DEFINICIÓN DE LOS CRITERIOS TÉCNICOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN EN COLOMBIA DEL SERVICIO DE TELEVISIÓN DIGITAL EN LA TELEFONÍA MÓVIL

ANEXOS

PAOLA ANDREA BURBANO CABRERA
RUBÉN DARÍO SOLARTE ARIAS

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES
GRUPO I+D NUEVAS TECNOLOGIAS EN TELECOMUNICACIONES
POPAYÁN
2008

ANEXO A. HISTORIA Y EVOLUCIÓN DE LA TELEVISIÓN EN COLOMBIA

Los medios de comunicación han jugado desde siempre un papel importante dentro del desarrollo de la sociedad, motivo por el cual se avanza cada vez más en su optimización para facilitar en gran medida la vida cotidiana. La televisión no es la excepción y es el medio de difusión de información más importante a nivel mundial.

La historia de la televisión en Colombia inicia hacia el año de 1936 cuando el entonces capitán Gustavo Rojas Pinilla viajó a Alemania en una comisión que se dirigió a dicho país para la compra de armamento por motivo de la guerra entre Colombia y Perú. Al llegar al país europeo, el capitán observó con asombro y admiración uno de los inventos de mayor repercusión en el ámbito de las telecomunicaciones como lo es la televisión, y desde entonces tuvo la iniciativa de traerla al país algún día. Ya para el año de 1953 cuando Rojas Pinilla fue elegido como presidente de Colombia, este inició las gestiones pertinentes. [1]

La persona delegada para iniciar este proyecto fue Fernando Gómez Agudelo, en ese entonces director de la Radio Difusora Nacional, quien debía cumplir con la orden inicial de inaugurar el servicio de televisión en el país antes de cumplir el primer año de gobierno. El primer gran reto para Gómez Agudelo fue cómo poder irradiar la señal de televisión en un territorio tan accidentado geográficamente como el colombiano, motivo por el cual inició un estudio acerca de los fabricantes de antenas que suplieran con dicho inconveniente y que dieran la cobertura necesaria. Tras el estudio respectivo se supo que la empresa alemana Siemens fabricaba este tipo de antenas, aunque se tenían dudas si las mismas podrían cubrir la totalidad del territorio nacional. Gómez viajó a Alemania con el fin de realizar la compra de los equipos necesarios para iniciar con las pruebas y la implementación de la televisión en Colombia, gracias a los fondos que fueron aprobados por el gobierno a través del ministro de hacienda de la época Carlos Villaveces, por un monto de diez millones de pesos. Tras tener los equipos respectivos en Colombia, que arribaron en un vuelo ilegal al aeropuerto de Catam en Bogotá, los expertos procedieron a determinar el sitio para instalar las antenas que irradiarían la señal de televisión y se decidió ubicarlas en el Hospital Militar situado en los cerros orientales de la capital. Se instalo una torre de 30 metros, suceso que debió contar con expertos europeos, y las predicciones apuntaban a que dicha antena colapsaría, pronóstico que no se cumplió. [1]

Adicional a la puesta a punto de los equipos en la capital, se ubicó una estación repetidora en el cerro del Gualí ubicado en el nevado del Ruiz para dar cobertura a Antioquia, Valle del Cauca y Caldas, y posteriormente se instaló otra repetidora en el páramo de la Rusia para dar cubrimiento a Boyacá. Los estudios de televisión se adecuaron en los sótanos de la Biblioteca Nacional y el primero de mayo de 1954 se realizó la primera prueba entre Bogotá y Manizales. Pocos días antes de la inauguración del servicio de televisión para Colombia, los encargados de la misma se dieron cuenta de que no se tenía ningún tipo de experiencia en estudios de televisión, lo que significa manejo de cámaras de grabación, sonido, producción televisiva, entre otros. Por esta razón Gómez Agudelo se dirigió a Cuba donde hizo contacto con personal capacitado en el tema, quienes posteriormente arribaron al país poco tiempo antes del lanzamiento, el cual estaba previsto para el día 13 de Junio del mismo año. [1]

Llegó el tan anhelado día y la gente se agolpó en las calles frente a vitrinas con televisores que dispuso el gobierno, debido a que muy poca gente tenía la posibilidad de comprar este dispositivo por sus altos costos, lo que sucede normalmente cuando ingresa una nueva tecnología. Los televisores eran excesivamente costosos, alrededor de 350 pesos, comparado con el salario mínimo de la época para un trabajador, el cual rondaba los 120 pesos. Fue tanto el impacto que causó el lanzamiento de la televisión en Colombia que se llegó al punto de superar las expectativas que se tenían en principio en todos los sentidos, entre otros, la calidad y nitidez de la imagen, la cobertura en lugares lejanos, además de la gran acogida por parte de los ciudadanos, resultados que se obtuvieron con 15 estaciones principales y 85 estaciones repetidoras, que para un sistema convencional habría requerido una cantidad diez veces mayor. Se llego al punto de ser catalogado como un servicio que podría superar al que ya se tenía en otros países con muchos años de anterioridad. Sin duda, aquello que inició con una idea producto del asombro de un militar y el

arduo trabajo por parte de los pioneros en el país, se convirtió en poco tiempo en una gran industria que hasta la actualidad tiene un fuerte impacto cultural, social, político, económico y tecnológico para Colombia. [1]

La primera programadora fue Punch, que se convirtió en un semillero de grandes talentos en el país. Posteriormente surgió RTI, liderada por Gómez Agudelo, y poco a poco el campo de la televisión en Colombia fue evolucionando gracias a que distintas entidades comenzaron a alquilar espacios en sus instalaciones para crear nuevos estudios de grabación y así ampliar la oferta de contenidos que se difundían a los usuarios. Por varios años los televidentes solo contaron con un canal de televisión, en el cual se proyectaban noticieros, novelas, propagandas, deportes, entre otros. En el año de 1967 surge un canal privado llamado El Teletigre que por motivos financieros no tuvo el éxito esperado, años después Canal 9, posteriormente Canal A y finalmente Canal Institucional, que junto a Señal Colombia y el Canal Uno son los tres canales públicos nacionales que existen actualmente en el país. [1]

Con el paso de los años surgieron nuevos canales de televisión. Por ejemplo, en el año de 1985 aparecieron los primeros canales regionales, que con el paso del tiempo han aumentado su número, y por otro lado esta también la creación de canales de carácter local. En el año de 1998 se crearon los dos canales privados que se mantienen hasta el momento, Canal RCN y Canal Caracol, y actualmente se estudia la posibilidad de incluir un nuevo canal privado. [1]

Adicionalmente, la televisión en el país era a blanco y negro, pero con el transcurrir de los años fue evolucionando hasta llegar a un gran suceso para este servicio, pasó a ser televisión a color. Colombia adoptó el estándar americano de la Comisión Nacional de Sistemas de Televisión (NTSC, National Television System Comite). El 13 de Junio de 1974, exactamente veinte años después del lanzamiento del servicio de televisión en el país, se hizo la primera transmisión a color aprovechando la inauguración del campeonato mundial de fútbol, aunque en principio dichas transmisiones solo pudieron ser vistas en pantallas gigantes instaladas en las ciudades de Bogotá y Cali. Cinco años después el gobierno tomó la decisión de migrar totalmente a la televisión a color y es así como según el decreto 2811 del año de 1978 se establecieron las normas respectivas y se inició con la importación de los equipos adecuados para que los colombianos pudiesen disfrutar de esta nueva experiencia, permitiendo que la televisión en el país diera un paso importante hacia la evolución de este servicio. [2] [3]

La televisión es un servicio de carácter público destinado para que una nación tenga acceso a pluralidad informativa, educación, cultura y recreación. Ahora, la televisión pública en un país es aquella que es programada por el estado y que se utiliza como medio de comunicación o puente entre el gobierno y los ciudadanos. En principio la televisión en Colombia ha sido pública y abierta, es decir, los usuarios reciben gratuitamente los canales públicos y privados que sean catalogados como abiertos. Los canales regionales, locales y privados existentes en Colombia se difunden en principio como servicio de televisión abierta. También se cuenta con televisión cerrada que se divide en televisión por suscripción y televisión comunitaria. Para la primera, un operador del servicio ofrece los canales de carácter abierto y adicionalmente incluye un número específico de canales nacionales e internacionales, y el usuario debe pagar un costo establecido por el operador respectivo. En la segunda, cierto sector de una población recibe la programación del canal respectivo de forma gratuita. Cabe mencionar que la televisión abierta se transmite por radiodifusión y la televisión cerrada es difundida por cable o por satélite. [2]

Finalmente, el 28 de Agosto de 2008 Colombia dio un gran paso en el campo de la televisión debido a la evolución constante que presenta este servicio, y es la elección del estándar europeo DVB-T (Digital Video Broadcast – Terrestrial) para la implementación de la TDT en el país, un servicio que traerá diversas ventajas con respecto a la televisión analógica y que significa un auge tecnológico en este campo, beneficiando a todos los actores involucrados en la cadena de valor de este servicio. Adicionalmente, se abre el camino para la convergencia de esta tecnología hacia dispositivos móviles puesto que la misma trae consigo la adaptación a este tipo de entorno. Por otro lado, también se estudia la inclusión del servicio de Televisión por IP (IPTV, Internet Protocol Televisión). [4]

En la figura 1 se puede ver en detalle el cronograma establecido por la CNTV para la implementación de la TDT en Colombia.

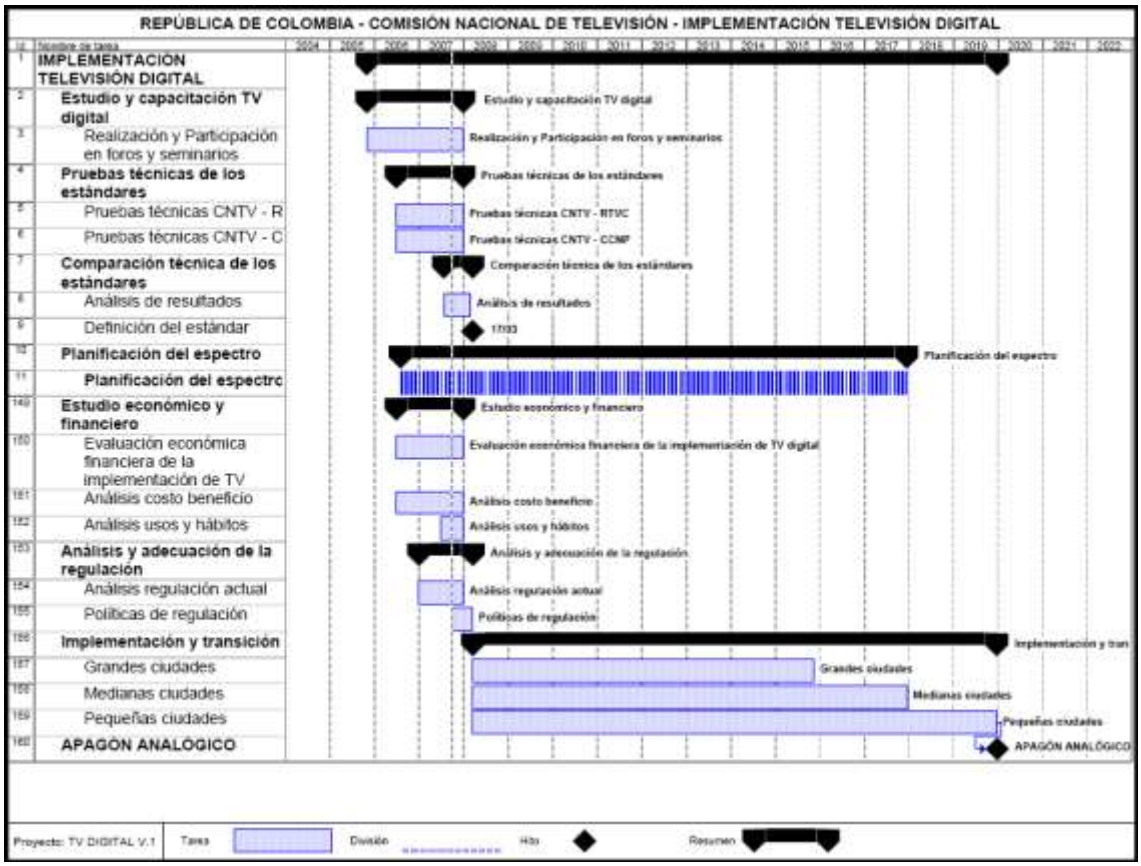

Figura 1. Cronograma para la Implementación de la Televisión Digital Terrestre en Colombia [5]

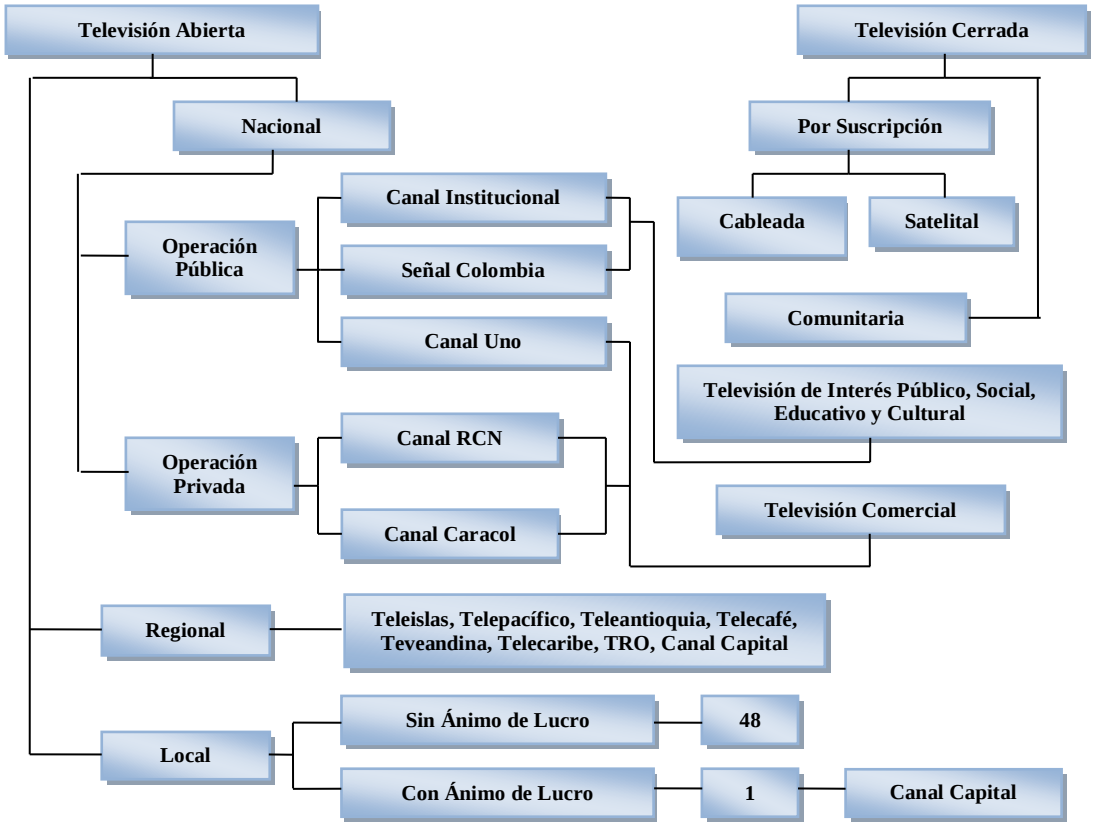

Figura 2. Esquema General de la Televisión en Colombia [7] [6]

Figura 3. Entes Reguladores de Servicios de Telecomunicaciones en Colombia [8]

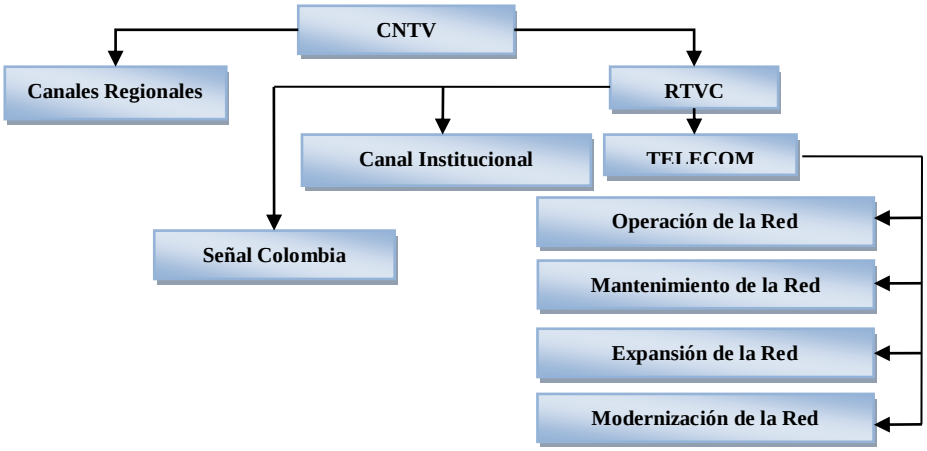

Figura 1. Visión General del Destino de los Recursos de la CNTV [5][9]

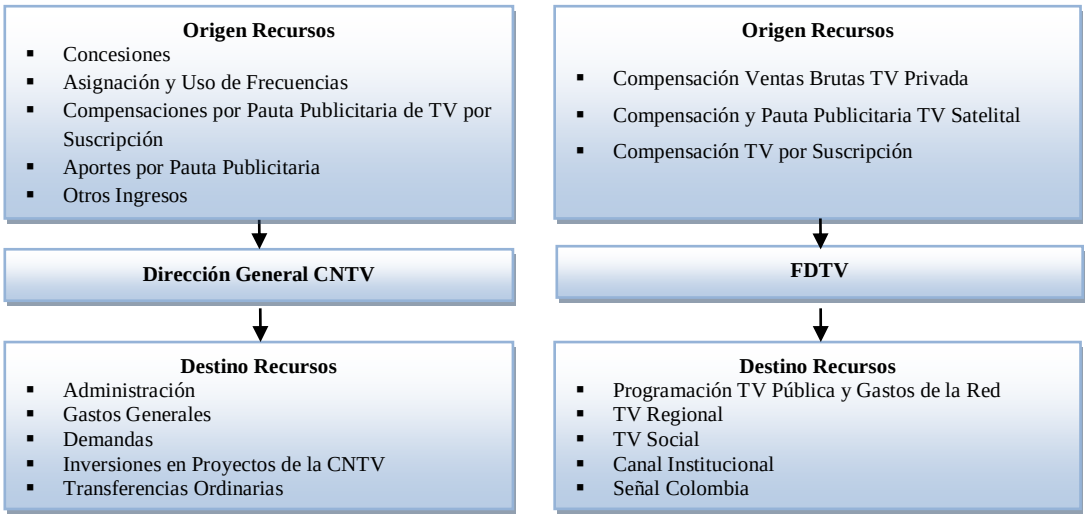

Figura 2. Visión Particular del Origen y Destino de los Recursos de la CNTV y el FDTV [5][10]

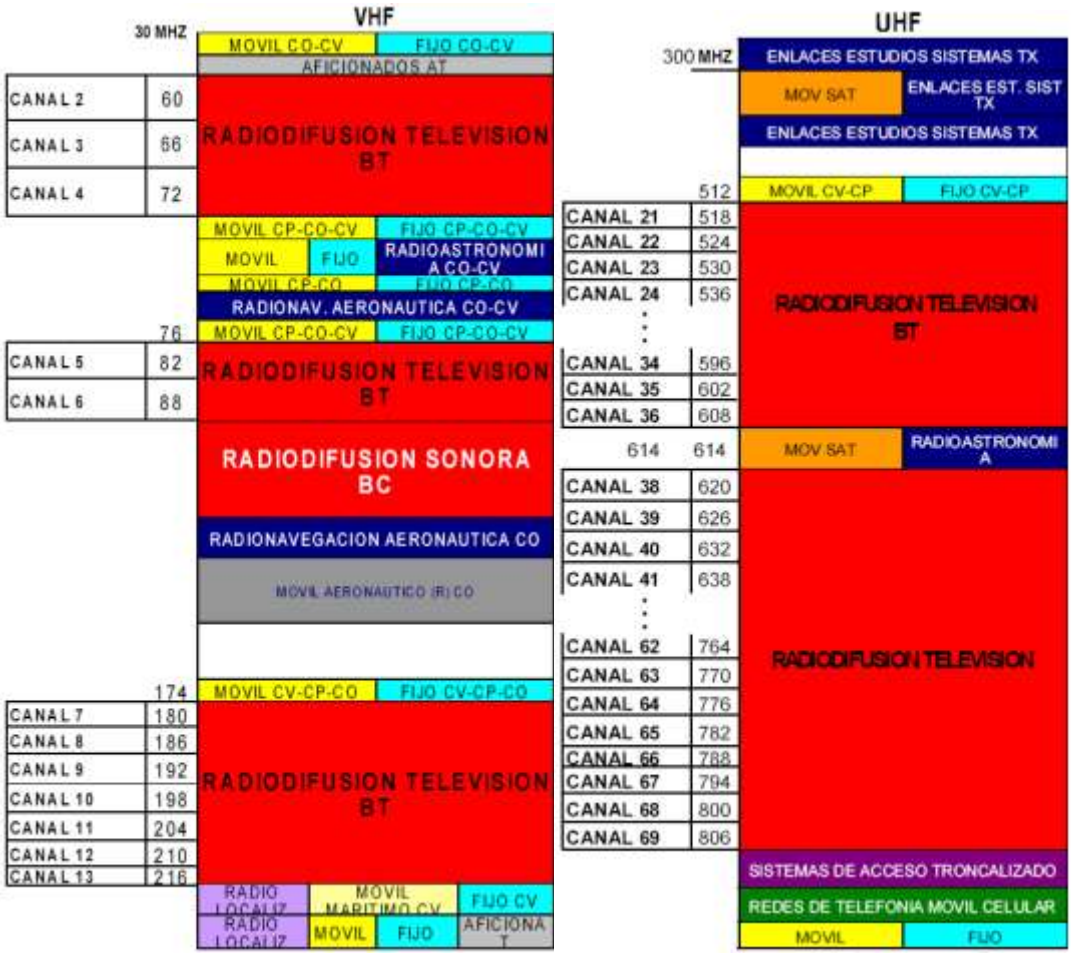

Figura 3. Asignación de Frecuencias en Colombia para el Servicio de Televisión Analógica Radiodifundida [11]

ANEXO B. ESTÁNDAR DVB-T

1. DESCRIPCIÓN DEL ESTÁNDAR

Durante los años 90, el ETSI (European Telecommunications Standards Institute) conformó el grupo DVB (Digital Video Broadcasting), integrado por más de 300 miembros entre fabricantes y *broadcasters* de más de 30 países. Desde entonces, el grupo DVB ha desarrollado más de 50 estándares para distintas aplicaciones, brindando una solución en los temas relacionados con la distribución digital de video y audio. Por mencionar algunos se tiene el estándar de televisión para Sistemas Digitales de Satélite (DVB-S), Cable (DVB-C), Redes de Microondas (DVB-MS y DVB-MC), entre otros. Existen dos que son de vital importancia para este documento, que son el DVB-T (Digital Video Broadcasting – Terrestrial) norma ETSI EN 300 744.V1.5.1, y el DVB-H (Digital Video Broadcasting - Handheld) norma ETSI EN 302 304 V1.1.1. El primero fue desarrollado para la transmisión de información de audio y video codificada y multiplexado de acuerdo a una versión especializada del estándar de codificación de audio y video MPEG-2 norma ISO/.IEC 13.818, y el segundo para la distribución de contenido a terminales portátiles codificado bajo MPEG-4 norma ISO/IEC 14496. [12][13]

Las principales características del estándar DVB-T se representan en la figura 7.

