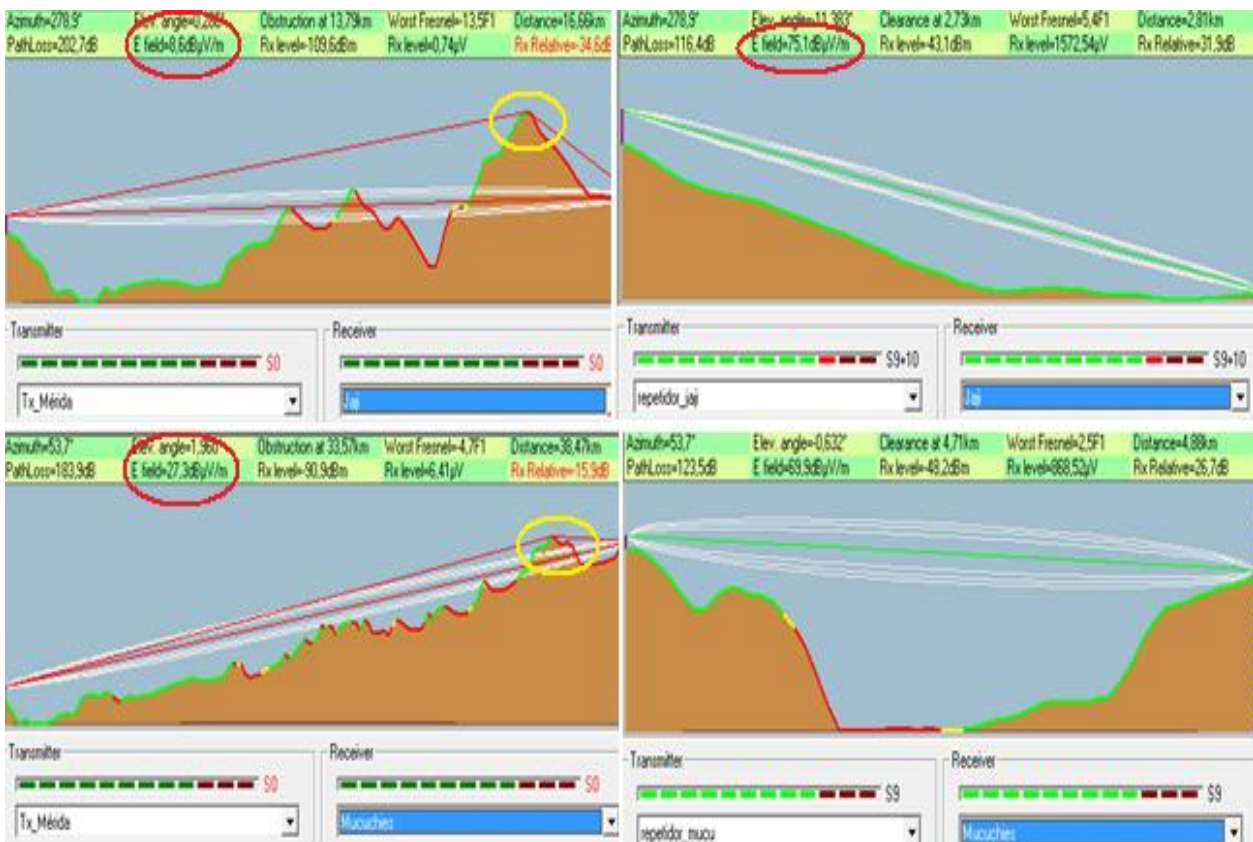


**Fig. 5.5: Intensidad de campo en la población de Tabay (estándares DVB-T y DTMB)**

En la **Fig. 5.5** muestra la intensidad de campo en la población de Tabay proporcionada por el transmisor que está ubicado en San Rafael de Chama (ver Capítulo 4). Se escogió Tabay

como unidad de referencia, debido a que es una zona alejada del transmisor donde la señal analógica no llega con buena calidad, representando así la cobertura superior del sistema digital con menor potencia de transmisión. A la izquierda de la imagen se observa la cobertura del estándar DVB-T (73 dB $\mu$ V/m), mientras que a la derecha se observa el estándar DTMB (75,1 dB $\mu$ V/m)