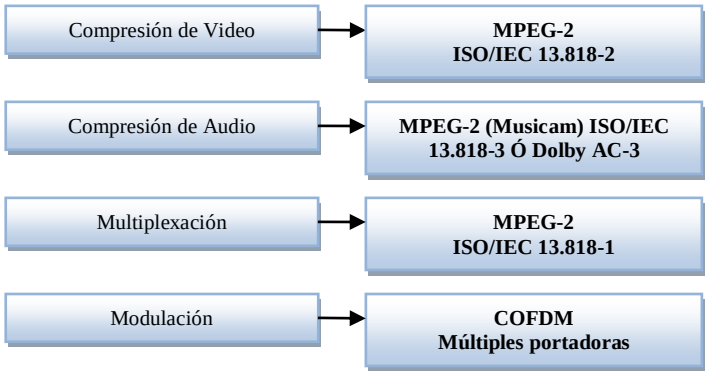

Figura 7. Características Principales del Estándar DVB-T [13]

Con respecto al anterior diagrama en bloques del sistema DVB-T, cabe destacar con respecto a la compresión de audio que el grupo DVB adoptó para ello tanto al estándar MPEG-2 capa II (MUSICAM) como el estándar Dolby AC-3. En operación, el uno como el otro actúan correctamente y la decisión de escoger entre los dos depende del país que adquiera el estándar y de qué forma éste cumpla con los requerimientos deseados.

1. 1 CARACTERÍSTICAS DE DESEMPEÑO

1.1.1 SDTV y HDTV para DVB-T

a. SDTV: Posee una relación de aspecto de 4:3 ó 16:9. Opera en el MP@ML (Perfil Principal - Nivel Principal) del estándar MPEG-2. En este modo se dispone de varios canales de SDTV para transportarlos en los canales de 6, 7 u 8 MHz. El audio utilizado en SDTV es el Musicam (capa 2 del estándar MPEG-2). En este caso, se transmiten dos canales de audio en modo estéreo con una velocidad binaria por canal de 128 Kbps. Debido a que la señal SDTV presenta una modulación COFDM (con portadoras moduladas en 64 QAM), esta soporta recepción portable y móvil. [12][13]

b. HDTV: En televisión de Alta Definición se opera en MP@HL (Perfil Principal - Nivel Alto) del estándar MPEG-2. El audio está conformado por seis canales comprimidos en el estándar MPEG-2. También se utiliza el sistema de compresión de audio Dolby AC-3. [12][13]

Para la emisión de múltiples programas de SDTV o un programa de HDTV se emplea la modulación COFDM de múltiples portadoras, donde cada una de ellas es modulada en 64 QAM.

3.1.2 DVB-T opera con dos Tipos ó Modos de Transmisión

a. Transmisión No- Jerárquica: En este modo se transmite un flujo de datos de aproximadamente 19.6 Mbps en un espectro de 6 MHz de ancho de banda. Este flujo puede transportar un programa de HDTV con sus audios y datos asociados, ó en su defecto varios programas de SDTV, también cada uno de ellos con sus audios y datos asociados. La estructura para la transmisión no jerárquica se puede ver en la figura 8. [12][13]

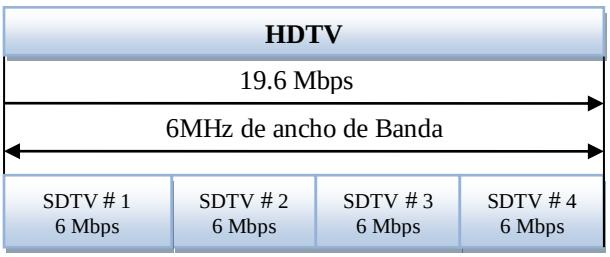

Figura 8. Capacidad de Programas a Transportar en un Medio No- Jerárquico [13]

b. Transmisión Jerárquica: Esta transmisión consiste en el transporte de dos flujos de datos combinados en uno solo. Cada uno de estos flujos tiene una modulación diferente dentro del sistema COFDM. La transmisión Jerárquica es utilizada para emitir un programa de HDTV para recepción fija y un programa de SDTV para recepción móvil en un solo flujo de datos. En este caso, el programa de HDTV se transporta con una velocidad mayor y el programa de SDTV con una velocidad menor. Al flujo de más alta velocidad binaria se lo denomina LP (Low Priority) o de baja prioridad, y al flujo de más baja velocidad se lo denomina HP (High Priority) o de alta prioridad, utilizado para recepción móvil. Este debe tener una modulación robusta, por ello cada portadora del COFDM es modulada en QPSK. El LP es utilizado para recepción fija, donde no interesa tanto la robustez, por ello cada portadora del COFDM es modulada en 64 QAM. [1][13]

La estructura para la transmisión jerárquica se puede ver en la figura 9.

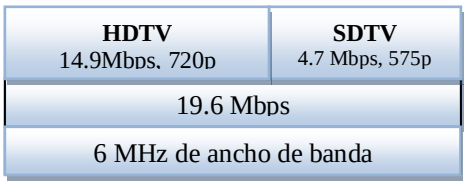

Figura 9. Capacidad de Programas a Transportar en Modo Jerárquico [13]

En la tabla 1 se observa que el flujo de HDTV tiene velocidad binaria de 14.9 Mbps y un formato de 720p, mientras que el flujo de SDTV para recepción móvil tiene una velocidad binaria de 4,7 Mbps y un formato de 575p líneas con barrido entrelazado.

Tabla 1. Parámetros Principales para Transmisión Jerárquica [6]

	HDTV – RX Fija	SDTV – RX Móvil
Tipo de Stream	LP	HP
Modo	8K	8k
Modulación de cada portadora	64 QAM	QPSK
FEC	(5/6)	(1/2)
Intervalo de Guarda	**(1/8)**	(1/8)

1.2 SISTEMA DE TRANSMISIÓN

El método utilizado por el DVB-T es el multiportadora modulada en QPSK, 16QAM y 64QAM, o multiplexadas por división de frecuencia (FDM), método de modulación que se conoce como COFDM. La figura 10 muestra el diagrama general del sistema de trasmisión empleado por el estándar DVB-T.

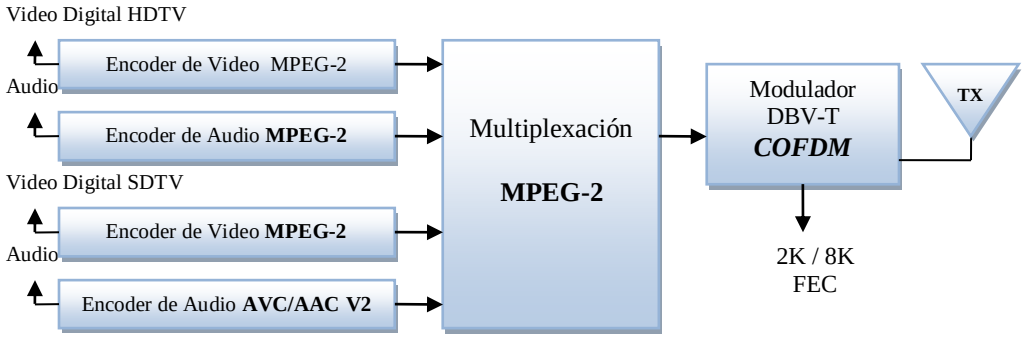

Figura 10. Sistema de Transmisión DVB-T [7]

1.3 SUBSISTEMA DE COMPRESIÓN

1.3.1 Video

El estándar DVB-T soporta diferentes resoluciones de pantalla, formatos de video, tasas de trama y forma de barrido (progresivo (P) o entrelazado (I)). Las resoluciones indicadas operan con anchos de banda de transmisión de 6, 7 y 8 MHz. Los datos consignados en la tabla 2 utilizan compresión MPEG-2.

Tabla 2. Formatos más comunes en SDTV y HDTV del Estándar del DVB-T [6]

Formato	Muestras por línea activa x cant. de líneas activas	Relación de Aspecto	Tipo de Barrido
HDTV	1920 X 1080 (1)	(16:9)	25I/25P, 24/29.97P/30P, 301
HDTV	1440 X 1152	(16:9)	25P
HDTV	1920 X 1035	(16:9)	25P, 29.97P/30P
HDTV	1280 X 720 (2)	(16:9)	25I/50I, 23.9I/24I/, 29.97I, 30I/59.94I/60I
SDTV	720 X 576	(4:3)/(16:9)	50I/25I, 25P
SDTV	544 X 576	(4:3)/(16:9)	25I/25P

1.3.2 Audio

El sistema de codificación y compresión de sonido utilizado por la norma europea es denominado *Musicam (Masking Pattern Universal Sub–Band Integrated Coding and Multiplexing).* El *Musicam* emplea técnicas específicas para la codificación de la norma MPEG-2 de la capa II de audio. Asimismo, puede ofrecer canales en la configuración mono, estéreo y multicanal para tasas de bits de hasta 384Kbps o más. Es compatible con el estándar Dolby AC3 de la norma de América o el AAC del estándar japonés. [12][14]

1.4 SUBSISTEMA DE MULTIPLEXACIÓN

Las señales de video y audio son comprimidas y codificadas con la norma MPEG-2, con una sintaxis especificada por ETSI para DVB. Para lograr esto, los flujos de datos de DVB satisfacen ciertas condiciones, como tasas de datos máximas para señales de audio y video, donde varios programas ya codificados y comprimidos pueden ser multiplexados en un único flujo de transporte MPEG-2 con una distribución múltiple simultanea. [15]

Con el fin de proteger la información ante diversas fuentes de ruido el sistema DVB aplica a la señal un conjunto de procesos (concatenación de códigos Reed-Solomon (*RS*) y convolucional (*Conv*)) en el bloque de codificación. Además, este sistema también permite combinar jerárquicamente hasta dos flujos de transporte en una sola transmisión digital, uno de alta prioridad (HP) y otro de baja prioridad (LP). [15]

1.4.1 Divisor de Señales (*Splitter*)

La señal se divide en un par de haces de diversos contenidos digitales formando una estructura jerárquica. A manera de ejemplo, un paquete puede contener una señal SDTV, mientras que el otro un canal de televisión digital para móviles. El bloque divisor de señales (*splitter*) efectúa la división de los haces originales de datos, es decir, para un solo canal de televisión HDTV se utiliza sólo un has digital y por tanto, existirá una sola señal digital de salida en el divisor de señales. [15]

Una diferencia fundamental entre el estándar ATSC y el DVB-T es que en el primero la señal de entrada tiene una tasa de bits constante de 19.39Mbps, con independencia de contenidos digitales en el has, lo que no pasa en DVB-T, donde la tasa de bits es variable dependiendo de la configuración del sistema. Por lo tanto, la modulación de subportadoras con menor número de estados y tasas de código menores a la tasa interna del codificador interno (la fracción más pequeña de la tasa del código) se traduce en reducciones de tasas de bits en la señal digital de entrada. Por ejemplo, la modulación QPSK (4 estados) lleva una tasa de bits útil en la parte baja de la entrada de la modulación 16QAM (16 estados) o 64 QAM (64 estados). De esta misma forma, una tasa de código de 1/2 tiene una velocidad de bits inferior a la tasa de un código de 3/4 [15].

El uso de diferentes métodos de modulación y diferentes tipos de códigos cambian no sólo la tasa de bits útiles, sino también la inmunidad de la interferencia ante señales digitales. Normalmente, cuanto más robusta es la interferencia de una señal digital modulada, menor es la tasa útil de bits disponibles. Para una mejor comprensión de los conceptos básicos involucrados se supone que la señal digital a la salida del divisor de signos es única.

1.5 SUBSISTEMA DE CODIFICACIÓN DE CANAL Y MODULACIÓN

Una de las características más importantes del estándar DVB-T es el subsistema de modulación COFDM (*Coded Orthogonal Frequency Multiplex*), donde la palabra *Coded* significa que la señal digital antes de ingresar al modulador OFDM es codificada por un código corrector de errores, aumentando significativamente la fuerza de señal digital ante interferencias provenientes del medio de transmisión. [15]

Tal como lo muestra la figura 11, el sistema DVB-T cuenta con tres macrobloques que componen un modulador COFDM, Bloque de Codificador de canal, Bloque Adaptador de cuadro y Bloque de Modulación OFDM.

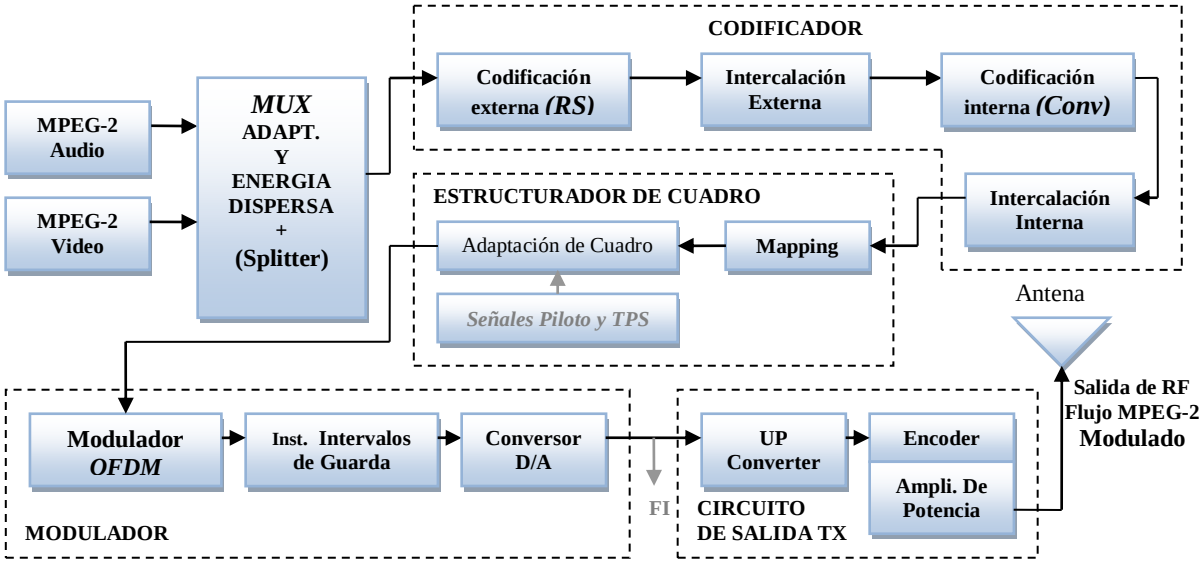

Figura 11. Modulación COFDM que se compone de la Codificación del Canal y del Modulador OFDM [12][13]

1.5.1 Codificador de Canal

El codificador de canal se compone de cuatro bloques funcionales que son el Codificador Externo, Intercalación Externa, Codificador Interno y Entrelazador Interno.

1.5.2 Adaptación del Multiplexor y Dispersión de la Energía

La señal digital proveniente del multiplexor MPEG-2 (vídeo + datos + sonido), donde cada paquete está formado por 187 bytes de carga (carga útil) y 1 byte de sincronización (Sync byte).

1.5.3 Codificador e *Interleaver* Externo

Este codificador posee una función similar a la del Reed Solomon (*RS*), es un FEC (*Forward Error Corretor*). A diferencia del estándar ATSC, este aumenta 16 bytes de redundancia en lugar de 20 bytes. Esto reduce ligeramente la robustez del sistema ante interferencias. Adicionalmente, este proceso no introduce cambios en la tasa de bits de la señal de entrada. La figura 12 muestra los paquetes de datos en la salida del codificador ya protegidos por 16 bytes de paridad. [15]

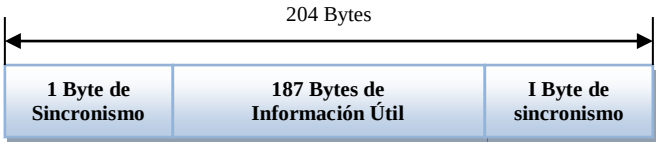

Figura 12. Paquetes de Errores RS [12]

Debido a la presencia de bytes de paridad, este bloque se incrementa en aproximadamente 1.0851 veces con RS (204/188) a la tasa de bits de la señal digital.

1.5.4 Codificador Interno

Este codificador pertenece a la familia de códigos convolucionales basados en un código cuya tasa de codificación es 1/2, es decir, por cada bit de entrada son dos a la salida. La función de este codificador es igual al del codificador *RS*, permitiendo que el receptor detecte y corrija errores introducidos y presentes en los medios de transmisión. Este codificador permite configurar diversas tasas de código como de 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 y 7/8. La velocidad de bits en la salida del codificador, en relación con la entrada, depende de la tasa de codificación elegida. Cuanto menor tasa de código mayor es la tasa de bits a la salida en relación con la entrada. Las siguientes ecuaciones permiten calcular la tasa de bits en la salida del codificador en función de la tasa de bits en la entrada y el valor de la tasa de codificación. [15]

$$Tasa\ de\ Bits\ a\ la\ Salida = \frac{Tasa\ de\ Bits\ a\ la\ Entrada}{Tasa\ de\ Codificación}$$

Ecuación 1. Tasa de Bits de Salida

Cuanto menor es la tasa de código, menor es la diferencia entre tasas de bits de entrada, pero mucho menor es la robustez entre interferencias que el código brinda al sistema. Por ejemplo, una tasa de código de 1/2 dobla la velocidad de bits de la señal a la salida del codificador, pero le brinda al sistema mayor robustez que una tasa de código de 5/6, cuya tasa de bits resultante es de solo 1.2 veces mayor que a la entrada. Es de notar, sin embargo, que cada vez que se utiliza una tasa de código más robusta, disminuye la tasa de bits disponible en la entrada del modulador, por tanto reduce la resolución de la imagen. [15]

1.5.5 Entrelazador Interno

El Interleaver interno consta de tres bloques funcionales, el Demultiplexor, el *Interleaver* de Bloques y un *Interleaver* de Símbolos.

- **Demultiplexor:** Divide el haz de entrada en dos haces de salida para una modulación QPSK, o cuatro haces de salida para la modulación 16QAM, o seis heces para la modulación 64QAM.

- **Entrelazador de Bloque:** Este bloque mezcla los bits de 2(QPSK), 4(16QAM) o 6(64QAM), contenidos en bloques de 126 bits en cada uno. Como cada símbolo en OFDM posee 1512 subportadoras útiles en el modo 2K y 6048 subportadoras útiles en el modo 8K requerirá 12 conjuntos de bloques paralelamente para transmitir un símbolo con modo 2K o 48 conjuntos en modo 8K [12].

- **Entrelazador de Símbolo:** Los signos agrupados en bits "v" (2, 4 o 6 bits) son secuencializados para formar un símbolo OFDM, en el que cada una de las 1512 subportadoras en modo 2K o 6048 subportadoras en modo 8k asumirán 2^v estados posibles. La combinación de señales digitales de bits "v" se realiza dentro del propio símbolo en el que están insertados. En general, las combinaciones proporcionadas por el bloque del mezclador interno tienen una función similar a la ejercida por el i*nterleaver* externo, es decir, permite que el decodificador interno, de manera organizada, trabaje tan eficientemente como sea posible para prevenir que la ráfaga (*burst*) introduzca errores producidos por el medio de transmisión, los cuales degradan la recepción de la señal [12].

1.5.6 Estructurador de Cuadro

El bloque adaptador de cuadro tiene como principal función mapear la señal de entrada dentro de una estructura de cuadro adecuada y de integrar esta estructura a las señales que envía el receptor o *TPS (Transmission Parameter Signals)*. También mapea la información transportada por las señales piloto para le sincronismo de cuadro, sincronismo de frecuencia de estimación del canal e identificación del modo de transmisión. Se compone de los siguientes bloques funcionales. [15]

- **Mapeo:** El mapeo permite establecer un vínculo entre los bits "v" (2, 4 o 6 bits), los cuales son originados en el Interleaver de símbolos y los estados de fase/amplitud de las subportadoras de la modulación OFDM. Por lo tanto, las cifras 39_a, 39_b y 39_c utilizan el código de *Gray* para el mapeo de los bits "v" en sus respectivos estados de modulación en QPSK, 16QAM y 64QAM. El mapeo s e puede ver en la figura 13. [15]

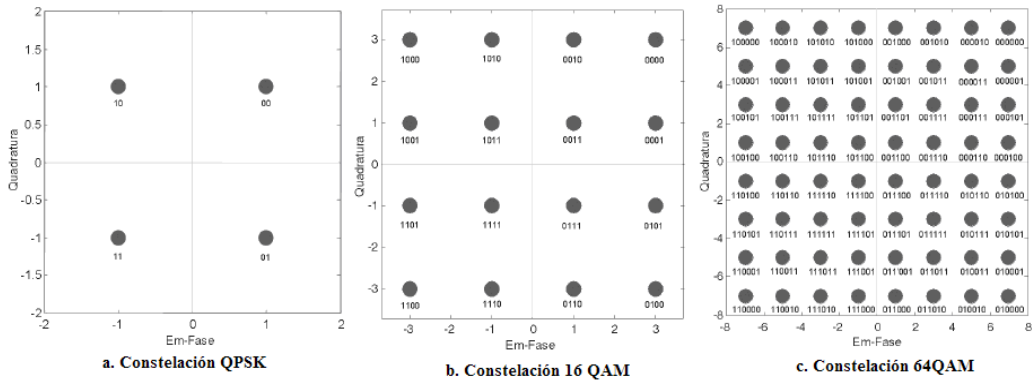

Figura 13. Constelaciones de las Modulaciones utilizadas en DVB-T, a. Constelación QPSK, b. Constelación 16QAM, c. Constelación 64QAM [12]

- **Adaptación de cuadro:** Las señales de mapeadas se añaden a las señales piloto y TPS, para componer la arquitectura del cuadro COFDM.

En la tabla 3 se resumen los valores de los principales parámetros de COFDM. Los valores que se indican en la tabla sólo dependen del modo 2K u 8K. No dependen del método de modulación escogido ni del valor de la tasa de código convolucional FEC, ni mucho menos del valor de la banda de guarda escogida. Estos valores son valores básicos aprobados por el grupo que define el estándar DVB-T. En la tabla 3 se puede apreciar los principales parámetros del símbolo OFDM. [15]

Tabla 3. Principales Parámetros del Símbolo OFDM [12]

Parámetro	Modo 8K	Modo 2K
No. de portadoras	6817	1705
No. de portadoras inferior a Kmin	0	0
No. de portadoras superior a Kmax	6816	1704
Duración Tu	1194.667us	298.6667us
Espaciamiento de portadoras 1/Tu	0.837054KHz	3.348214KHz
Espaciamiento de portadoras inferior y superior	5.71MHz	5.71MHz

Se debe tener en cuanta que el número total de subportadoras es mayor que el número de subportadoras utilizado para transmitir el has digital útil presente en la entrada del estructurador de canal. Esta diferencia se debe al hecho de que estas subportadoras son utilizadas para la transmisión de la información contenida en las señales piloto. [8]

La transmisión de señal digital está compuesta por un has para la transmisión secuencial de los símbolos OFDM, 1.194,667 μs en el modo 8K y 298,66 μs en el modo 2K, en la cual es enviada la parte útil del símbolo (*Tu*). Es de notar que estos valores son validos solamente para las emisiones de un canal de televisión de 6 MHz. Cada 68 símbolos OFDM forman un cuadro, y cuatro cuadros constituyen un super-cuadro. Cada símbolo tiene una duración de *Ts*, que se compone de dos partes:

$$Ts = Tu + \Delta$$

Ecuación 2. Duración del Tiempo de Símbolo *Ts*

donde *Tu* es el tiempo útil del símbolo y *Δ* es el intervalo de guarda.

1.6 MODULADOR OFDM

En la modulación OFDM (*Orthogonal Frecuency Division Multiplex)*, las subportadoras forman un conjunto de funciones ortogonales entre sí, donde el producto integral complejo entre estas dos funciones del símbolo es nulo. Esa ortogonalidad, que garantiza que la interferencia intersimbólica, hace que la frecuencia de las subportadoras sea nula. Por otro lado, también se asegura que la banda ocupada por la señal modulada en OFDM sea lo mas pequeña posible, permitiendo que la señal modulada en OFDM encaje dentro de la banda de 6MHz. La figura 14 muestra el efecto de ortogonalidad. [15]

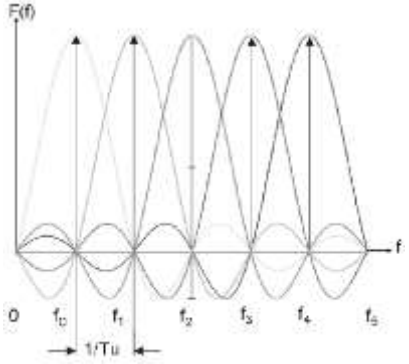

Figura 14. Ortogonalidad de la Modulación OFDM [15]

Con respecto a la figura 12, la frecuencia de la primera sub portadora es exactamente igual a la inversa de la duración del símbolo (1/*Tu*).

El modo 8K equivale a 837,054 Hz y el modo 2K a 3.348,214 Hz. Estos valores calculados para fo = 1/Tu se derivan de la necesidad absoluta de mantener la ortogonalidad entre subportadoras. Cada subportadora es ajustada en QPSK, 16QAM o 64QAM por uno de los dos conjuntos de bits "v" mapeados en el bloque posterior. Cada conjunto de bits "v" (2, 4 o 6 bits) corresponden a un determinado estado de fase/amplitud de la subportadora. Durante un símbolo (*TU*), los estados de subportadoras permanecen inalterados. El siguiente símbolo adquiere nuevos estados a la luz de las nuevas series de bits "v" que estuvieron presentes en la entrada de los moduladores de cada subportadora. Es importante señalar que los estados de subportadoras en la transmisión de un símbolo llevan la información del espectro de frecuencias de la señal discretizada OFDM. Para convertirlo en el dominio del tiempo se utiliza una herramienta matemática conocida como la IFFT (Inverse Fast Fourier Transform). Todas estas operaciones de la modulación y obtención para la aplicación del Algoritmo IFFT de una señal modulada en OFDM

son realizadas digitalmente a través de procesadores digitales. La señal OFDM se obtiene así en forma digital para ser inyectada en el próximo bloque, donde será insertado en la banda del intervalo de guarda. [13][15

1.6.1 Inserción del Intervalo de Guarda

La banda o intervalo de guarda es un período de tiempo vacío de información útil añadido antes de la transmisión de cada símbolo. Esta banda de guarda tiene como función eliminar o disminuir significativamente la interferencia entre símbolos cuando la señal interferente es un eco de la señal principal, pero el valor de retraso sufrido por este eco es menor que el valor de la banda de guarda. Estos ecos son producidos por reflexiones de la señal principal ante obstáculos existentes entre el transmisor y el receptor. La figura 15 muestra la estructura del intervalo de guarda. [8]

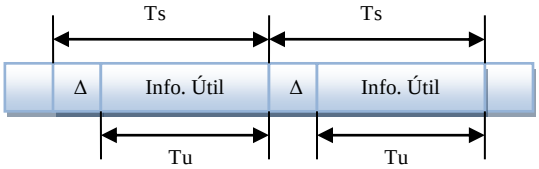

Figura 15. Intervalo de Guarda [15

Ts es el tiempo de un símbolo, *Tu* es el tiempo de un símbolo y *K* está dado por *Δ*/*Tu* por la tasa de código y es la razón de guarda. La figura 10 muestra la transmisión de dos símbolos encabezados por sus respectivos intervalos de guarda (*Δ*). Se denomina razón de guarda (*k*) a la relación entre el valor del intervalo de guarda (*guard ratio*) y el tiempo útil (*Tu*), o sea: [15

$$K = \frac{\Delta}{Tu} \cdot Tasa\ de\ Código$$

Ecuación 3. Razón de Guarda

En términos generales, se puede decir que la banda de guarda ofrece a la modulación CODM de DVB-T inmunidad ante interferencias de multitrayecto. En la práctica, para mantener la ortogonalidad entre las subportadoras, la banda de guarda se completa con una copia del Prefijo Cíclico al final del símbolo OFDM, tal y como se muestra en la figura 16.

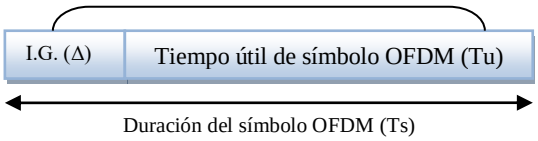

Figura 16. Intervalo de Guarda por una Copia de la Parte Final del Símbolo OFDM [8]

DVB-T permite utilizar cuatro valores diferentes para el intervalo de guarda (*Δ/Tu*).

La tabla 4 muestra, para los modos 2K y 8K, la duración de los intervalos de guarda a razón 1/4, 1/8, 1/16 y 1/32. Cuanto mayor sea la duración del intervalo de guarda, más robusta es la distorsión ante multitrayecto de la señal OFDM, pero menos útil es la tasa de bits de señal digital en el modulador. La tasa de bits del haz en el modulador digital DVB-T (señal de entrada del bloque de Divisor de Señales) es una variable que depende de la configuración del sistema DVB-T. En la tabla 4 se puede observar la duración del intervalo de guarda para DVB-T. [15

Tabla 4. Duración del Intervalo de Guarda para DVB-T [8]

Parámetros	Modo 8K				Modo 2K			
Intervalo de guarda Δ/Tu	1/4	1/8	1/16	1/32	1/4	1/8	1/16	1/32
Duración del símbolo Tu (us)	8192. T 1194.667				2048.T 296.667			
Duración del intervalo de guarda Δ(us)	2048T	102T	512T	256T	204T	102T	512T	256T
Duración del símbolo Ts=Tu+ Δ(us)	10240T 1493.3	9213T 144.0	8704T 1269.3	8448T 1232.0	2560T 373.3	2304T 336.0	2176T 317.3	2112T 308.0

La ecuación para calcular aproximadamente el valor de esta tasa de bits para un canal de 6MHz es el siguiente:

$$rb(i) = 5{,}0625 \cdot \log_2 M \cdot CRs \cdot \frac{1}{1+k}$$

Ecuación 4. Cálculo de la Tasa de Bits para DVB-T

donde $r_{b(i)}$ es la tasa de bits (Mbps) en la entrada del Modulador DVB-T, M es el número de estados de la subportadora, siendo M = 4 para QPSK, M=16 para 16QAM y M=64 para 64 QAM. CRs es igual a 188/204 (tasa de codigo. Codificador esterno), CRc es igual a 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 o 7/8 (tasa de código, codificador interno) y K es igual a 1/4, 1/8, 1/6 o 1/32 (Razón de Guarda). En general, cuanto más baja sea la tasa de bits en la entrada ($r_{b\,(i)}$) mayor será la robustez del sistema a las interferencias, y viceversa. A su vez, cuanto menor sea ($r_{b\,(i)}$) menor será la calidad de imagen que se puede obtener. [15

DVB-T es, por tanto, un sistema en el que los parámetros configurables pueden ser ajustados para satisfacer las demandas de los distintos servicios, teniendo en cuenta el compromiso entre la calidad de imagen y la robustez ante interferencias.

1.6.2 Conversor D/A

La señal a la salida del bloque de inserción del intervalo de guarda es una señal digital que representa una señal modulada en OFDM, ya insertada digitalmente en la banda de guarda. En este punto es necesario convertir esa señal al domino analógico, con el fin de poder limitar la banda de 6Mhz, conversión realizada por un conversor D/A (Digital/Analógico). A partir de esa conversión, la señal se transfiere para ocupar el dominio de la frecuencia.FI, o sea de 41Mhz a 47MHz. [15

1.6.3 Circuito Transmisor de Salida

Este circuito se compone de dos bloques que son el *Up-Converter* y el Amplificador de Potencia. El primer bloque tiene como función transferir la señal de FI al dominio de la frecuencia del canal de televisión asignado para la transmisión. El segundo tiene la tarea de amplificar la señal transferida y acceder a la entrada del transmisor de televisión radiodifundida. [15

ANEXO C. ESTÁNDAR DVB-SH

Las figuras 17 y 18 muestran la estructura de los receptores SH-A y SH-B respectivamente, pertenecientes al estándar DVB-SH.

1. RECEPTOR DVB SH-A

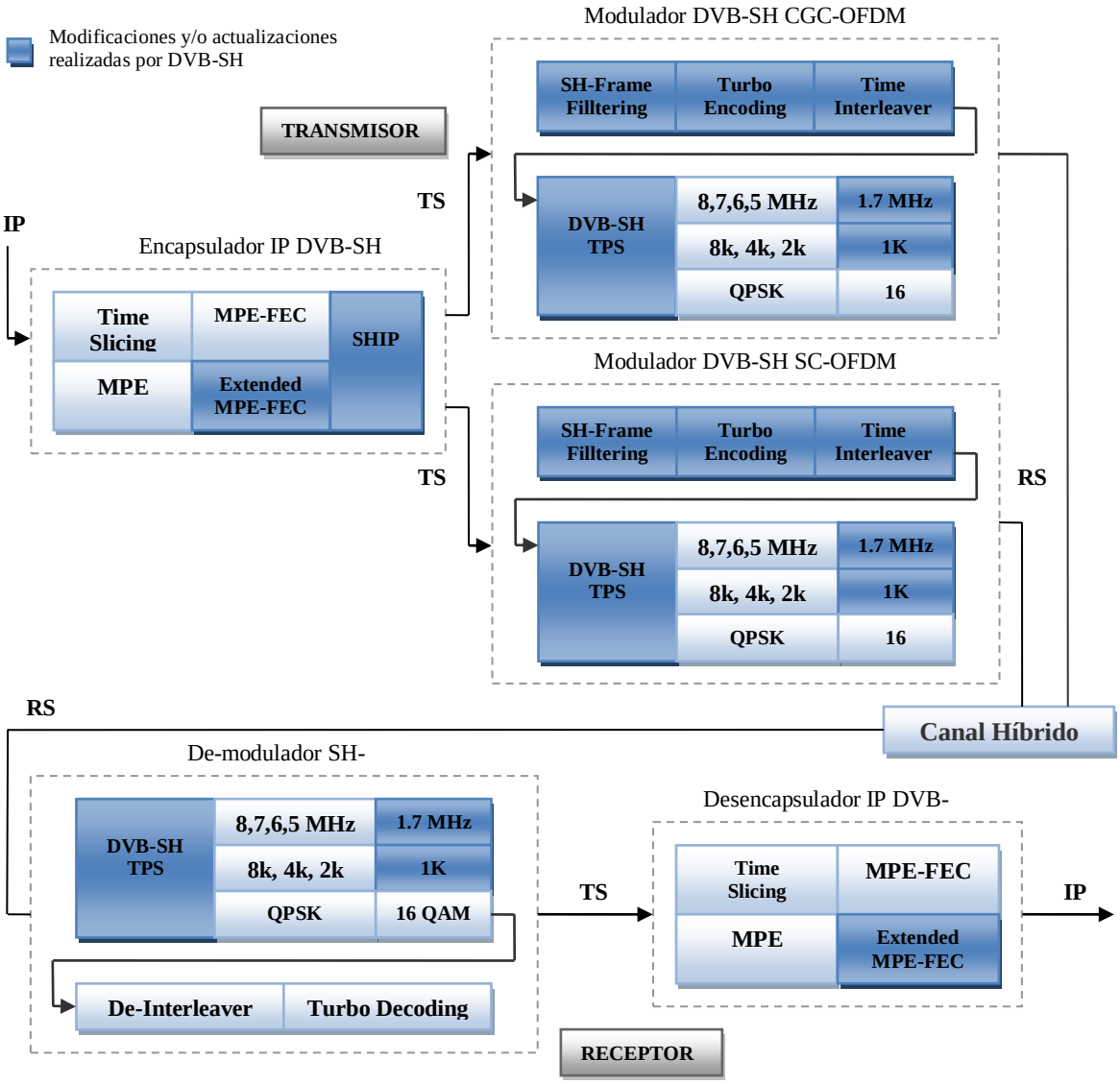

Figura 17. Arquitectura Receptor SH-A [16

2. RECEPTOR DVB SH-B

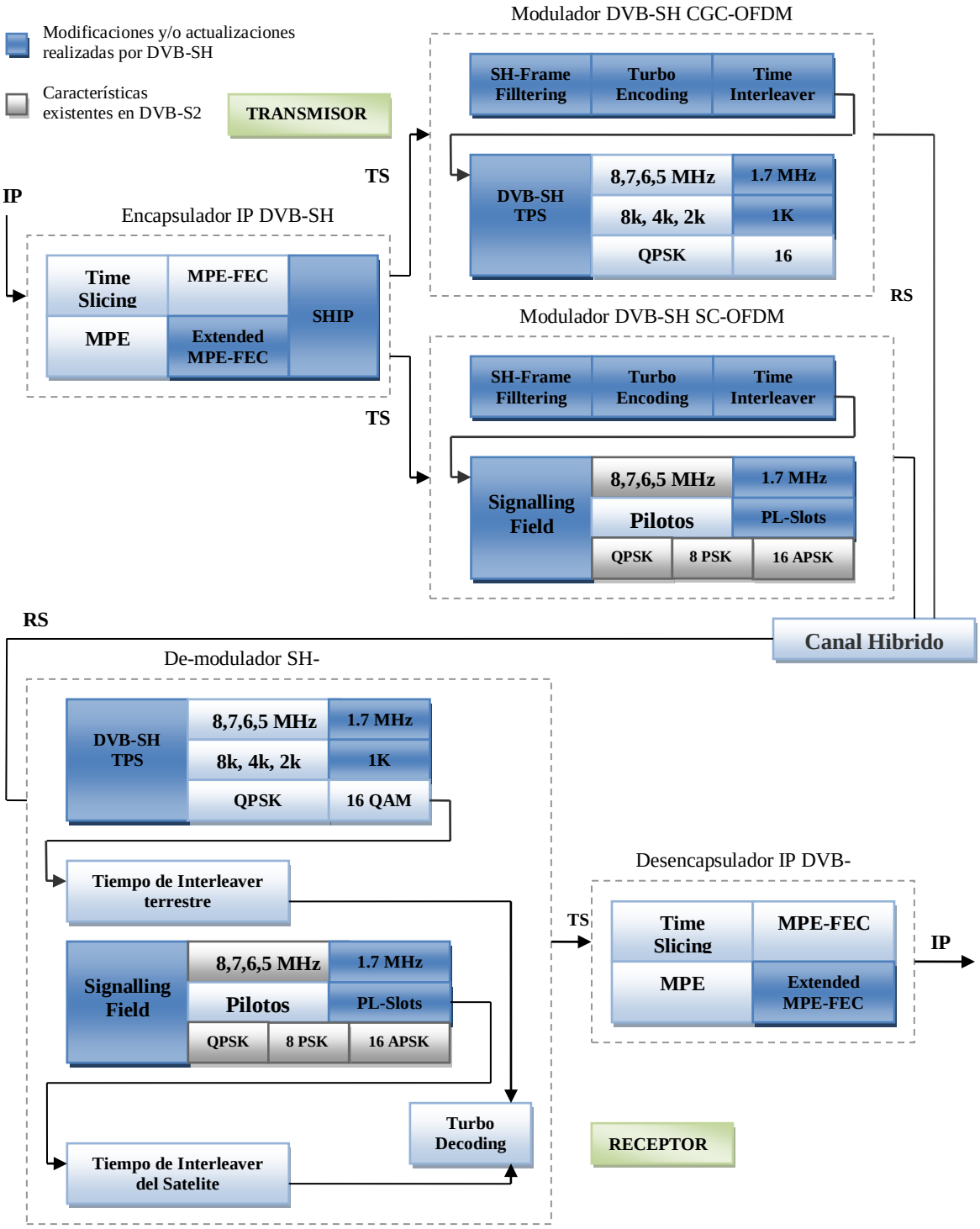

Figura 18. Arquitectura Receptor SH-B [16]

ANEXO D. ESTÁNDAR ISDB-T

1. DESCRIPCIÓN DEL ESTÁNDAR

El estándar de Televisión Digital japonés ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting), fue establecido por la ARIB[1] (Association of Radio Industries and Businesses of Japón) y es promovido desde 1997 en todo el mundo por el grupo DiBEG[2] (Digital Broadcasting Experts Group). El estándar ISDB es un concepto de transmisión digital emergente, abarca media docena de documentos que especifican la distribución de video digital por satélite (ISDB-S), cable (ISDB-C) y terrestre (IDSB-T). Este último incluye terminales móviles, dando flexibilidad, capacidad de expansión y difusión de los servicios de transmisión multimedia. [17 [18

El estándar ISDB-T adoptó el estándar MPEG-2 norma ISO/IEC 13.812, adquisición para el sistema de multiplexación y transporte. ISDB-T puede ajustarse a la norma mundial manteniendo la interoperabilidad con otros medios de información, específicamente con la transmisión OFDM y sus esquemas de modulación digital QPSK, DQPSK, 16QAM y 64QAM. También contiene especificaciones para transmisión de televisión de resolución estándar (SDTV) y de alta definición (HDTV). [19

El 29 de Junio de 2006 el sistema de Televisión Digital estructurado con en el estándar ISDB-T fue adoptado en Brasil, llamado SBTVD-T (Sistema Brasileño de Televisión Digital Terrestre). SBTVD-T se diferencia de ISDB-T en que utiliza el codec de video H.264 norma ISO/IEC 14496-10 en vez de MPEG-2 Norma ISO/IEC ISO/IEC 13818. Fuera del Brasil, hay algunos países como Argentina, Chile y Venezuela que están estudiando el ISDB-T. [20]

1.1 CARACTERÍSTICAS DEL ESTÁNDAR

La figura 19 muestra los bloques funcionales del sistema ISDB-T, para transmisiones de tipo fijo y terrestre de los sistemas japonés y brasilero.