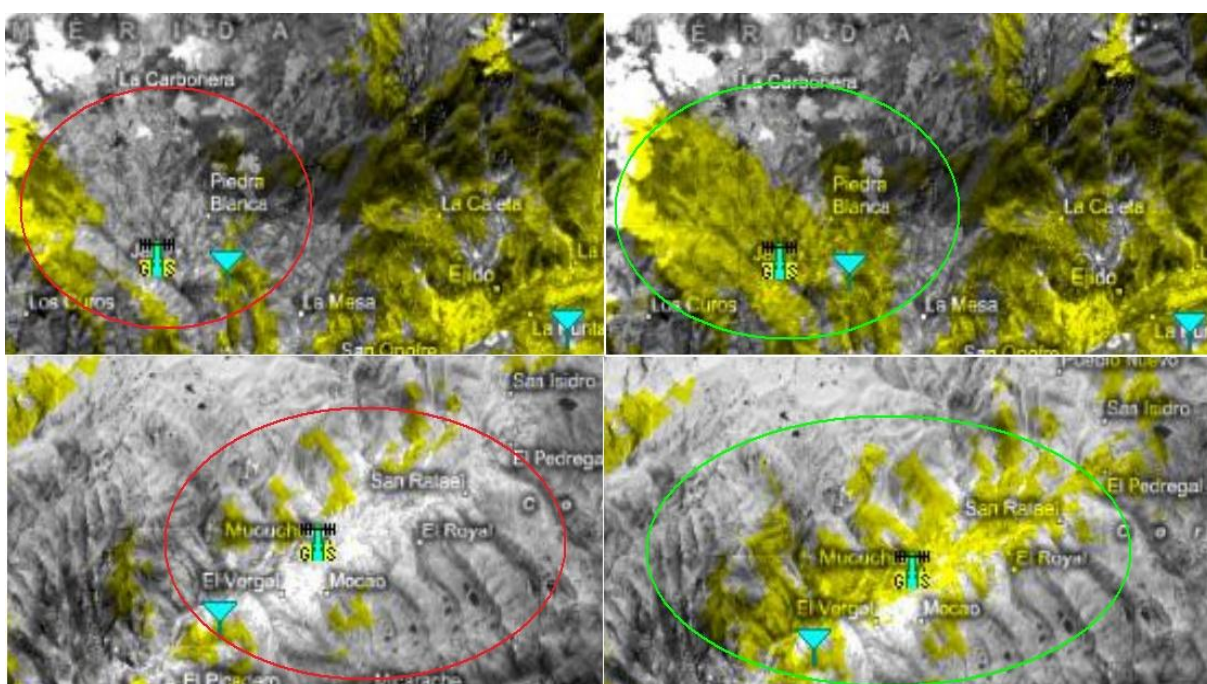
La **Fig. 5.6** (parte superior izquierda y derecha) muestra que el transmisor principal no tiene línea de vista con la población de Jaji donde se colocó una unidad de referencia para medir la intensidad de campo. El círculo amarillo señala el obstáculo que interfiere la señal el cual es una montaña que a su vez puede ser usada para colocar un *gap-filler*. Al colocar un *gap-filler* en esta montaña se obtiene una intensidad de campo de 73,1 dB $\mu$ V/m en la población de Jaji. Este valor es más que suficiente para proporcionarle cobertura a dicha zona. La parte inferior de la imagen muestra la misma situación para la población de Mucuchies en la cual un *gap-filler* le proporciona 69,9 dB $\mu$ V/m.



**Fig. 5.6:** Ilustración de la colocación de *gap-fillers* para aumentar la cobertura

En la **Fig. 5.7** se muestra claramente el nivel de cobertura proporcionado por los *gap-fillers*.

La **Fig. 5.8** presenta la cobertura de la ciudad de Mérida donde se aprecia una cobertura total, incluso en Ejido y Tabay. Por otro lado, la población de Lagunillas no recibe buena señal y se observa en el círculo rojo de la imagen. La cobertura de Lagunillas es proporcionada por el transmisor que está ubicado en Bailadores y reforzada por el *gap-filler* que se muestra en la **Fig. 5.9**, encerrado en el círculo vino-tinto.



**Fig. 5.7: Cobertura antes y después de los gap-fileras**

En la **Fig. 5.10** muestra lo que ya se mencionó de la población de Lagunillas, donde se observa que el transmisor de Bailadores le proporciona muy buen nivel de señal (62,3 dB $\mu$ V/m) con ambos estándares: DVB-T a la izquierda, y DTMB a la derecha de la imagen, en la parte inferior.