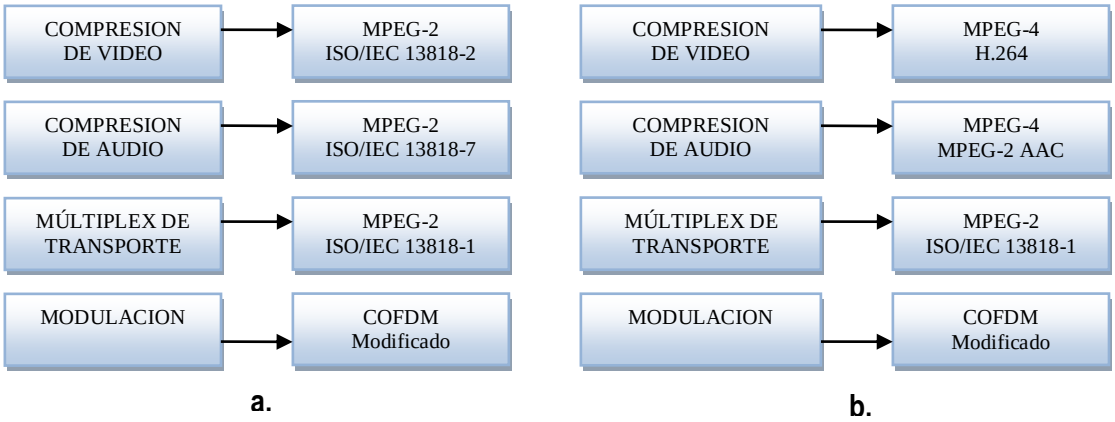

Figura 19. a. Descripción General Sistema ISDB-T, b. Descripción General Sistema SBTVD-T [21

[1] Asociación de Industrias de Radio y Negocios fue creada por el Ministerio de Correos y Telecomunicaciones de Tokio (Japón) como una empresa de servicio público el 15 de mayo de 1995.

[2] Grupo de Expertos en Difusión Digital, que promueve el Sistema de televisión digital ISDB-T a través del mundo, realizando el intercambio de información técnica y cooperación internacional.

La semejanza de este estándar con respecto al DVB-T/H es clara, sin embargo presenta algunas características que lo diferencian. A continuación se nombraran algunas de ellas:

- **Modulación OFDM en forma segmentada:** El orden y la forma en que los datos son codificados en frecuencia en la modulación OFDM presenta una gran diferencia con respecto a DVB-T. El *Band Segmented* es un esquema que consiste en dividir la banda de transmisión (*Transport Stream*) en segmentos y asignarlos a servicios distintos. Este flujo de transporte es remultiplexado y agrupado en segmentos de datos. Luego cada uno de estos segmentos es trasformado en segmentos OFDM. En total, el espectro de transmisión se compone de trece segmentos, siendo esta cantidad la misma para un canal de 6, 7 y 8 MHz de ancho de banda. Lo que varia para cada espectro es el tiempo de duración de cada segmento. [22

- Transmisión Jerárquica: La segmentación permite asignar varios segmentos a un servicio determinado, y ajustar los parámetros de transmisión, este es un elemento sumamente importante para el sistema de transmisión de ISDB-T.

- Recepción Parcial: Se trata de un caso especial de la transmisión jerárquica, en que la codificación de canal y entrelazado en frecuencia de una señal es completamente autocontenida dentro del segmento central de la banda de transmisión. Este segmento puede ser recibido y decodificado independientemente de los demás 12, proporcionando así una solución eficiente para la transmisión a terminales portátiles. El receptor correspondiente es conocido como *receptor de un segmento*. [22]

- Ajuste de tiempo de intercalación.

1.2 SISTEMA DE TRANSMISIÓN

La figura 20 muestra el sistema de transmisión del estándar ISDB-T. Se puede apreciar el subsistema de codificación, el sub-sistema de trasporte y el sub-sistema de Modulación.

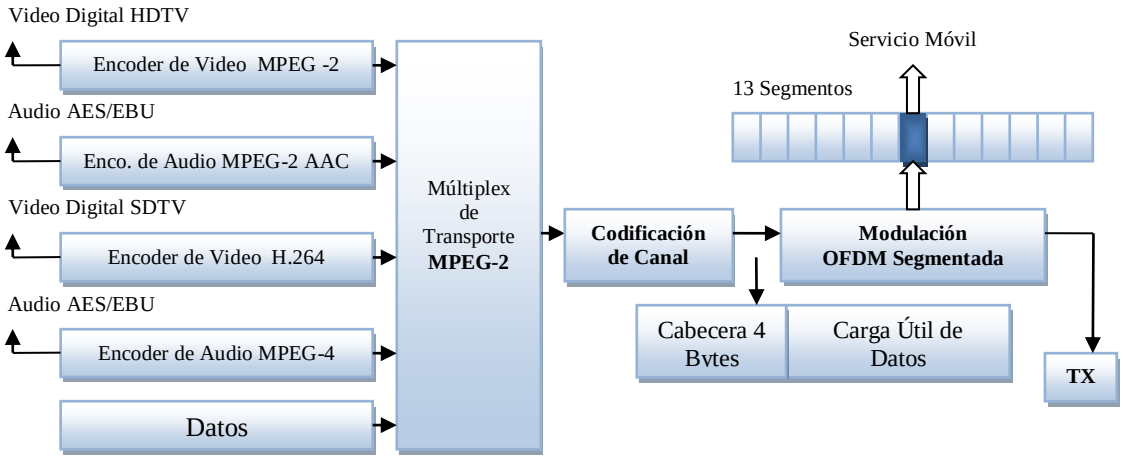

Figura 20. Sistema de Transmisión del Estándar ISDB-T [21

El sistema japonés ISDB-T es una evolución del sistema DVB-T, utilizando el mismo sistema de multiportadoras, modulación OFDM y la inserción del intervalo de guarda. El estándar ISDB-T tiene tres modos de multiportadoras que son el 2K, 4K y 8K. Una innovación que presenta este sistema es la segmentación de ancho de banda que divide el espectro del canal de 6 MHz en 13

segmentos y, dependiendo del tipo de transmisión elegida, utiliza uno o más segmentos para cada capa, con la posibilidad de transmitir hasta tres paquetes de datos simultáneamente con modulaciones diferentes. La figura 21 muestra la segmentación del canal RF. [20][22]

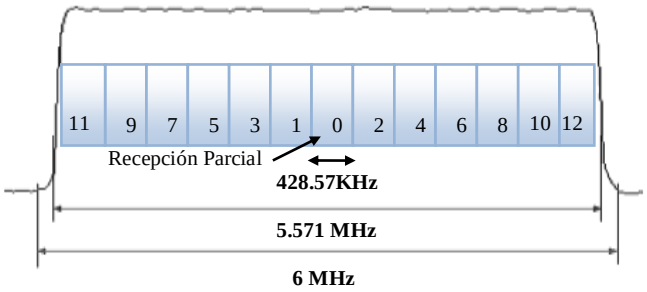

Figura 21. Espectro Segmentado del Canal RF con Segmento Central para Dispositivos Móviles [15]

1.3 CODIFICACIÓN DE AUDIO Y VIDEO

El sistema de audio del estándar ISDB-T utiliza el estándar MPEG-2 ISO/IEC 13818-7 (MPEG-2 – AAC audio), que permite el transporte de canales de audio con una tasa de bits de hasta 320 Kbps. Por su parte, el sistema de video soporta diferentes resoluciones de pantalla y tasas de trama. La tabla 5 muestra las características principales del video en ISDB-T. Las señales de audio y video codificadas forman las señales PES (Packetized Elementary Stream) que posteriormente ingresan al multiplexor. [22]

Tabla 5. Resoluciones de Pantalla para el Estándar ISDB-T [15]

Líneas Verticales	Píxeles por línea	Razón de Aspecto	Frecuencia de Tramas
1080	1920, 1440, 1080	16:9, 4:3	60I
720	1280	16:9, 4:3	30P
480	720, 540	16:9, 4:3	30P
480	720, 544, 540, 480	16:9, 4:3	60P

1.4 SUBSISTEMA DE MULTIPLEXACIÓN

Una vez las fuentes de video, audio y datos dejan el modulo de codificación ingresan al módulo de multiplexación como señales individuales PES. Una vez entran al multiplexor, las señales se agrupan por paquetes en un único TS MPEG-2. El tamaño del *TS* remultiplexado varía con el intervalo de guarda utilizado, además el multiplexor tiene la función de mapear los paquetes de entrada de datos a sus respectivas secciones en la fase de codificación del canal. Para ello, una señal de control se envía del multiplexor hasta el bloque de codificación de canal. La salida del Multiplexor está formada por paquetes de 188 bytes. Cada paquete tiene 1 byte de sincronización (47_{HEX}) y 187 bytes de información útil. [20][22].

1.5 SUBSISTEMA DE CODIFICACIÓN DE CANAL

La fase de codificación se divide por un bloque de codificación interna y externa. La fase de codificación externa es fija y esta formada por un aleatorizador de datos y por la codificación *Reed Solomon* (*RS*) con entrelazador de bytes. La fase de la codificación interna es flexible, formada por el codificador convolucional con una tasa de datos de ½, con un ajuste de funcionamiento de 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8 y entrelazado de bits y de símbolos. La figura 22 muestra la codificaron del canal ISDB-T.

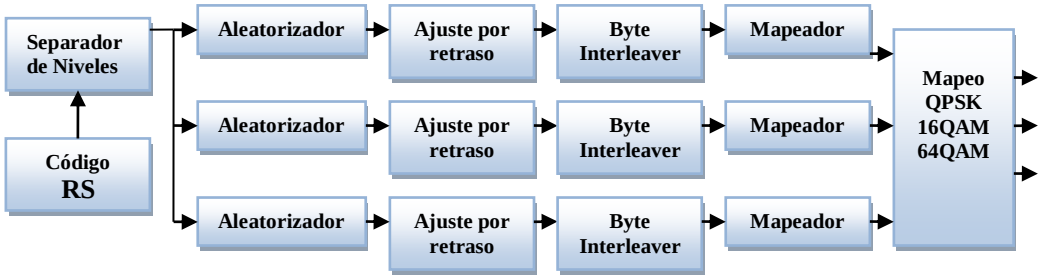

Figura 22. Codificación del Canal [22]

1.5.1 Codificación Externa

1.5.1.1 Reed Solomon

La codificación externa se compone de un bloque de código de tipo *Reed Solomon* $RS_{(n, k, t)}$, donde k es la entrada, n la salida y t es la capacidad de corrección de errores. El sistema ISDB-T utiliza como entrada k=188 y de salida n=204. La distancia mínima puede calcularse por d_{min}= n-k+1. Este código tiene 16 símbolos de paridad igual a n-k y la capacidad de corrección t=(d_{min}-1)/2. La figura 18 muestra el conjunto de datos originados a la salida del codificador RS, donde cada símbolo tiene m=8 bits. La figura 23 muestra el paquete de codificación. [22]

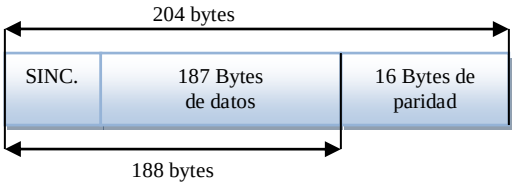

Figura 23. Paquete de Codificación *RS* [15]

Código generador de polinomio:

$$g(x) = (x + \lambda 0)(x + \lambda 1)(x + \lambda 2) \dots (x + \lambda 15), \lambda = 02\ HEX$$

Ecuación 5. Código Generador de Polinomio

Polinomio generador de campo:

$$p(x) = x8 + x4 + x3 + x2 + 1$$

Ecuación 6. Polinomio Generador de Campo

Para realizar la implementación de este código fue necesario añadir 51 bytes y llenar con ceros a la izquierda. El codificador tiene una configuración RS (204, 188).

1.5.1.2 División de la señal TS en capas jerárquicas

La señal *TS* en la salida del codificador RS se divide en 204 bytes y es ordenado en tres capas (parcial, diferencial y coherente) de acuerdo a la re-multiplexación. En este proceso, cada *TS* es dirigido a su respectivo segmento. Si la

transmisión no es jerárquica todas las señales *TS* se dirigen a una sola capa. La capa jerárquica a la cual cada TS pertenece se especifica por orden jerárquico y se basa en la organización de la información. [22]

1.5.1.3 Aleatorizador o dispersor de energía

Con el fin de difundir los datos de entrada del codificador MPEG-2 y eliminar secuencias repetidas de ceros y unos que podrían generar un nivel DC provocando una interferencia intersimbólica, los datos son serializados y añadidos a una secuencia binaria pseudo-aleatoria PRBS (Pseudo-Random Binary Sequence) formada por el generador polinomial. [22]

$$1 + x^{14} + x^{15}$$

Ecuación 7. Generador Polinomial

Los registros de desplazamiento del generador PRBS son cargados con una secuencia inicial "100101010000000". El tamaño de la secuencia de aleatorización de datos es 2^{15}=32767.

1.5.1.4 Ajustes por retardo de la señal

El ajuste por retardos de la señal esta asociada con el byte *Interleaver*, destinado a proporcionar una trasmisión idéntica y tiempos de retardo para todos los niveles jerárquicos. Con la transmisión jerárquica es posible escoger diferentes parámetros de transmisión (número de segmentos, tasas de codificación interna que es diferente entre cada capa, esquemas de modulación), con lo que se obtienen diferentes capacidades de transmisión. Para compensar la diferencia relativa o *Delay* entre los niveles jerárquicos, se realiza un ajuste entre cada capa previo al byte *Interleaver* y equivalente a las velocidades de transmisión. [22]

1.5.1.5 Entrelazador de bytes (*byte interleaver*)

El byte *Interleaver* tiene por objeto difundir los paquetes provenientes del codificador *RS* y del Aleatorizador (Dispersor de Energía) para aumentar su eficiencia ante errores de bloque. Está compuesto de un entrelazador convolucional con I=12 capas registradoras de desplazamiento con un tamaño M=17 bytes. Cada grupo tiene (I-1)x17 registradores y cada símbolo tiene un tamaño de 8 bits. Los 12 grupos se encuentran conectados cíclicamente a la salida del codificador RS y se transfieren a razón de un símbolo por cada clase. Una clase no tiene una posición de memoria, y los símbolos son transferidos inmediatamente a la salida. De este modo, los símbolos de sincronización son enviados a la clase I=0. [20][22]

1.5.2 Codificación Interna

1.5.2.1 Codificación convolucional

La codificación interna la conforma el codificador convolucional, que tiene la tarea de añadir bits para aumentar la capacidad de corrección de los mismos. El código convolucional tiene una tasa de código de R = 1/2 y 64 estados. El polinomio que genera el código tiene una entrada X con $G_1=17_{OCT}$ y una salida Y con $G_2=133_{OCT}$. La figura 24 muestra el diagrama del codificador convolucional. [20][22]

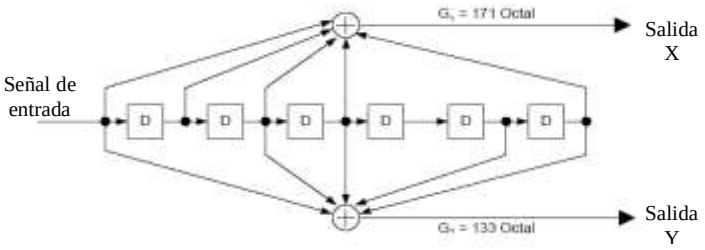

Figura 24. Codificador Convolucional de Tasa 1/2 [22]

1.5.2.2 Subsistema de modulación BST-OFDM (banda segmentada de transmisión – OFDM)

La modulación BST –OFDM de portadoras inicia con la señal de entrada *Bit Interleaver* (entrelazador de bit), que es mapeada a través de esquemas específicos para cada nivel jerárquico. Los esquemas utilizados consisten en una modulación primaria escogida entre QPSK, 16-QAM o 64-QAM. Las capas de las fuentes son combinadas y entrelazadas en un tiempo de 100 ms, 200 ms o 400 ms). Una estructura de sincronización se añade con la inserción de las señales de referencia piloto para señalización y control. La segunda etapa de modulación es formada por un modulador OFDM que opera con un IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) de tamaño 2k, 4k u 8k. A la salida del modulador OFDM se añade un prefijo cíclico que garantiza la solidez del sistema contra la interferencia intersimbólica. Las señales son convertidas a la banda de 6MHz con una frecuencia central de 37.15MHz. La figura 25 muestra el diagrama de bloques de la fase de modulación del sistema ISDB-T. [20] [22]

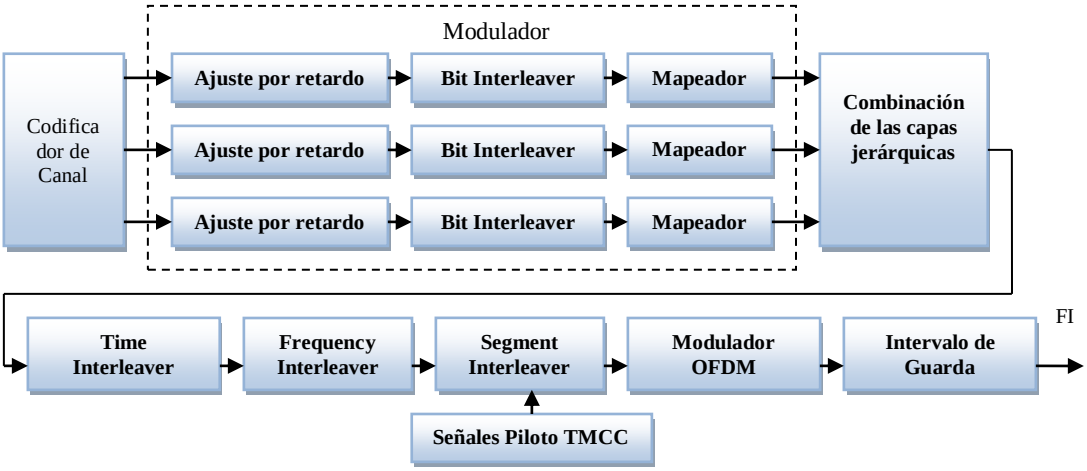

Figura 25. Diagrama en Bloques del Modulador [21] [22]

1.5.2.3 Ajuste por retraso

Los retrasos en la transición y recepción equivalentes a 120 símbolos de la señal portadora ocurren como resultado del entrelazado de bit (*bit interleaver*) de la portadora modulada. Los retrasos pueden variar dependiendo del esquema de modulación. [15]

1.5.2.4 *Bit interleaver* y mapeo

El b*it interleaver* esta constituido por un conversor serie/paralelo de tamaño variable, de acuerdo con el método de modulación más un tiempo de retraso. La figura 26 muestra los diagramas espectrales de los métodos de modulación utilizados por el sistema ISDB-T.

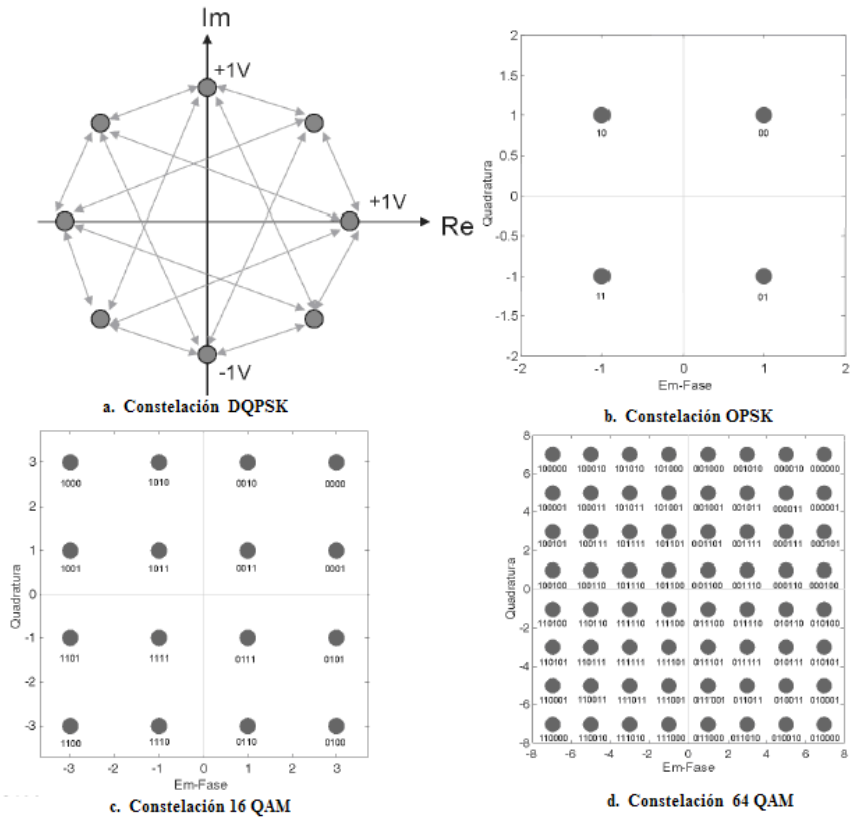

Figura 26. Constelaciones de los Diferentes Métodos de Modulación del Sistema ISDB-T
a. Constelación DQPSK, b. Constelación QPSK, c. Constelación 16QAM, d. Constelación 64QAM [22]

La modulación del sistema ISDB-T se complementa con dos mecanismos que son el factor de normalización y la configuración de los segmentos de datos, donde la primera opera con el fin de mantener la potencia media constante en todas las modulaciones utilizadas por medio de un factor de normalización, diferente para cada constelación. El segundo mecanismo realiza la configuración de los segmentos de datos que están formados por un conjunto de símbolos complejos provenientes de la fase de mapeo. El conjunto de 96 símbolos complejos en 204 símbolos OFDM forman un segmento de datos en el modo 2K, un conjunto de 192 símbolos complejos en 204 símbolos OFDM forman un segmento de datos en el modo 4K y un conjunto de 384 símbolos complejos en 204 símbolos OFDM forman un segmento de datos en modo 8K. [22]

1.5.2.5 Combinación de las capas jerárquicas

Después de la codificación de canal y el mapeo, los segmentos de datos se combinan formando un único segmento de datos. Después de que las señales de las diferentes capas jerárquicas han sido codificadas y moduladas deben ser combinadas e insertadas en segmentos de datos a una determinada velocidad. [22]

1.5.2.6 Entrelazador de tiempo (*time interleaver*)

Después de combinar las diferentes capas jerárquicas, estas deben ser entrelazadas por medio del t*ime interleaver* en unidades moduladas de símbolos. El t*ime interleaver* posee un entrelazador de bloques que entrelaza las

subportadoras dentro de varios símbolos OFDM, actuando separadamente en cada segmento de datos OFDM, y es combinado cíclicamente en la salida. El tamaño del entrelazamiento puede ser ajustado variando algunos de sus parámetros. El entrelazador temporal ha sido destinado a garantizar una mayor solidez ante desvanecimientos e interferencia en la aleatorización de la señal después de la modulación, y también reduce los retrasos producidos durante la transmisión, pues estos se incrementan al ser almacenados en la memoria del terminal [22].

1.5.2.7 Entrelazador de frecuencia y de segmentos (*frequency and segment interleaver*)

Durante la división del TS, los segmentos de datos son dirigidos a sus respectivas capas de modulación para ser entrelazados. Estos entrelazadotes son utilizados para difundir símbolos complejos provenientes de la modulación diferencial (DQPSK) o coherente (QPSK, 16-QAM y 64-QAM) entre segmentos. Adicionalmente se producen dos etapas que son la fase de rotación y la fase de portadoras. [22]

1.5.2.8 Estructura de cuadro OFDM

La transmisión de la señal se lleva a cabo en los cuadros. Cada cuadro tiene una duración de T_F y consta de 204 símbolos OFDM. Cada símbolo OFDM con 13 segmentos de la banda se compone de una serie de K=1405 portadoras para un modo 1 (2k), K = 2809 portadoras con modo 2 (4K) y K = 5617 portadoras con modo 3 (8k), que son transmitidas con una duración TS. El TS se compone por un T_U que es la duración del tiempo de las portadoras o intervalo de guarda con duración Δ. Un intervalo de guarda consiste en una secuencia cíclica de T_U que es insertada en su termino. Un símbolo OFDM con 13 segmentos ocupa la banda de 5.57 MHz. [22]

1.5.2.9 Señales piloto ó de referencia

Varias portadoras de cuadro OFDM son moduladas con información de referencia conocida por el receptor. Estas portadoras son transmitidas con una potencia superior a la ejecución de los datos. La información transmitida de estas portadoras son llamadas señales piloto contínuas o espaciadas. Cada señal piloto contínua coincide con las portadoras piloto espaciadas cada cuatro símbolos. El número de portadoras usadas para los datos es constante para cada segmento, 96para el modo 2k, 192 para el modo 4k y 384 para el modo 8k. La información a modular par las portadoras pilotos contínuas ó espaciadas es originada por un polinomio PRBS $X^{11}+X^{2}+1$. Cada símbolo OFDM posee información de datos de referencia. En resumen, además de llevar datos, un cuadro OFDM también posee portadoras piloto espaciadas (SP), contínuas (CP), parámetros auxiliares (AC), parámetros de transmisión, multiplexación, control y configuración (TMCC). Las portadoras piloto son utilizadas para la sincronización de frecuencia, sincronización de tiempo estimación del canal, identificación del modo de transmisión y corrección de ruido de fase, de la misma forma que lo hacen las señales Piloto del sistema DVB-T. [20][22].

1.5.2.10 Señales TMCC

El sistema de control sobre la configuración de la transmisión y multiplexación está a cargo de la señal TMCC (System for the Transmission and Multiplexing Configuration Control Signal), usada para transmitir parámetros de información al receptor (señales se sincronizaron) como guía para realizar la demodulación, dependiendo de la configuración jerárquica OFDM. [20][22]

1.5.2.11 Señal de RF

La señal OFDM se compone de varias portadoras moduladas ortogonalmente, donde cada símbolo puede ser considerado como una única portadora con duración Tu, tal como lo expresan la siguiente ecuación:

$$s(t) = Re\left\{e^{j\cdot 2\cdot \pi\cdot fc\cdot t}\sum_{n=0}^{\infty}\sum_{k=0}^{k-1} Cn,k\cdot \Psi n,k(t)\right\}$$

$$\Psi n,k(t) = \begin{cases} e^{j\cdot 2\cdot \pi\frac{k-kc}{Tu}(t-\Delta-n\cdot Ts)} & n\cdot Ts \leq t \leq (n+1)\cdot Ts \\ 0 & t < n\cdot Ts, (n+1)\cdot Ts \leq t \end{cases}$$

Ecuación 8. Símbolo de la señal RF para OFDM

K es el número de portadoras, N el número de símbolo OFDM, Kc es el número de portadoras transmitidas en modo 1, 2 y 3, TS la duración del símbolo OFDM con intervalo de guarda, Tu la duración de símbolo OFDM sin intervalo de guarda, Δ la duración del intervalo de guarda, fc la frecuencia central del canal RF, kc el índice de la portadora relativo al centro de frecuencia, Cn,k el dato a ser transmitido por un número complejo que modulará una portadora K del símbolo n del cuadro OFDM y finalmente s(t) es la señal de RF. [20][22]

1.5.2.12 Intervalo de guarda

El intervalo de guarda es insertado después de la modulación ODFM y consiste en una extensión cíclica del símbolo OFDM. El tamaño de la de la réplica *Tu* equivale a la duración del intervalo de guarda. La figura 27 muestra un símbolo OFDM con intervalo de guarda.

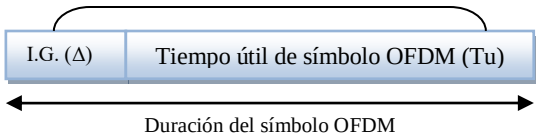

Figura 27. Símbolo OFDM con Extensión Cíclica [15]

1.5.2.13 Tasa de transmisión

La tasa de bits útiles transmitidos en el sistema ISDB-T puede calcularse utilizando la siguiente ecuación:

$$Rb = \frac{1}{Tu}\cdot Nc\cdot Md\cdot Rcc\cdot Rrs\cdot k'\cdot Ns$$

Ecuación 9. Tasa de Bits para ISDB-T

con *k'* = 1/(k+1) y dónde R_b es el bit transmitido eficazmente, N_s el número de segmentos, T_u el tiempo útil de símbolo OFDM: 63/250 para 2k, 63/125 para 4k y 126/125 para 8k, M_d el método de modulación QPSK = 2, 16-QAM = 4, y 64-QAM = 6, N_c el número de portadores útiles = 96 para 2k, 192 para 4k y 384 para 8k, R_{cc} las tasas de codificación y código convolucional = 1 / 2, 2 / 3, 3 / 4, 5 / 6 o 7 / 8, R_{rs} la relación del coeficiente RS (188/204) y k la relación del intervalo de guarda = 1 / 4, 1 / 8, 1 / 16 o 1 / 32. [20][22]

Las tablas 6 y 7 muestran respectivamente las tasas de transmisión para la modulación parcial o total con uno ó 13 segmentos.

Tabla 6. Tasa de Bits Útil para un Segmento [20] [22]

Modulación	Tasa de Codificación FEC	No. de TPS Transmitidas Modo (1/2/3)	Tasa de Datos (Kbps) Intervalos de Guarda			
			1/4	1/8	1/16	1/32
DQPSK QPSK	1/2	12/24/48	280.85	312.06	330.42	340.43
	2/3	16/32/64	374.47	416.08	440.56	453.91
	3/4	18/36/72	421.28	468.09	495.63	510.65
	5/6	20/40/80	468.09	520.10	550.70	567.39
	7/8	21/42/84	491.50	546.11	578.23	595.76
16QAM	1/2	24/48/96	561.71	624.13	660.84	680.87
	2/3	32/64/128	748.95	832.17	881.12	907.82
	3/4	36/72/144	842.57	936.19	991.26	1021.30
	5/6	40/80/160	936.19	1040.21	1101.40	1134.78
	7/8	42/84/168	983.00	1092.22	1156.47	1191.52
64QAM	1/2	36/72/144	842.57	936.19	991.26	1021.30
	2/3	48/96/192	1123.43	1248.26	1321.68	1361.74
	3/4	54/108/216	1263.86	1404.29	1486.90	1531.95
	5/6	60/120/240	1404.29	1560.32	1652.11	1702.17
	7/8	63/126/252	1474.50	1638.34	1734.71	1787.28

Tabla 7. Tasa de Bits Útil para Trece Segmentos [20] [22]

Modulación	Tasa de Codificación	No. de TPS Transmitidas Modo (1/2/3)	Tasa de Datos (Mbps) Intervalos de Guarda			
			1/4	1/8	1/16	1/32
DQPSK QPSK	1/2	156/312/624	3.651	4.056	4.295	4.425
	2/3	208/216/832	4.868	5.409	5.727	5.900
	3/4	234/468/936	5.476	6.085	6.443	6.638
	5/6	260/520/1040	6.085	6.761	7.159	7.376
	7/8	273/546/1092	6.389	7.099	7.517	7.744
16QAM	1/2	312/624/1248	7.302	8.113	8.590	8.851
	2/3	416/832/1664	9.736	10.818	11.454	11.801
	3/4	468/936/1872	10.953	12.170	12.886	13.276
	5/6	520/1040/2080	12.170	13.522	14.318	14.752
	7/8	546/1092/2184	12.779	14.198	15.034	15.489
64QAM	1/2	468/936/1872	10.953	12.170	12.886	13.276
	2/3	624/1248/2496	14.604	16.227	17.181	17.702
	3/4	702/1404/2808	16.430	18.255	19.329	19.915
	5/6	780/1560/3120	18.255	20.284	21.477	22.128
	7/8	819/1638/3276	19.168	20.298	22.551	23.234

ANEXO E. GENERALIDADES DE LA TELEVISIÓN DIGITAL

En este apartado se realiza una exploración teórica acerca de la TVD en general, con sus respectivas características, especificaciones, estado actual, los actores que involucra y hacia que tipo de usuarios y mercado está dirigida.

1. INTRODUCCIÓN A LOS CONCEPTOS BÁSICOS DE TELEVISIÓN DIGITAL

Desde hace varios años se ha trabajado en el área de las telecomunicaciones sobre la migración hacia servicios digitales y la posibilidad de prestar múltiples opciones en un mismo sistema. Es así como han surgido diversas tecnologías que se especializan en este campo, por ejemplo, la TVD que ofrece como servicios básicos televisión, radio y datos, y que en complemento con una red alterna ofrece servicios interactivos como Internet, telefonía, comercio electrónico, guía de programación, entre otros, logrando que el servicio en general sea más llamativo para el usuario final.

Si se hace referencia a revolución tecnológica, la inclusión de la TVD es un claro ejemplo de ello y en la actualidad se ha ido posicionando debido a las grandes ventajas que presenta frente a la televisión analógica que hasta el momento tiene la mayor cantidad de usuarios a nivel mundial. La importancia y repercusión de esta tecnología es comparable con el impacto que causó años atrás la introducción de la televisión a color.

La manera más adecuada para definir la TVD se basa en la tecnología utilizada para transmitir la señal, que consiste en la codificación de esta en forma binaria ("1" o "0") para posteriormente ser transmitida hacia los usuarios en forma de pulsos a través de la plataforma digital para recepción abierta o cerrada, es decir, gratuita o paga respectivamente. La digitalización de la señal de televisión permite superar las diversas desventajas de la señal analógica, como lo es el uso inadecuado del espectro radioeléctrico, la utilización de mayor ancho de banda, la interferencia entre canales adyacentes conocida como ineficiencia interbanda (desmejoramiento de sonido e imagen en la señal recibida por el usuario) lo que conlleva a un desuso de ciertas frecuencias, entre otros, aspectos que se mejoran al digitalizar la señal. Cabe anotar que la señal digital en principio ocupa más ancho de banda que una señal analógica, pero los métodos de compresión que utiliza permiten que se pueda alojar en el ancho de banda disponible, optimizando así el uso del espectro. [23]

La TVD se caracteriza por mejorar la calidad de la señal de televisión en cuanto a imagen y sonido se refiere. Esto se logra debido a que tiene la posibilidad de ajustar los parámetros de modulación para controlar el deterioro de la señal frente al ruido e interferencias, logrando así que sea una tecnología robusta frente a este tipo de efectos, contrario a lo que sucede en un sistema de televisión analógica donde la señal se degrada a lo largo de la red. Un sistema de TVD regenera o crea nuevos impulsos en diversos puntos llamados repetidores, evitando que los errores que pueda traer la señal sean amplificados y retransmitidos afectando la calidad de la misma, tal como sucede en un sistema de televisión analógico. Esta característica permite que la señal llegue en óptimas condiciones al usuario final. Adicionalmente, esta tecnología hace un mejor uso del espectro radioeléctrico debido a las técnicas de compresión que utiliza, lo que permite transmitir un mayor número de canales digitales de alta calidad y que se traduce en un mejor uso del ancho de banda, posee una mayor flexibilidad para incorporar nuevos servicios, facilita el procesado y almacenamiento de la información puesto que todo se hace en forma binaria, brinda al usuario un gran abanico de servicios tradicionales y multimedia e incluye un punto a favor y muy importante como lo es la interactividad, que brinda al usuario la posibilidad de decidir aquello de lo cual quiere hacer uso en cuanto a los servicios ofrecidos por esta tecnología, todo gracias a una red alterna. [24] [25] [26]

Cuando se habla de mejor calidad en imagen se refiere a la posibilidad de transmitir canales en formato 16:9[3] con alta resolución (similar a la calidad de las realizaciones cinematográficas) y no en el formato tradicional 4:3[4]. Por su parte, la calidad en cuanto a sonido hace referencia a la recepción estéreo o *surround*[5] también conocido como sonido envolvente, que se caracteriza porque viene de diversas direcciones. El conjunto de estas características hace que la recepción de la señal de TVD se asemeje a lo que se experimenta en las salas de cine. [27]

Otro factor a tener en cuenta dentro de las ventajas que brinda esta tecnología es la posibilidad de tener acceso a esta y hacer uso de los servicios que ofrece desde terminales móviles, por ejemplo, teléfonos móviles celulares, asistentes digitales personales (PDA, Personal Digital Assistant), televisores portátiles, vehículos que cuentan con los receptores adecuados, entre otros. Esta opción brinda al usuario final la oportunidad de tener acceso a esta tecnología desde diferentes lugares, incluso movilizándose a altas velocidades.

Para centrarse un poco mas en el tema de la TVD hay que remontarse a sus inicios, donde cabe destacar el primer estándar de TVD para Estudio que surgió a nivel mundial en el año de 1982 por parte del Comité Consultivo Internacional de Radiodifusión (CCIR, International Radio Consultative Committee), que en principio recibió el nombre de CCIR-601[6] y que actualmente se conoce como ITU-R.BT.601[7]. Este estándar fue creado exclusivamente para ser utilizado en los estudios de televisión y llevar a cabo todo el proceso de digitalización de la señal desde la grabación para posteriormente ser transmitida de forma analógica hacia los usuarios. A partir de la década de los 80´s la TVD en estudios de televisión permitió el desarrollo de sistemas y productoras de TV con equipos totalmente digitales. [27]

A medida que pasaron los años dicho estándar fue perfeccionado por parte de los investigadores y expertos en el tema, aunque posteriormente surgieron algunos problemas. Tal es el caso de la imposibilidad para transmitir un canal digital de Televisión de Alta Definición (HDTV, High Definition Television) o varios canales digitales de Televisión de Definición Estándar (SDTV, Standard Definition Television) en el ancho de banda que ocupa una señal de televisión analógica (5, 6, 7 u 8 MHz, dependiendo del país), debido a que la señal digital a transmitir hacia el usuario final ocupa un ancho de banda mucho mayor. Por ejemplo, un canal HDTV sin compresión ocupa 420 MHz, equivalente a 70 canales de 6 MHz, mientras que un canal SDTV sin compresión ocupa 78 MHz, equivalente a 13 canales de 6 MHz. [28]

La anterior fue quizá una de las desventajas más importantes a tener en cuenta, que se tradujo en la necesidad de comprimir la señal digital para poder alojarla en el ancho de banda disponible. La solución se encontró en el Grupo de Expertos en Imágenes en Movimiento parte 2 (MPEG-2, Moving Pictures Experts Group – 2), un estándar para compresión de video y audio digital que permite comprimir la señal y de esta forma alojarla en el ancho de banda que ocupa el canal analógico. Para un canal SDTV que tiene una velocidad de flujo de datos de 277 Mbps se logra una relación de compresión de 13,5:1, mientras que para un canal HDTV con una velocidad de flujo de datos de 1,48 Gbps se obtiene una relación de compresión de 70:1. Al comprimir dichos canales y poder alojarlos en el ancho de banda del canal analógico se dio solución a este problema pero surgió otro inconveniente y era la necesidad de poder modular la señal digital o el flujo de datos MPEG-2 para poder transmitirlos hacia el usuario final. [27]

Surgen entonces a nivel mundial por parte de diferentes grupos especializados en el área los estándares de TVD para transmisión, entre los cuales se destacan el estándar de Difusión de Video Digital (DVB, Digital Video

[3] Relación de aspecto de los televisores panorámicos (16 fracciones de ancho por 9 de alto).
[4] Relación de aspecto de los televisores tradicionales (4 fracciones de ancho por 3 de alto).
[5] Uso de múltiples canales de audio para crear el efecto envolvente del sonido.
[6] Estándar de video digital de alta calidad sin compresión utilizado en los estudios y productoras de Televisión.
[7] Nuevo nombre para el estándar CCIR-601.

Broadcast) de Europa, el estándar del Comité de Sistemas Avanzados de Televisión (ATSC, Advanced Television Systems Committee) de Estados Unidos, el estándar de Difusión Digital de Servicios Integrados (ISDB, Integrated Services Digital Broadcast) de Japón y el estándar de Difusión Multimedia Digital (DMB, Digital Multimedia Broadcast) de Corea. Cada uno de los estándares tiene especificados su tipo de modulación y otras características adicionales, tal como se verá mas adelante. Los tipos de modulación digital más utilizados son la Modulación por Control de Fase en Cuadratura (QPSK, Quadrature Phase Shift Keying), la Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM, Quadrature Amplitud Modulation) y la Modulación de Banda Lateral Residual de 8 Niveles (8VSB, 8 Vestigial Side Band). Por otro lado, el esquema de transmisión más usado es la Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM, Orthogonal Frecuency Division Multiplexing). De acuerdo a las necesidades de los desarrolladores y las características de cada estándar se escogió el tipo de modulación y el esquema de transmisión más apropiados. [29] [30]

El usuario tiene diferentes opciones para acceder a la TVD, que se diferencian por el medio de transmisión que utilizan. Dichas opciones son las Redes de Cable, las Redes Satelitales, las Redes de Difusión Terrestre, las Redes de Difusión Móvil, las Redes Celulares de alta velocidad y las Redes que trabajan bajo el Protocolo de Internet (IP, Internet Protocol). Para cada una de estas opciones existen diversos estándares que permiten su desarrollo como tal y que son adoptados por los diferentes países de acuerdo a sus necesidades. De esta forma, en la actualidad el usuario final puede elegir la forma de tener acceso al servicio de TVD con una variedad de opciones como las planteadas anteriormente.