El Vigia, por estar ubicada en tierras planas, presenta muy buen nivel de señal al igual que todas las poblaciones cercanas a este lugar (ver **Fig. 5.11**). Entre estas poblaciones se encuentran las ubicadas en la zona panamericana.

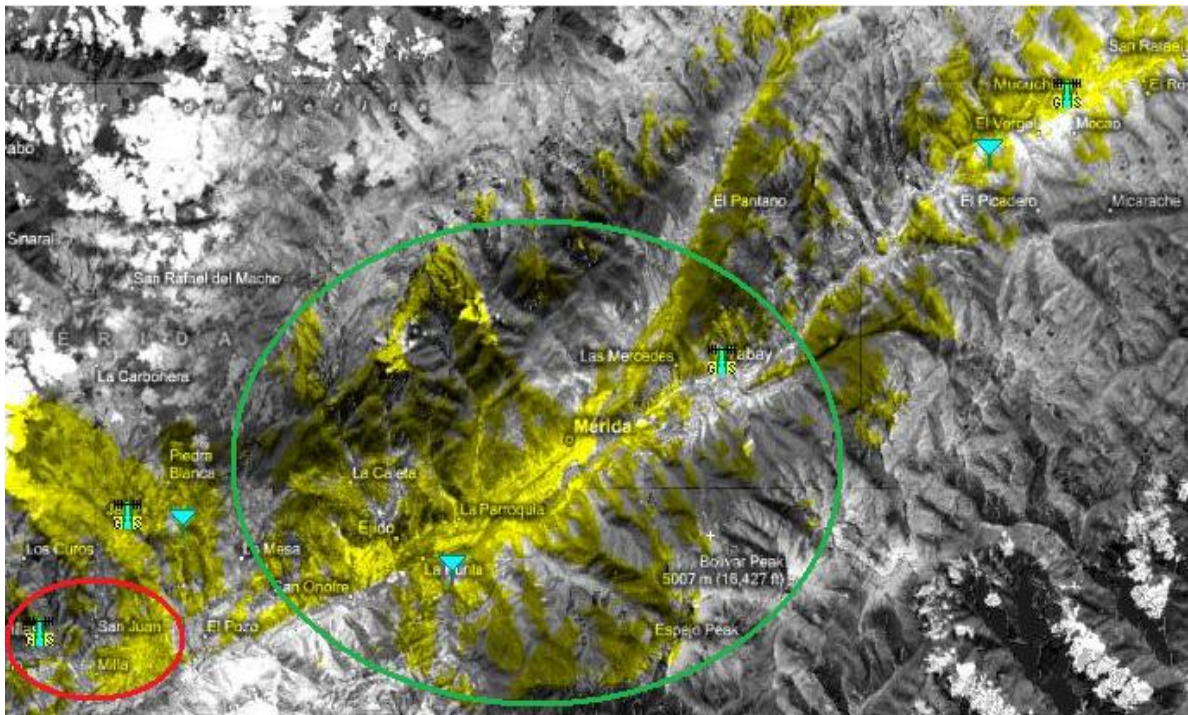


Fig. 5.8: Cobertura de la ciudad de Mérida

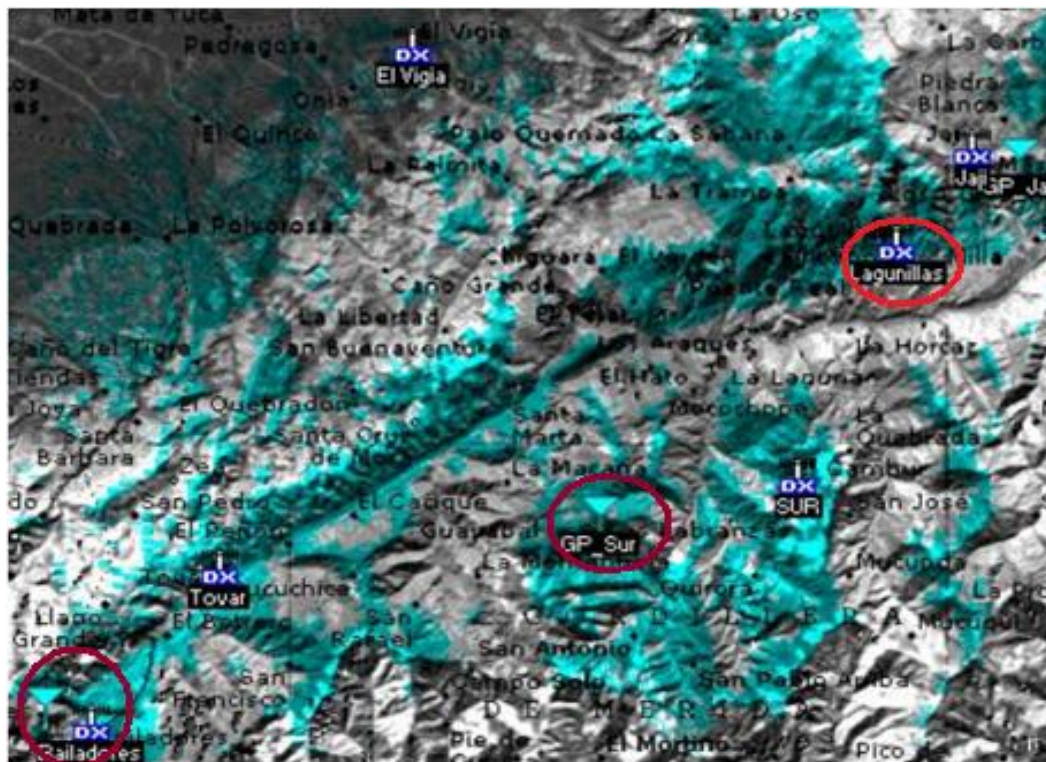


Fig. 5.9: Cobertura de Tovar, Bailadores, Lagunillas y pueblos de Sur





# CONCLUSIONES

El diseño de propuestas de planificación agilizará el proceso de introducción de la TDT en el país. Al plantearse distintos escenarios y calcular la cobertura y las posibles interferencias entre ambos sistemas (analógico y digital), se puede construir un plan técnico apropiado para aprovechar al máximo los beneficios del nuevo sistema digital. Todo esto debe estar acompañado de modelos de negocios y de las normativas necesarias para que el nuevo sistema se logre consolidar.

Al estudiar una propuesta de cobertura para el estado Mérida queda en evidencia la superioridad de la red digital, presentando teóricamente niveles de señal adecuados en zonas donde la actual televisión analógica no se recibe con buena calidad. Debido a las propiedades de la señal digital, donde se reciba el campo mínimo necesario para decodificar la señal, se asegura que la imagen sea “perfecta”, es decir, idéntica a la transmitida. Al analizar las graficas del cálculo de cobertura se observa que se cumple y supera la mínima intensidad de campo en las zonas más importantes y con mayor número de personas del estado Mérida.

Otro punto importante es que por ser Mérida una zona montañosa no se observa una diferencia significativa entre la cobertura que proporcionan los diferentes estándares incluidos en la propuesta de planificación. Esto se debe a que las diferencias de 3 a 5 dB en ganancia de potencia entre los estándares no son suficiente, cuando a la señal se le interponen grandes montañas, como para observar una cobertura significativamente mayor. La diferencia se aprecia en que la intensidad de campo recibida en ciertas zonas particulares es un poco mayor para los estándares DTMB e ISDBT en comparación con el estándar DVB-T.

Esto conlleva a la conclusión de que la superioridad de un estándar frente a otro en el caso de zonas como el estado Mérida, está más orientada a los tipos de servicios que este estándar

pueda ofrecer y soportar, más que al nivel de cobertura. Los estándares ISDB-T y DTMB presentan características intrínsecas para soportar la recepción móvil, debido a sus procesos de entrelazamiento en el tiempo y la frecuencia, pudiendo transmitir la señal a dispositivos móviles en el mismo canal RF en el cual se transmite a los receptores fijos, lo que ofrece un atractivo adicional para la implementación de distintas topologías de red basándose en alguno de estos estándares.

## **RECOMENDACIONES**

Toda planificación de TDT no está completa sin un estudio económico, social y reglamentario que complemente la parte técnica. Se recomienda planificar nuevos emplazamientos para transmisores y estudiar los niveles de interferencia que puedan surgir en caso de imprimir la TDT entre los canales donde se transmite el sistema analógico, y proponer nuevas alternativas que contemplen los aspectos económicos y reglamentarios. De esta forma, se podrá crear un plan que contemple todos los servicios que se puedan ofrecer a los usuarios y las redes necesarias para transmitir los mismos.