Cuando se habla de TVD transmitida por Redes de Cable se hace referencia a aquella que es distribuida hacia terminales fijos, generalmente por fibra óptica hasta la parte exterior de las edificaciones para posteriormente llegar al usuario en el hogar por medio de cable coaxial. Por su parte, la TVD transmitida por Redes Satelitales a terminales fijos es aquella que utiliza satélites geoestacionarios como punto intermedio entre el radiodifusor y las antenas ubicadas en el exterior de las edificaciones para ser llevada por cable coaxial a los usuarios en los hogares. La TVD transmitida por Redes de Difusión Terrestre a terminales fijos utiliza la radiodifusión para llegar a los hogares por medio de las antenas ubicadas en el exterior de las edificaciones y posteriormente llevada por cable coaxial a los usuarios. La TVD transmitida por Redes de Difusión Móvil está enfocada exclusivamente para su recepción en dispositivos móviles y hace uso de la radiodifusión para llegar a las antenas de los diferentes terminales, sistema donde se hará énfasis en este Trabajo de Grado. La TVD transmitida por Redes Celulares de alta velocidad es aquella que se ofrece a dispositivos receptores de telefonía móvil, donde a mayor ancho de banda por parte de la red, mayor es la calidad del servicio percibida por el usuario. Adicionalmente, este tipo de redes son utilizadas por las Redes de Difusión Móvil como canal de retorno para brindar interactividad. Finalmente, la TVD transmitida por Redes IP se refiere a la transmisión de servicios multimedia utilizando la infraestructura existente y más extendida como lo es la red IP. [31]

En la figura 28 se muestra la estructura más general de un sistema de TVD, donde la diferencia que presentan los distintos tipos existentes se encuentra en el tipo de red que utilizan y que caracteriza a cada uno de estos.

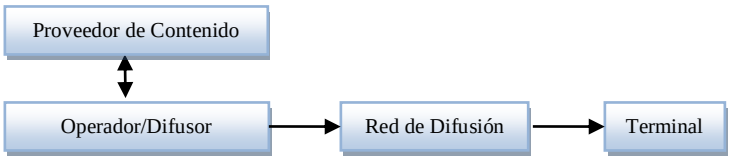

Figura 28. Sistema General de Televisión Digital

Los proveedores de contenido brindan este tipo de información por diferentes medios como satélite, cable, líneas de enlace arrendadas, entre otros, al operador/difusor que a su vez ofrece el servicio al cliente y se encarga de que este reciba la señal en óptimas condiciones utilizando una red de difusión específica.

Es importante citar los actores con los cuales se relaciona la TVD, los usuarios y el mercado hacia los que está dirigida, además de los servicios que presta y que hacen que sea una tecnología robusta y llamativa. A continuación se hace una breve descripción de cada uno de los anteriores.

1.1 ACTORES, USUARIOS Y MERCADO DE LOS SISTEMAS DE TELEVISIÓN DIGITAL

- **Gobierno:** Es aquel que se encarga en primera instancia de tomar la decisión de la inclusión de esta tecnología en su país después del estudio pertinente, teniendo en cuenta los pro y los contra que tiene para dicha nación. [23] [31] [32]

- **Regulador:** Este ente es el encargado de instaurar y hacer cumplir a cabalidad las normas que rigen el servicio por parte de los actores que intervienen en esta tecnología, velando a la vez por el bienestar de los clientes. [19] [31] [32]

- **Televidente:** Este primer ente además de ser un actor directo de la TVD es a su vez quien representa al usuario como tal, aquel que hace uso de esta tecnología para recibir los diversos servicios que ofrece. El papel que juega es hacer uso de la interactividad para solicitar y acceder a aquello que desea ver y de lo cual quiere hacer uso, por ejemplo, sus canales favoritos a la hora deseada, los indicadores económicos, la guía de programa, entre muchos mas, obteniendo de esta forma ventajas como la posibilidad de acceder a nuevos servicios, acceder a un gran número de aplicaciones interactivas, una mayor oferta de contenidos, además de mayor calidad y definición en cuanto a imagen y sonido se refiere. [23] [31] [32]

- **Operador del Servicio:** Este actor es aquel que ofrece los diferentes servicios y se encarga de que lleguen al usuario final por medio de la plataforma digital. A través de la interactividad tiene la posibilidad de crear nuevos modelos de negocio, además de la oportunidad de obtener grandes dividendos y ganancias para el mismo por parte de los ingresos que deja la publicidad. [23] [31] [32]

- **Creadores de Contenido:** Dentro de este grupo se encuentran aquellos entes interesados en dar a conocer cualquier tipo de producto, los cuales se ven beneficiados al poder comercializarlos y promocionarlos directamente al usuario por medio de la plataforma de la TVD, lo que se traduce en un crecimiento de la industria. Es en este grupo donde esta tecnología tiene puesto mayor interés debido a que la oferta de canales SDTV y HDTV demandará mayor cantidad de contenidos para ofrecer al usuario final. [23] [31] [32]

- **Industria Electrónica:** Este actor representa a todos aquellos entes encargados de la fabricación de productos y dispositivos relacionados con la TVD y es por esta razón que es uno de los mas interesados en la inclusión de esta tecnología y el fin de las emisiones de la televisión analógica debido a los ingresos que le representa la renovación de dispositivos y los nuevos productos que puede ingresar en el mercado. [16] [24] [25]

- **Empresas Emisoras:** Dentro de este grupo están los entes que utilizan la gran oferta de canales como la posibilidad para tener mayores oportunidades de comunicación con el usuario final y mayor facilidad para direccionar la publicidad. Adicionalmente, las emisoras pueden incluir un conjunto de servicios que involucren de una forma más activa al usuario para hacer de la televisión una herramienta que incorpora posibilidades de comunicación y participación más avanzadas, beneficiando así a la sociedad de la información. [23] [31] [32]

- **Operador Canal de Retorno:** Este actor hace referencia a las empresas operadoras de las redes que trabajan en conjunto con la red de difusión del servicio de TVD para brindar interactividad al usuario y cierto tipo de servicios, lo que les brinda una gran oportunidad para ofrecer nuevos servicios al usuario, ampliar la oferta de aplicaciones de datos y aumentar los índices de retorno por usuario gracias a la interactividad, aspectos que se traducen en el aumento de los ingresos. [23] [31] [32]

El conjunto de estos actores hace que el mercado de la TVD sea amplio a nivel mundial, donde la industria, los usuarios y la sociedad en general cada día exigen más para que surjan nuevos desarrollos que faciliten la vida cotidiana. Es por esta razón que la TVD se consolida como una tecnología robusta que se caracteriza por la variedad de servicios que ofrece y la calidad de los mismos, posicionándose como una de las más llamativas y confiables de este siglo, lo cual le abre un camino amplio dentro de un mercado tan exigente como el de las telecomunicaciones.

Tal como se mencionó en principio, la TVD ofrece una gran variedad de servicios para satisfacer al usuario. A continuación se exponen los servicios más representativos.

1.2 SERVICIOS OFRECIDOS POR LOS SISTEMAS TELEVISIÓN DIGITAL

El usuario final quiere contar con la posibilidad de tener acceso a lo que realmente desea, además de exigir calidad en los servicios que recibe. Debido a lo anterior surge la necesidad de contar con una plataforma robusta para satisfacer al cliente, como la TVD, tecnología que trae consigo una diversidad de servicios avanzados de alta calidad ofrecidos al usuario y que permiten hacer una integración entre las aplicaciones de televisión y las aplicaciones de datos, además de contar con interactividad. Cabe anotar que los servicios básicos que presta la TVD son televisión como tal, radio y datos.

El conjunto de servicios que ofrece la TVD se clasifican como servicios audiovisuales, servicios interactivos y servicios de acceso a Internet. A continuación se tiene una breve descripción de cada uno de los grupos en los cuales se clasifican los servicios ofrecidos por esta tecnología en general.

1.2.1 Servicios Audiovisuales

En el momento en el que el usuario contrata el servicio de TVD, dicho servicio trae consigo ciertos canales incluidos dentro del plan y ofrece al usuario la posibilidad de tener acceso a canales adicionales realizando un pago extra. Debido a las necesidades del usuario en cuanto al acceso a la programación que desea ver, nace este grupo de servicios que se basan tanto en la emisión como en la recepción de la señal de TVD ligados a los gustos del cliente.

Dentro de este grupo se destacan servicios como video bajo demanda (VOD, Video On Demand), pagar por ver (PPV, Pay-Per-View), video casi bajo demanda (NVOD, Near Video On Demand) y pagar por evento (PPE, Pay-Per-Event).

1.2.2 Servicios Interactivos

Los servicios interactivos son aquellos que complementan el servicio básico de TVD y permiten que el usuario tenga la posibilidad de acceso a información asociada a los programas de televisión y sea partícipe activo de los mismos.

Debido a que las redes de difusión son de naturaleza unidireccional, a excepción de la red celular que es bidireccional, para que el usuario pueda hacer uso de la interactividad la TVD cuenta con canales de retorno a través de una red adicional por medio de la cual el cliente envía las peticiones de los servicios o aplicaciones de las que quiere hacer uso. Dichos canales son redes alternas a la red de difusión, por ejemplo, la familia xDSL y las Redes de Telefonía Pública Conmutada (PSTN, Public Switched Telephone Network) en el caso de TVD para dispositivos fijos,

y las redes celulares para el caso de la TVDM en teléfonos celulares, que llevan al operador del servicio la petición o solicitud del usuario en forma de una señal digital ("1" o "0") para ser atendida. [33]

El Receptor y Decodificador Integrado (IRD, Integrated Receiver and Decoder) es aquel que decodifica la información recibida y ejecuta la aplicación respectiva. La petición del usuario, que genera la interactividad, es codificada y enviada por medio del canal de retorno hacia un servidor intermedio encargado de verificar que los datos sean fiables y seguros, para posteriormente enviarlos al servidor específico que satisface la petición del cliente. El usuario recibe los servicios desde un servidor de aplicaciones el cual inserta los datos del respectivo servicio en el múltiplex para posteriormente ser enviados hacia el cliente. [33]

De esta forma se garantiza que los servicios ofrecidos por la TVD brinden interactividad y el usuario participe activamente. La satisfacción del cliente se traduce en la permanencia del mismo y la captación de nuevos usuarios, generando ganancias que fortalecen la cadena de valor de los distintos entes que se involucran con este servicio.

En la figura 29 se puede ver el sistema más general de TVD con la respectiva interactividad que brinda al usuario.

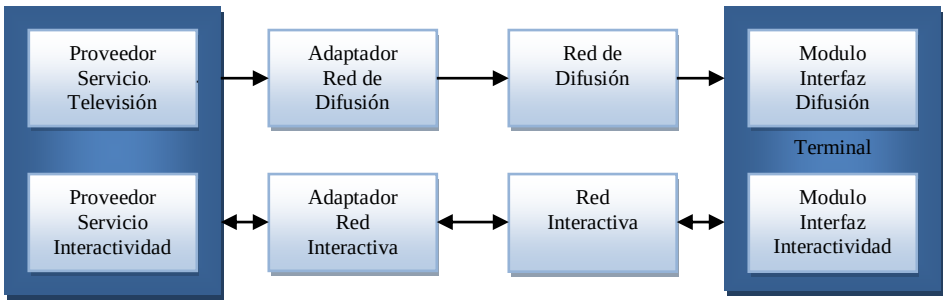

Figura 29. Interactividad en Televisión Digital

Algunos de los servicios interactivos más representativos de esta tecnología son la guía electrónica de programación, el cambio de idioma, la lista personal de programación, el bloqueo, la previsualización de contenido, la telecompra, los juegos, la telebanca, las reservas y el clima.

1.2.3 Servicios de Acceso a Internet

La TVD permite que el usuario tenga acceso a Internet por medio del terminal, haciendo uso de conectividad a través del Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet (TCP/IP, Transmission Control Protocol/Internet Protocol). Para que esto sea posible se hace necesaria la integración de la red de TVD y otra red alterna que sirve como canal de retorno para brindar interactividad al usuario, por ejemplo, la red celular para el caso de TVDM en teléfonos móviles, y las redes cableadas, las redes IP, entre otras, para el caso de TVD a terminales fijos. [33]

El canal que necesita mayor ancho de banda es aquel que va desde Internet al usuario, permitiendo así la recepción de un flujo de datos de alta velocidad por el respectivo receptor. Por su parte, el canal de retorno que brinda interactividad al usuario maneja un flujo de datos con una velocidad baja debido a que el cliente realiza simples selecciones a través del mando a distancia. [33]

En la figura 30 se observa el sistema más general de TVD con el respectivo canal de retorno, permitiendo que el usuario tenga acceso a Internet.

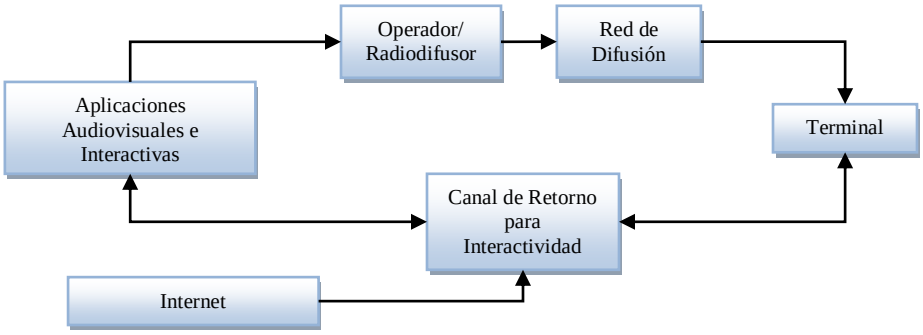

Figura 30. Sistema de Televisión Digital con Acceso a Internet

La televisión es uno de los medios informativos más difundidos a nivel mundial. Ahora, si a esto se le suma la posibilidad de acceso a Internet a través de este medio, las empresas que utilizan Internet para promocionar sus productos y/o servicios ven una oportunidad para darse a conocer en forma masiva. Antes de pensar en todas las posibilidades que brinda la TVD, traducido en la variedad de servicios avanzados que ofrece, las empresas operadoras de esta tecnología deberán preocuparse en principio porque tenga éxito la oferta del servicio de TVD y así cuando haya una verdadera competencia deberá preocuparse por la innovación al ofrecer el servicio de Internet. Cabe anotar que los diferentes tipos de difusión de TVD están en capacidad de brindar los distintos servicios expuestos anteriormente en conjunto con una red alterna utilizada como canal de retorno para brindar interactividad. Para el caso de TDM, específicamente en dispositivos móviles como teléfonos celulares y que es el objetivo de este Trabajo de Grado, el canal de retorno es la red de telefonía móvil.

De esta forma se finaliza con la conceptualización en general de la TVD donde se puede ver la importancia que representa para la sociedad actual. La TVDM en teléfonos celulares cumple con los aspectos descritos anteriormente y es así como se espera que esta tecnología de a los usuarios la posibilidad de tener acceso a ella desde cualquier lugar y adicionalmente que en los próximos años junto con las demás modalidades de prestación de TVD desplace a la televisión con la que se cuenta actualmente, hasta llegar al punto de presentarse el “apagón analógico”, el cual se traduce en el fin de las emisiones de televisión analógica en cada país.

ANEXO F. CONSIDERACIONES ADICIONALES PARA LA IMPLEMENTACIÓN EN COLOMBIA DEL SERVICIO DE TELEVISIÓN DIGITAL EN MOVILIDAD

Adicional a los criterios técnicos planteados para la implementación en Colombia de la TVDM es necesario tener en cuenta ciertos aspectos adicionales pero no menos importantes, que en gran medida tienen efecto sobre el adopción de esta tecnología en el país.

1. ESTABLECIMIENTO DE UN CRONOGRAMA

Como primera medida dentro del proceso de adopción de la TVDM en Colombia, es importante establecer un cronograma donde se estipulen los pasos a seguir a lo largo de dicho proceso, para trazarse metas claras y que sirve además como guía. El cronograma debe estar estipulado en el tiempo y seguir un orden lógico, exponiendo los periodos en los que se debe desarrollar cada etapa del proceso. Dicho cronograma debe determinar, entre otros, los respectivos periodos para el estudio y capacitación sobre TVDM, el estudio, comparación y pruebas técnicas de los estándares, el estudio económico, cultural, social, regulatorio y jurídico, la implementación del servicio, la transición de la televisión actual hacia la nueva tecnología y finalmente la fecha estipulada para el apagón analógico en Colombia. [34]

2. ÁREAS DE ESTUDIO

Aspectos como el socioeconómico, sociocultural, regulatorio y jurídico determinan junto con el área técnica lo más conveniente para el país, por lo que el estudio de estos ejes establece el sistema de TVDM para teléfonos celulares más adecuado para la sociedad colombiana. Cada eje hace referencia a los estudios pertinentes que se deben realizar en cada área con el fin de determinar la implicación que tiene en el respectivo proceso, además de definir el periodo de transición de la televisión actual a la nueva tecnología. El conjunto de estas consideraciones es la base de la implementación de este servicio en el país y que el gobierno toma en cuenta para tomar decisiones. A continuación se hace una breve descripción de cada uno de los ejes mencionados. [34]

2.1 EJE TÉCNICO

Este aspecto hace referencia a las consideraciones técnicas que deben ser tenidas en cuenta para poder implementar la tecnología en Colombia, y es en este eje donde se realizan los estudios y pruebas técnicas pertinentes para buscar los resultados que se adapten lo mejor posible a las condiciones del país. Dentro de este grupo se involucran autoridades del estado, operadores tanto públicos como privados, fabricantes de dispositivos, los proveedores de servicios y de contenidos, entre otros. Es importante que se analice minuciosamente la infraestructura existente de televisión analógica radiodifundida y de telefonía móvil celular, para reutilizar en lo posible aquella que sea compatible con el sistema de TVD que se adopte para recepción en teléfonos celulares, con el fin de no desaprovechar las grandes inversiones económicas hechas hasta el momento para contar con la red de televisión actual y los diversos emplazamientos de las redes celulares, minimizando así los costos de implementación en Colombia. Por otro lado, la geografía colombiana juega un papel importante en el estudio técnico, puesto que en parte determina las condiciones técnicas a tener en cuenta para la implementación de este servicio en el país. Finalmente, en este eje es básico contar con información que exponga las fases técnicas para la implementación de la TVDM en teléfonos celulares para Colombia, teniendo en cuenta que es un proceso gradual con una fecha específica donde toda la comunidad en el país podrá contar con este servicio, lo que en parte permite que los diversos actores involucrados en el proceso se preparen para asumir los costos de la inclusión de esta nueva tecnología. [34]

Al tener claro el sistema en general que se implementará en Colombia para TVDM en teléfonos celulares, se debe iniciar con la respectiva implementación de la tecnología en el país. Lo más adecuado es iniciar por las grandes

ciudades, posteriormente en ciudades medias y finalmente en las ciudades pequeñas. Hay que tener en cuenta que el principal objetivo es dar cobertura del servicio a todo el territorio colombiano, sin olvidar que este proceso llevará ciertos años, transición en la cual deberá convivir con otros servicios como la TDT, la televisión analógica radiodifundida y servicios móviles, por lo que es muy importante tener en cuenta lo que esto conlleva, como la planificación del espectro radioeléctrico, las posibles interferencias con los demás sistemas, entre otros. Finalmente se debe establecer la arquitectura de red que muestra el modelo que se implementará en Colombia, teniendo en cuenta los respectivos emplazamientos, la cantidad de transmisores y/o repetidores, y en general todos las consideraciones técnicas producto del estudio realizado. [34]

2.2 EJE SOCIOCULTURAL

En este punto se analiza el impacto que puede causar la inclusión de esta tecnología en el país, donde se determina el grado de aceptación que puede llegar a tener la misma en la sociedad. Las conclusiones que aquí se logran determinan si la sociedad colombiana en general está dispuesta a utilizar o no el servicio. Se deben verificar las ventajas que la TVDM en teléfonos celulares trae consigo para el país, mostrando cómo ésta puede aportar en el desarrollo del mismo. En este eje es importante tener en cuenta también los gustos de los consumidores en cuanto a contenidos televisivos se refiere, ya que esto daría idea de los servicios y aplicaciones que se podrían ofrecer una vez se cuenta con la tecnología en el país. Adicionalmente, es adecuado tener conocimiento de las estadísticas que muestran el consumo por parte de los usuarios del servicio de televisión, donde se detalle el porcentaje de hogares que cuentan con uno o más televisores, los horarios preferenciales, entre otros. Este estudio dará una idea más concreta de los hábitos de consumo de este servicio por parte de los televidentes. [34]

2.3 EJE SOCIOECONÓMICO

En esta área se analizan los requerimientos económicos y se determina la relación costo/beneficio para todos los actores que intervienen con la tecnología y determinan si el país esta en condiciones económicas de implementar la tecnología. Aquí se ven afectados todos los actores involucrados con la tecnología ya que deben analizar la inversión que deben hacer dentro del proceso de implementación de la TVDM en teléfonos celulares. Se deben sacar conclusiones de si en realidad el país en general está en la capacidad económica para implementar la tecnología. De ser positivo se deben buscar las opciones económicas más convenientes de inversión, teniendo en cuenta las características de las tecnologías disponibles, cada una de las cuales trae consigo costos específicos. [34]