## REFERENCIAS

- Australian Broadcasting Authority. (2005). *The Digital Terrestrial Television Broadcasting Planning Handbook (DTTB Planning Handbook)*, Marzo, 2008.
- Bendov O., Wu Y., Rhodes C. y Browne J. (2004). Planning Factors for Fixed and Portable DTTV Reception. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 50 (3). 209-223.
- Blake, R. (2004). *Sistemas Electrónicos de Comunicaciones* (2<sup>da</sup> ed). México: International Thomson Editores, S.A.
- Briceño, J. (1998). *Principio de las Comunicaciones*. Mérida: Publicaciones de la Universidad de los Andes.
- Burel G. y Magnez P. (1999). Transmitters Separation for Single Frequency Networks. *IEEE Transaction on Consumer Electronic*, 42 (1), 221-233.
- Casas G., J. (2009). *Estudio y análisis de cobertura de la señal de Televisión Digital Terrestre en zonas rurales del municipio de Lorca. Propuesta de solución a zonas de pobre recepción de señal con la instalación de reemisores de pequeña potencia o Gap-fillers*. Trabajo de Grado no publicado. Universidad Politécnica de Cartagena. Colombia.
- Comisión Nacional de Televisión. (2008). *República de Colombia: Televisión Digital Terrestre*, Agosto, 2008.
- Delgado G., A. (2001). *Flujos de Programa y de Transporte MPEG-2: Aplicación a DVB*. Monografía. Universidad Politécnica de Madrid. España.
- Faria G. y Henriksson J. (2006). DVB-H: Digital Broadcast Services to Handheld Devices. *Proceedings of the IEE*, 94 (1), 192-209.
- Faúndez, M. (2001). *Sistemas de Comunicaciones*. España: MARCOMBO, S.A.
- Fischer, W. (2008). *Digital Video and Audio Broadcasting Technology: A Practical Engineering Guide* (2<sup>da</sup> ed). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Gozálvez D. y Cardona N. (2006). Transmisión de Servicios de Televisión Digital Móvil en Redes DVB-SH. Proyecto Singular Estratégico FURIA (Futura Red Integrada Audiovisual), plataforma e-NEM. [www.furiapse.com](http://www.furiapse.com)

- Haykin, S. (2001). *Communication System* (4<sup>ta</sup> ed). U.S.A: John Wiley & Sons, Inc.
- Laflin J. y Doel G. (1996). The Plan for Digital Terrestrial Television in the UK. *IEEE International Broadcasting Convention. Conference Publication No. 428*.
- Liang W. et al. (2007). Digital Terrestrial Television Broadcasting in China. *IEEE Computer Society*, 52 (1), 92-97.
- Marianov V., Oberli C. y Ríos M. (2006). *Análisis de los Estándares de Transmisión de Televisión Digital Terrestre y su Aplicabilidad al Medio Nacional*. Trabajo de Grado no publicado. Pontificia Universidad Católica de Chile. Chile.
- Pérez N. et al. (2009). Transferencia/Apropiación Tecnológica en Televisión Digital Terrestre (TDT) en Venezuela: Una Visión Académica. Artículo no publicado.
- Polanko Desing Networks Inc., 2009, <http://www.cplus.org/rmw/english1.html>.
- Prieto H., D. y Al-Majdalawi A., A. (2006). *Televisión Digital Terrestre*. Monografía. Universidad de Valladolid. España.
- Song J. y Yang Z. (2007). Technical Review on Chinese Digital Terrestrial Television Broadcasting Standard and Measurements on Some Working Modes. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 53 (1), 1-7.
- Soprano, D. (2002). *what exactly is 8-vsbs anyway?*. On-line. <http://www.broadcast-papers.com/whitepapers/Harris8VSB.pdf>.
- UIT-D, Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2006). *Informe sobre la Cuestión 11-1/2*, Geneva, 2006.
- Valentín, R. (2004). *Manual de transmisión Digital de TV*. Italia: ABE Elettronica S.p.A.
- Vargas, H. (2007). *Descripción de estándares de compresión de video: H.263 y MPEG4*. On-line. <http://alumnos.elo.utfsm.cl/~avalo/Proyecto/avance/avance1.pdf>
- Vivas L. (1992). Los Andes Venezolanos. Academia Nacional de la Historia. Caracas, 1992
- Wang J., Yang Z. y Pan C. (2004). A New Implementation of Single Frequency Network Based on DMB-T. *IEEE Communications, Circuit and System*, Vol. 1, 246-249.
- Wu Y., et. al. (2000). Comparison of Terrestrial DTV Transmission Systems: The ATSC 8-VSB, the DVB-T COFDM, and the ISDB-T BST-OFDM. *IEEE Transactions on Broadcasting*. 46 (2). 101-113.