Es importante tener claro cuales son los costos reales en los que deben incurrir los diferentes actores que ingresarán en la cadena de valor de este nuevo servicio, teniendo en cuenta además la infraestructura actual que puede ser reutilizada dentro de la implementación de esta tecnología. En este punto hay que tener en cuenta aspectos como la estimación en los costos de despliegue de red, donde se incluyen las potencias de transmisión, la energía eléctrica, el cableado, el equipamiento, la construcción y/o alquiler de emplazamientos, el mantenimiento de la red, entre otros. En general, existen diversos costos a tener en cuenta, como los costos de capital y los costos operativos, costos que deben ser estipulados para periodos de tiempo fijos, ya sea mensual, trimestral, semestral, anual, o el más adecuado según se crea conveniente. Cada emplazamiento tiene un costo particular ya sea por su construcción inicial o su alquiler, además del mantenimiento necesario, más el costo proporcional a la potencia de transmisión, donde dicho valor de potencia depende del elemento utilizado, ya sea un transmisor o un repetidor. Por tal motivo, el costo general de cada emplazamiento varía, donde el costo total será la suma del costo de cada emplazamiento. [34]

Por otro lado está la inclusión de los dispositivos con sus respectivos costos, por lo que es necesario determinar si los usuarios están en la capacidad de adquirir los mismos. Debido a la situación económica que existe en Colombia muy probablemente será difícil que los usuarios estén dispuestos a soportar los costos de inclusión de la nueva tecnología, por lo que se debe optar por algún tipo de subsidio y/o financiación por parte del Gobierno y los operadores para garantizar que los clientes hagan uso del servicio. [34]

2.4 EJE REGULATORIO Y JURÍDICO

Como todo servicio de telecomunicaciones, la Televisión Digital en la Telefonía Móvil debe ser regulada por los entes idóneos, buscando siempre el bienestar de la sociedad. De esta forma los entes encargados deben establecer las respectivas normas que regirán el servicio y que todos los actores del mismo deberán cumplir a cabalidad. Cabe anotar que el incumplimiento de las mismas trae consigo las respectivas sanciones. En esta área se deben tener en cuenta también las nuevas licencias a otorgar, los nuevos operadores que ingresarán en el mercado de este negocio, la opción de prestar el servicio por suscripción de TVD radiodifundida hacia teléfonos celulares y la posibilidad de contar con una red única y exclusiva para la prestación de este servicio. La implementación en Colombia esta nueva tecnología requiere un estudio estricto acerca de las capacidades del Gobierno para la respectiva reglamentación de la misma, teniendo en cuenta que por medio del sistema adoptado se prestarán además otros servicios digitales. Por consiguiente, los entes encargados de regular este servicio deben determinar las obligaciones de cada cual en la prestación de servicios convergentes de telecomunicaciones a través de la TVDM difundida hacia teléfonos celulares. [34]

Para determinar las normas que regirán este servicio se deben tener en cuenta los tres posibles grupos a ser regulados dependiendo del modelo de negocio que adopte el país. Dichos grupos están estipulados cuando los derechos de uso de las frecuencias los ostentan los operadores audiovisuales o radiodifusores, cuando los derechos de uso de las frecuencias los ostentan los operadores de telefonía móvil o cuando los derechos de uso de las frecuencias lo ostenta un operador independiente de red. [34]

3. TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO Y TECNOLOGÍA

Es importante que el sistema que se adopte en Colombia para la inclusión de la TVDM en teléfonos celulares esté apoyado por el país o los países creadores del mismo, que deben estar comprometidos a trabajar de la mano con el Gobierno garantizando así que la experiencia adquirida por los mismos a lo largo del desarrollo de la tecnología sea transmitida a Colombia, motivo por el cual es importante que se abran las posibilidades por parte del Gobierno para que los diferentes actores involucrados con la tecnología elegida en el territorio colombiano permita la transferencia de conocimiento, fortaleciendo así la preparación de la ingeniería en el ámbito nacional e impulsando al desarrollo de la industria local para su vinculación en este nuevo servicio, ingresando en la cadena de valor y beneficiándose de las ventajas que ofrece este negocio para el país. []

4. SISTEMA HÍBRIDO TERRESTRE-SATELITAL PARA MEJORAR LA COBERTURA DEL SERVICIO

El principal objetivo del país dentro de la implementación de la TVDM para teléfonos celulares debe ser la cobertura en toda Colombia. Debido a que la señal de televisión analógica radiodifundida solo llega al 92% del territorio colombiano y la cobertura de la telefonía móvil aún no abarca la totalidad del mismo, será necesario construir nuevos emplazamientos para lograr llevar este nuevo servicio a todos los rincones del país. Los costos de dichos emplazamientos pueden elevado, costos que los deben soportar aquellos que implementen la tecnología y que se verá reflejado también en los costos que deberán pagar los usuarios finales. Por tal razón es conveniente buscar una alternativa que ayude a suplir con este inconveniente y que los costos que represente no sean muy elevados. Una opción son los sistemas satelitales, creados a manera de complemento de las redes de TVDM y que han sido diseñados para brindar una cobertura más amplia y precisa. Estos sistemas pueden reducir efectivamente las interferencias de múltiple acceso, lo cual es aprovechado por el sistema para acceder a nuevos usuarios y también provee de cobertura con una alta potencia (la del satélite geoestacionario) a zonas rurales. A futuro estas tecnologías pueden tener un impacto mayor sobre los usuarios ya que brindaría una cobertura mayor, lograda mediante una implementación rápida, con costos no muy elevados y ofreciéndole mayor flexibilidad a la red móvil terrestre. Adicionalmente, sería bastante importante que los países de la región escogiesen el mismo estándar para la difusión

de TVDM a teléfonos celulares, pues se podría usar un arreglo de satélites o un único satélite para brindar cobertura en toda la región apoyada sobre la red de difusión móvil de cada país. [35]

Las frecuencias de trabajo para la red satelital se encuentran alrededor de 2100 MHz y para la red terrestre se manejan las mismas frecuencias de trabajo de los estándares convencionales para difusión de TVDM. Gracias a la red satelital se puede ofrecer una buena cobertura a la totalidad de un territorio a nivel de un país o continente, además de cobertura en interiores (en colaboración con una red terrestre) y recepción con pequeñas antenas. La banda S es compatible con las aplicaciones para UHF lo que permite crear dispositivos en modo dual UHF/S. Las redes que trabajan en esta banda normalmente constan de una topología mixta con transmisión satelital y desde radio bases. [35]

ANEXO G. EJEMPLO DE DISEÑO DE UNA RED DVB-H PARA EL MUNICIPIO DE POPAYÁN

Teniendo en cuenta que en este Trabajo de Grado se recomienda DVB-H como el estándar a elegir en Colombia para la implementación de TVDM, a continuación se presenta un ejemplo de diseño para tal fin, donde se muestran los posibles tipos de configuración de red, los modos de transmisión y los diferentes parámetros utilizados en dicho diseño.

1. CONFIGURACIONES DE RED

Para planificar una red de difusión *broadcast*, en este caso DVB-H, se debe tener en cuenta el tipo de red a implementar, donde se tienen dos posibles configuraciones como son:

- Red compartida DVB-T/H
- Red dedicada DVB-H

En una red compartida, DVB-T y DVB-H comparten el mismo múltiplex y por consiguiente la capacidad total del canal radioeléctrico, es decir, se dedica parte de dicho canal para transmitir contenido DVB-H. Este tipo de configuración es la forma de implementación más inmediata pues aparte del modulador DVB-H no es necesario ningún tipo de quitamiento adicional. De no emplear modulación jerárquica, el principal problema que presenta la configuración de una red compartida radica en que el modo de transmisión es único y los contenidos tanto DVB-T como DVB-H son transmitidos en el mismo flujo, y debido a que las redes de TDT están diseñadas prioritariamente para recepción fija por parte de antenas ubicadas en el exterior de las construcciones, el nivel de cobertura para dispositivos móviles, en este caso el teléfono celular, se puede ver bastante reducido, más aún en el interior de edificaciones y en movilidad.

Para el caso de una red dedicada DVB-H, ésta cuenta con un canal radioeléctrico propio y puede beneficiarse de las adiciones hechas por este estándar en la capa física de DVB-T, como el modo 4k y los entrelazadores, pero la ventaja que posee es poder planificar el despliegue de red dependiendo de la capacidad, cobertura y velocidad requeridas, sin ningún tipo de restricción por parte de DVB-T. Como se puede ver, para difusión de TVD en movilidad la mejor opción es utilizar la configuración de una red dedicada, razón por la cual en este diseño se basa en este tipo de red.

2. ELECCIÓN DEL MODO DE TRANSMISIÓN

La elección del modo de transmisión de DVB-H viene determinada por la elección de los siguientes parámetros:

- Tamaño de la FFT.
- Intervalo de guarda relativo (GI).
- Modulación.
- Tasa de codificación de la capa física.
- Codificación MPE-FEC.

El tamaño de la FFT (8K, 4K o 2K) determina el número de portadoras OFDM, y a su vez la separación en frecuencia entre portadoras y el periodo útil de símbolo. El tamaño de la FFT no influye en la capacidad del sistema, sino en la velocidad máxima soportada por el sistema y el tamaño de celda en una SFN. El modo 2K proporciona las mayores velocidades, mientras que el modo 8K proporciona los mayores tamaños de celdas. El tamaño de la FFT, junto al intervalo de guarda relativo, establece el intervalo de guarda absoluto, que tiene una duración de 1/4, 1/8, 1/16 o 1/32 (donde 1/4, 1/8 y 1/16 son los más usados para las transmisiones dirigidas a dispositivos celulares) del periodo útil de símbolo. La elección del GI es un compromiso entre capacidad y el tamaño de celda en una SFN. La capacidad del sistema viene dada por el GI, la modulación (QPSK, 16-QAM), la tasa de codificación (1/2 ó 2/3) y la

tasa de codificación MPE-FEC. La elección de la modulación y la tasa de codificación representa el clásico compromiso entre robustez (en términos de mínima relación portadora a ruido o CNR), y capacidad del sistema.

3. DISEÑO DE LA RED DVB-H PARA EL CASCO URBANO DE LA CIUDAD DE POPAYÁN

El pasado mes de Agosto de 2008, establecimos un contacto con el Ingeniero Jorge López, Ingeniero Colombiano que se encuentra adelantado sus estudios de doctorado en TVDM en la Universidad Politécnica de Valencia, quien nos ofreció realizar pruebas de simulación de la red DVB-H para el municipio de Popayán. El simulador con el cual se contó para este diseño, es una herramienta propia del grupo del instituto de telecomunicaciones y aplicaciones multimedia iTEAM de la UPV, permite simulaciones de DVB-T, DVB-H y DVB-SH inicialmente. En cuanto a su capacidad de procesamiento, aun no se han hecho pruebas formales de redimiendo con datos transmitidos. Por el momento se ofrecen servicios de cálculos de cobertura, perdidas de propagación con la respectiva configuración y modos de transmisión por tipo de servio requerido; Una vez este consolidada la herramienta y se podrá brindar todo el soporte técnico con el fin de comercializar la herramienta.

Queremos agradecer a la oficina de plantación del municipio de Popayán al igual que al grupo GEA del departamento de geografía de la Universidad del Cauca quienes nos facilitaron y ayudaron a la conformación de lo mapas digitales necesarios para ingresar en la herramienta de simulación y de esta forma iniciar el diseño de la red DVB-H.

El diseño de la red DVB-H para el casco urbano de la cuidad de Popayán, inicia con la ubicación de los emplazamientos existentes de televisión analógica y telefonía móvil sobre los mapas digitales con sus respectivas curvas de nivel; Una vez se tiene estos emplazamientos se realiza la simulación para obtener las respectivas perdidas de propagación en la zona de estudio (el municipio de Popayán – con énfasis en el casco urbano).

3.1 Diseño Inicial

3.1.1 Ubicación del transmisor principal

Para el diseño inicial de cobertura ideal (sin consideración de pérdidas por interferencias por edificaciones o/y zonas altas), se considero el emplazamiento de Munchique.

Munchique es el cerro más alto y más cercano a la ciudad; Utilizado en la actualidad para la transmisión de Televisión Analógica. Este cerro tiene aproximadamente 3012 msnm, Posee una torre de 150 metros, donde se ubican los trasmisores de las principales compañías celulares y de telecomunicaciones. Sus coordenadas geográficas son:

Latitud Norte: 2º31'19"557

Longitud oeste: 76º57'38"939

- Parámetros de transmisión

Potencia del transmisor 39.3 dBw
Frecuencia 500Mhz
Mechanical Downtilt 3º
Tipo de antena: Kathrein 65 dec ganancia: 18dBi 4 tilt
Figura de ruido 5 dB
Altura de la antena 25 m
Modelo de propagación Okumura-Hata
Altura de estación sobre el nivel del mar 2922m

Rango de pérdidas por propagación (125 y 255 dB).

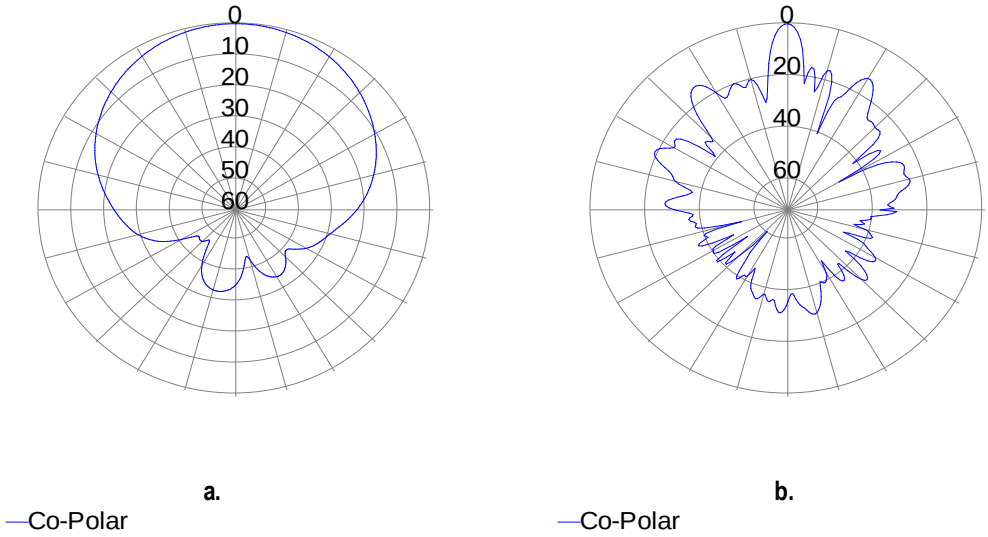

Figura 31. Patrones de radiación. a. Patrón de radiación Horizontal. b. Patrón de radiación Vertical

- Equipo receptor
Potencia minima -100dBm potencia maxima 21dBm.
Figura de ruido 8 dB
Perdidas 7dB

3.1.2 Resultado de la simulación Inicial

La simulación inicial arrojo las perdidas de propagación con la configuración y transmisión inicial desde la torre de Munquique hacia el municipio de Popayán. En las figuras 32, 33, 34, 35 y 36 se muestran los resultados de la simulación para el municipio de Popayán.

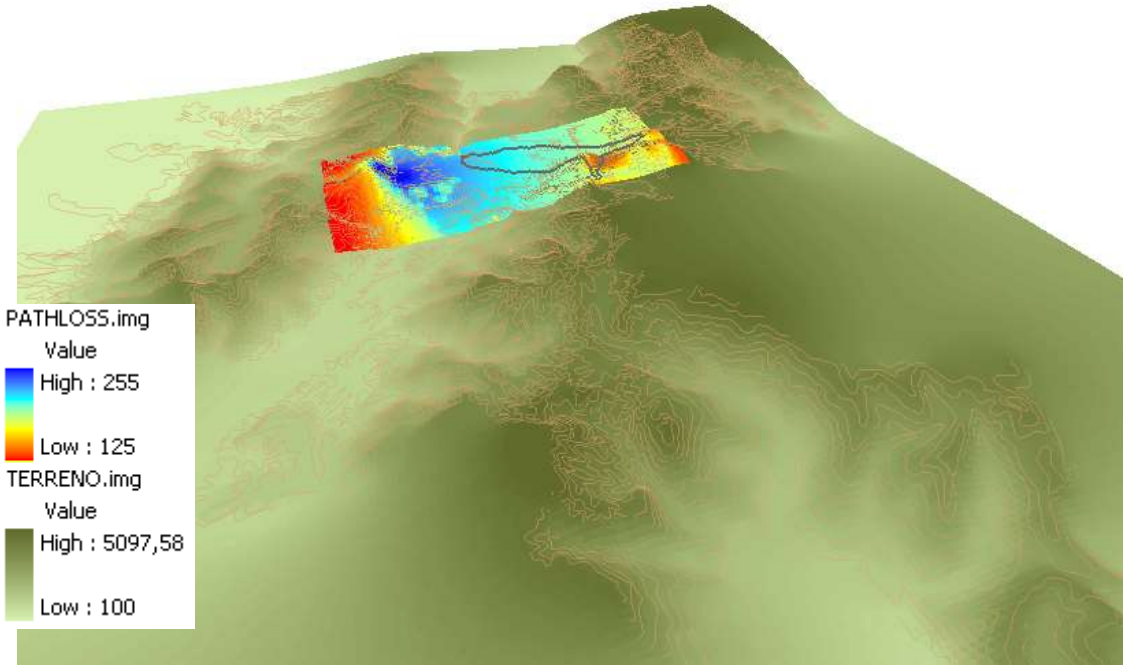

Figura 32. Imagen de pérdidas de propagación con transmisión desde Munchique hacia el municipio de Popayán

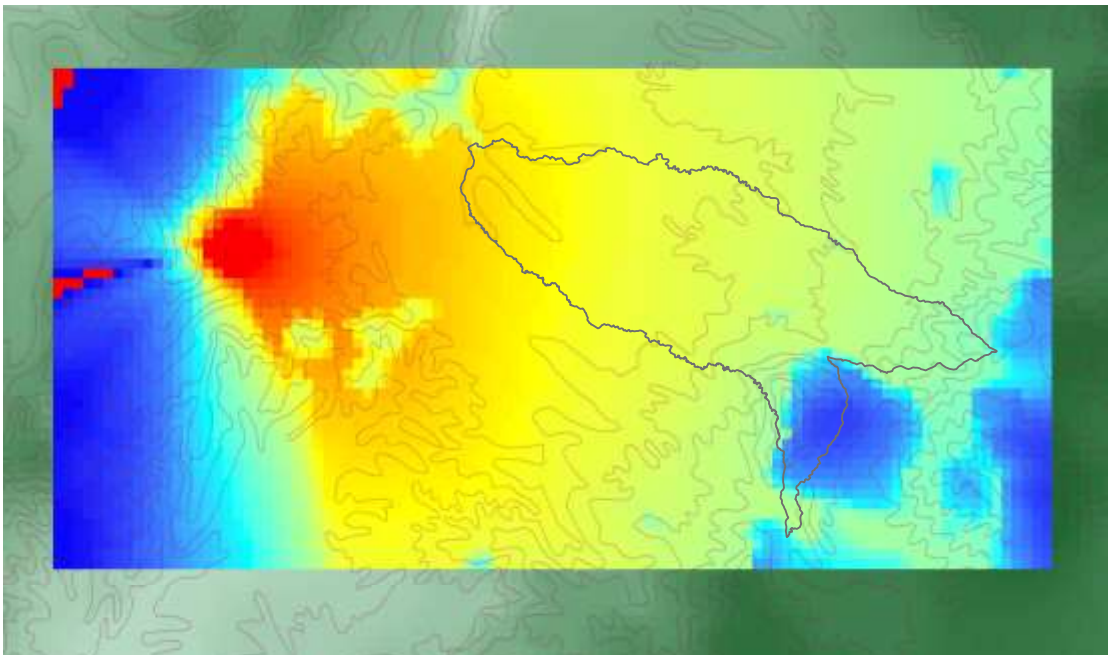

Figura 33. Resultados de pérdidas de propagación para 500Mhz.

Una vez se obtienen las respectivas perdidas de propagación, la herramienta calcula los niveles de potencia de transmisión, tal como se ve en la siguiente figura, con una transmisión a 500 MHz desde el cerro de Munchique.

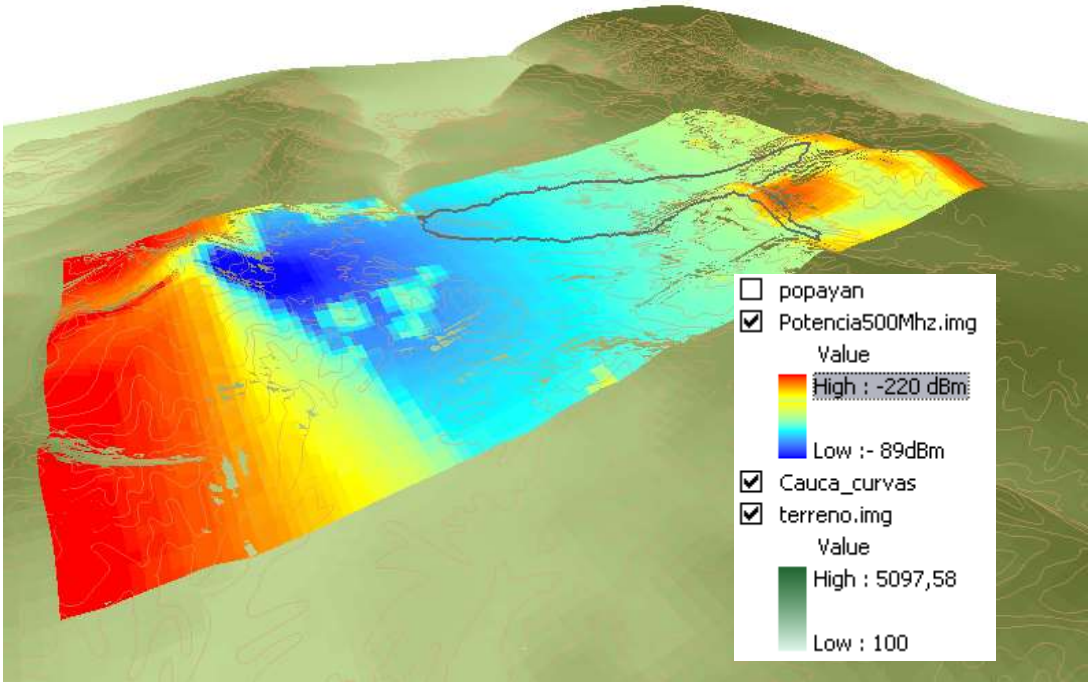

Figura 34. Nivel de potencia de transmisión para el municipio de Popayán.

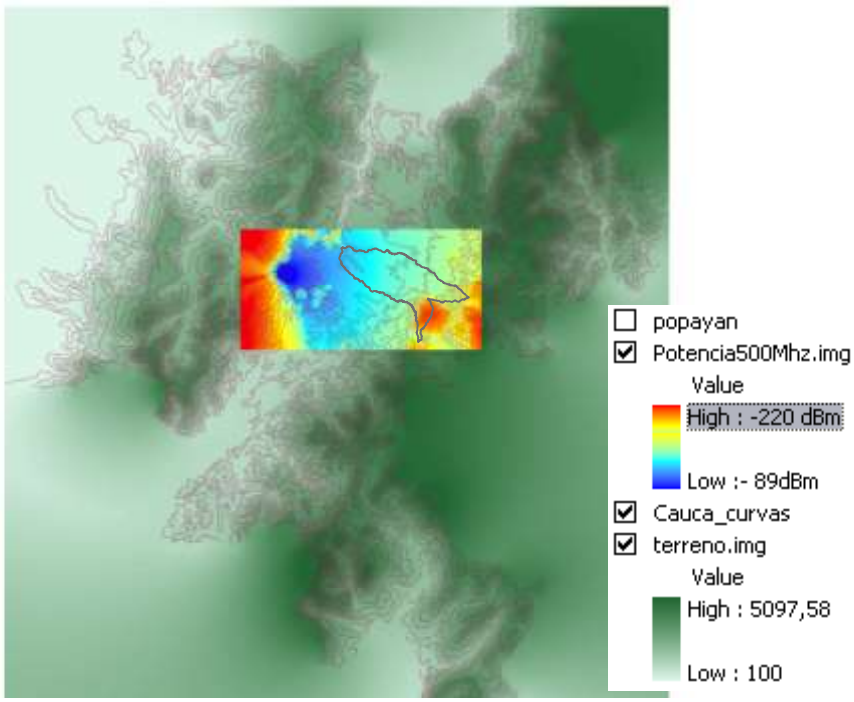

Figura 35. Nivel de potencia Recibida (dBm) ene. Municipio de Popayán a 500 MHz.

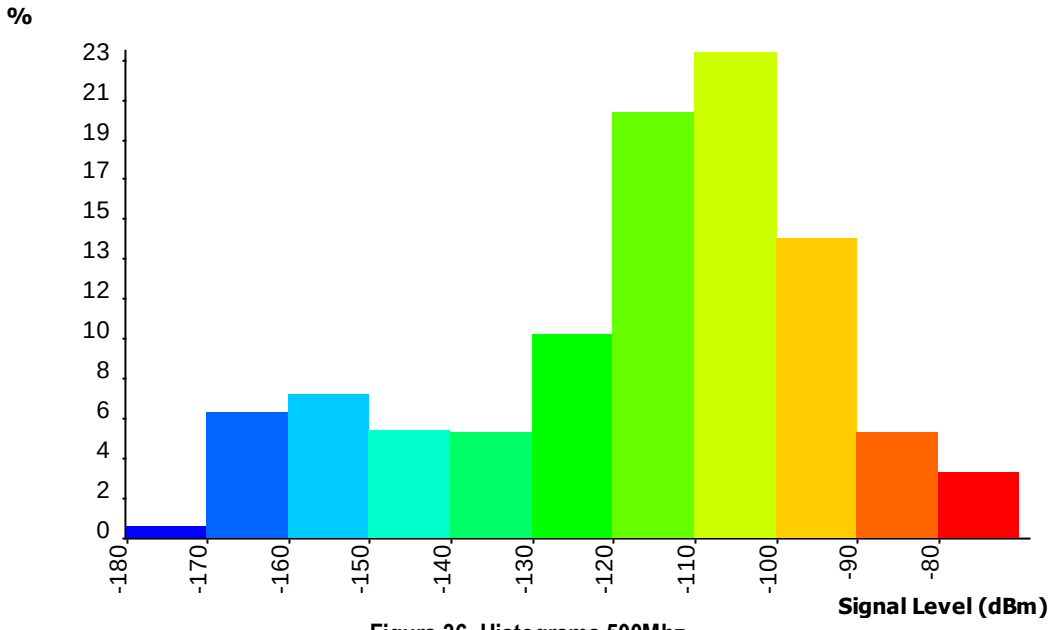

Figura 36. Histograma 500Mhz

4. SIMULACIÓN ESPECÍFICA

Debido a que es necesario evitar los errores de transmisión producto de las diversas interferencias causadas por edificios, zonas obscuras y al interior de zonas erradas; es necesario considerar la ubicación de trasmisores y/o repetidores tanto en el municipio de Popayán como en su casco urbano, y ya que la tecnología de TVDM se beneficia al reutilizar emplazamiento de telefonía móvil existente para la ubicación de los mismos, fue necesario realizar las correspondientes medidas de posicionamiento geográfico de todas las torres de las tres empresas (Tigo, Movistar y Comcel) que brindan telefonía móvil celular en el casco Urbano de la Ciudad y posteriormente ubicar estos puntos en el mapa tridimensional digital inicial para su correspondiente análisis en el equipo simulador.
Para lo que sigue de nuestro estudio se considerará solamente el casco Urbano de la Ciudad de Popayán.

4.1 Emplazamientos Relacionados

La tabla 8 muestra los 22 emplazamientos que se consideraron para el respectivo análisis en la herramienta de simulación y que posteriormente se ubicaron en el mapa digital.

Tabla 8. Emplazamientos de Telefonía móvil celular utilizados por DVB-H

TORRES	Latitud	Longitud	Altura del Terreno (msnm)	Altura de la Torre (m)
SENA	766406,024	1057368,548	1867	60
PUNTO 2	766626,877	1056565,176	1842	35
EL HUBO	766976,872	1056095,430	1836	35
EL BOSQUE	766227,256	1055786,761	1843	20
CLUB CAMPESTRE	764620,653	1055537,111	1823	35
VIA HUILA	762979,958	1054456,357	1808	40
MADEROS	763434,289	1053683,788	1766	25
CAMPANARIO	763655,451	1053680,618	1748	20
EMPAQUES	763135,992	1052729,205	1761	25
LOTERIA	762146,816	1052482,384	1735	45
TELECOM	761891,954	1052735,824	1747	50
FOTO JAPON	761636,857	1052318,812	1757	30
FERIAS	760574,035	1052282,108	1767	45
VIA TIMBIO	760828,574	1051086,322	1775	45
VARIANTE	761998,336	1049439,152	1742	40
CAJETE	762975,186	1049596,397	1748	50
PUNTO 17	762355,072	1050690,329	1745	30
CEMENTERIO	762253,903	1051265,033	1747	35
ESMERALDA	762045,117	1051524,634	1747	35
BARRIO MODELO	762469,268	1052262,907	1750	30
TRES CRUCES	761736,898	1053849,519	1850	50

4.1.1 Ubicación de emplazamientos den el mapa del casco Urbano de la cuida de Popayán

La figura 37 muestra la ubicación de los 22 emplazamiento de telefonía móvil celular en el mapa del casco urbano de la cuidad de Popayán.

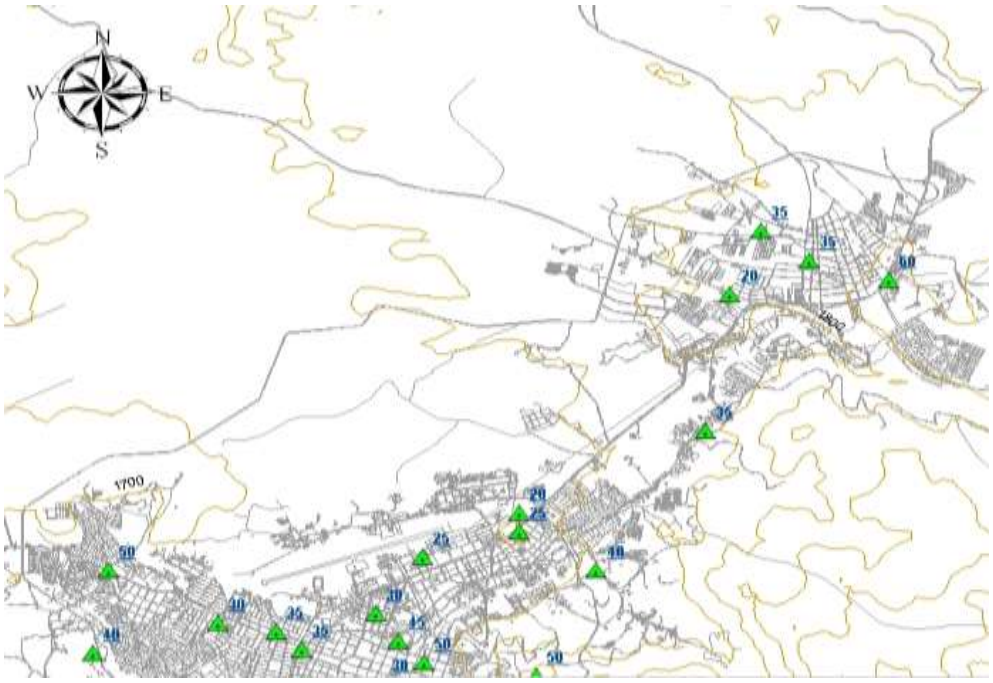

Figura 37. Vista de la ubicación de los 22 emplazamientos de telefonía móvil celular en el casco urbano de la cuida de Popayán

Una vez ubicados los 22 emplazamientos en el mapa digital, la herramienta de simulación calcula los niveles de pérdidas de propagación para cada puntó dentro de la zona delimitada de estudio, que para nuestro caso es el casco urbano de Popayán.

Las figuras 38 y 39 muestran los emplazamientos tomados por la herramienta y las respectivas perdidas calculadas.

X	Y
1.032.601	777.410
1.077.580	777.410
1.077.580	744.470
1.032.601	744.470
1.032.601	757.037
1.032.601	777.410

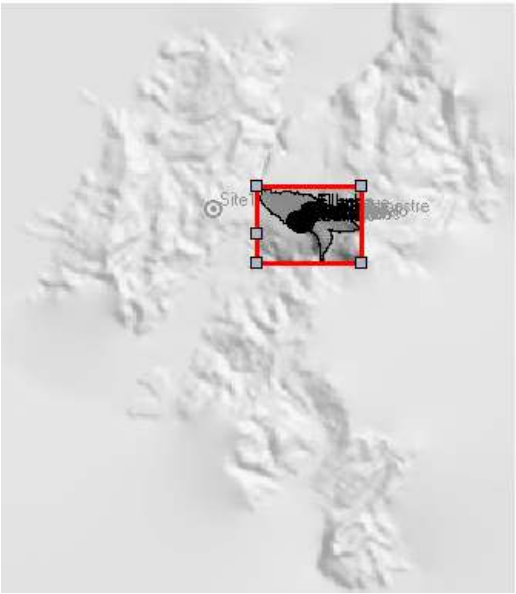

Figura 38. Zona de cálculo de perdidas, incluyendo los 22 emplazamientos considerados.

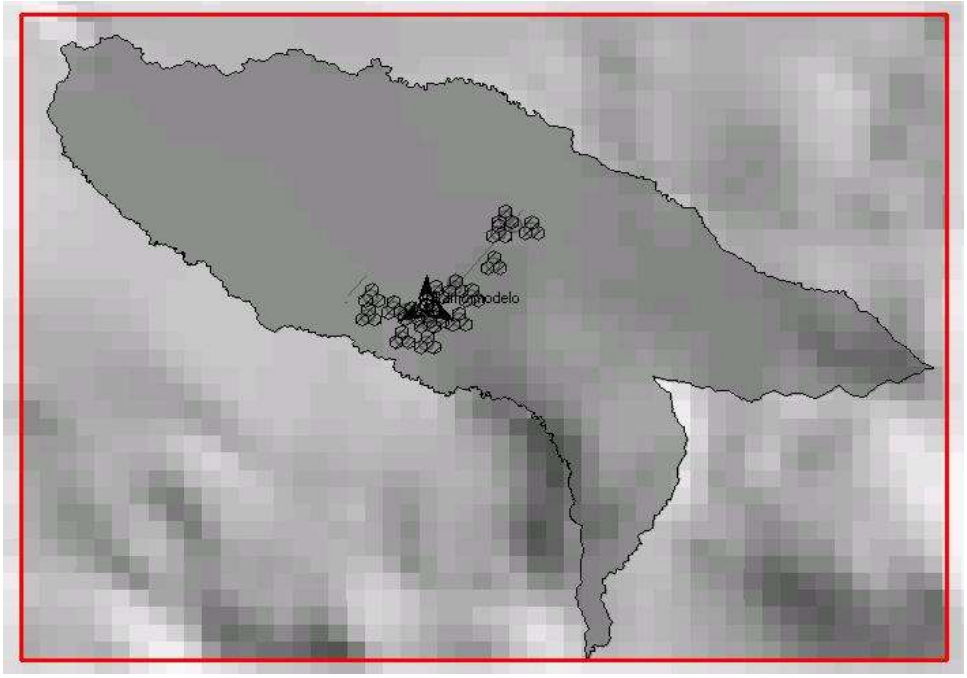

Figura 39. Vista numero 2 de la zona de cálculo con los 22 emplazamientos de telefonía móvil celular.

Las antenas utilizadas en cada uno de los 22 emplazamientos tienen las siguientes características:

- Son antenas trisectoriales
Kathrein con 65deg 18dBi 4Tilt ganancia 18dBi TILT 4º
BEAMWIDTH 65
FMIN 1.920
FMAX 2.170

Las figuras 40 y 41 muestran los patrones de radiación horizontal y vertical respectivamente.

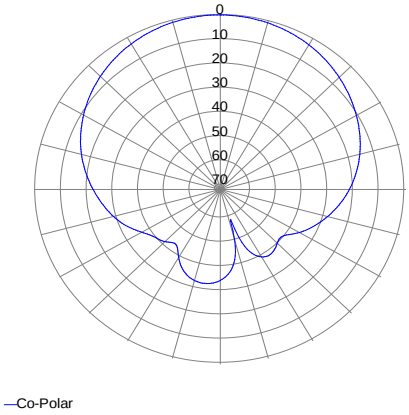

Figura 40. Patrón de Radiación Horizontal

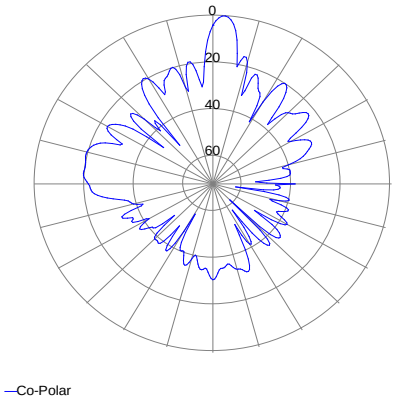

Figura 41. Patrón de radiación Vertical

4.1.2 Resultados de la segunda simulación

Los primeros resultados obtenidos son las matrices de perdidas por cada uno de los tres lóbulos de cada una de las 22 antenas en cada uno de los emplazamientos. Las siguientes imágenes comprenden la graficación realizada en Matlab (por parte de la herramienta) de las matrices dependidas arrojadas en la simulación, comprenden tres de los emplazamientos ubicados en la ciudad de Popayán. Como se puede apreciar en las figuras 42, 43 y 44 cada emplazamiento lo conforman tres capas de perdidas superpuestas en una sola, correspondientes a cada lóbulo de la antena trisectorial de cada emplazamiento.

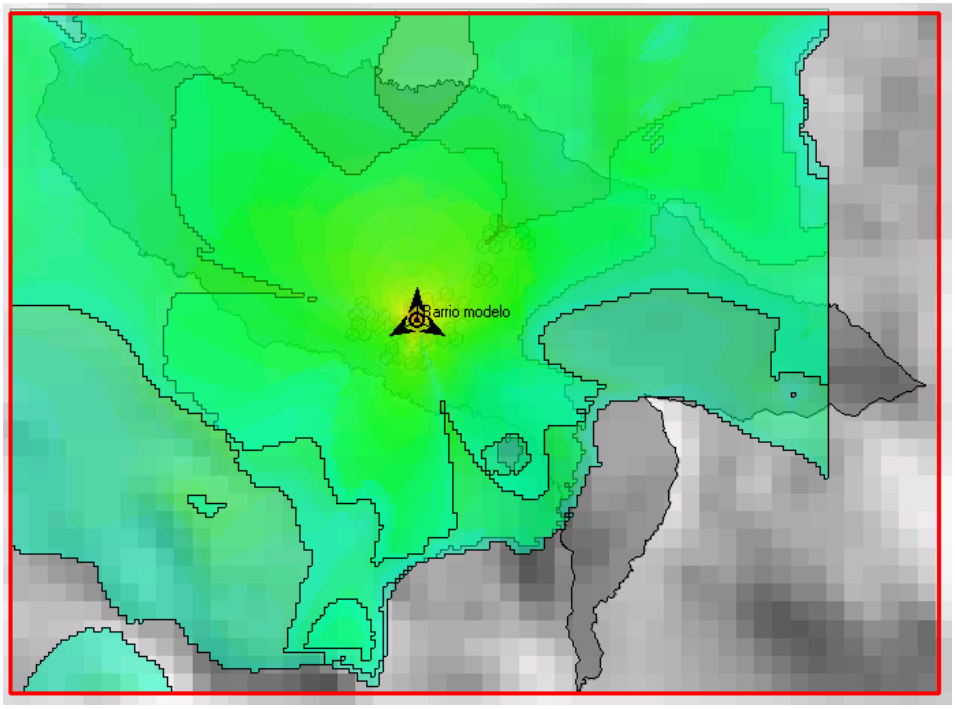

Figura 42. Diagrama de Perdidas del Emplazamiento de la Antena de Ubicada en el Barrio Modelo

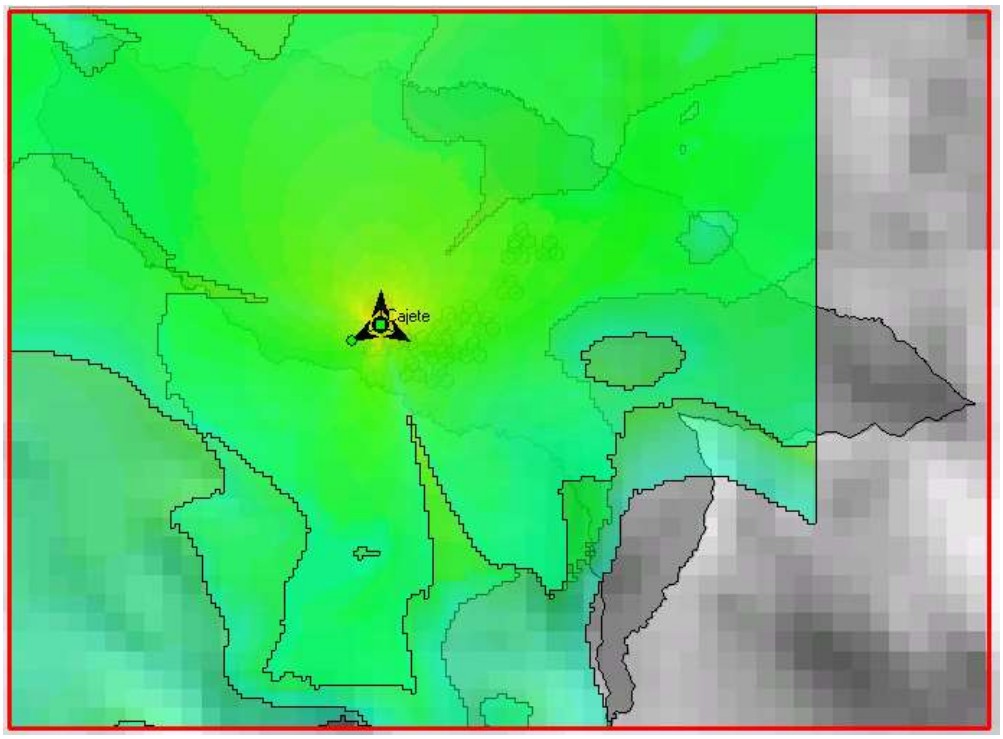

Figura 43. Diagrama de Perdidas del Emplazamiento de la Antena Ubicada en Cajete.

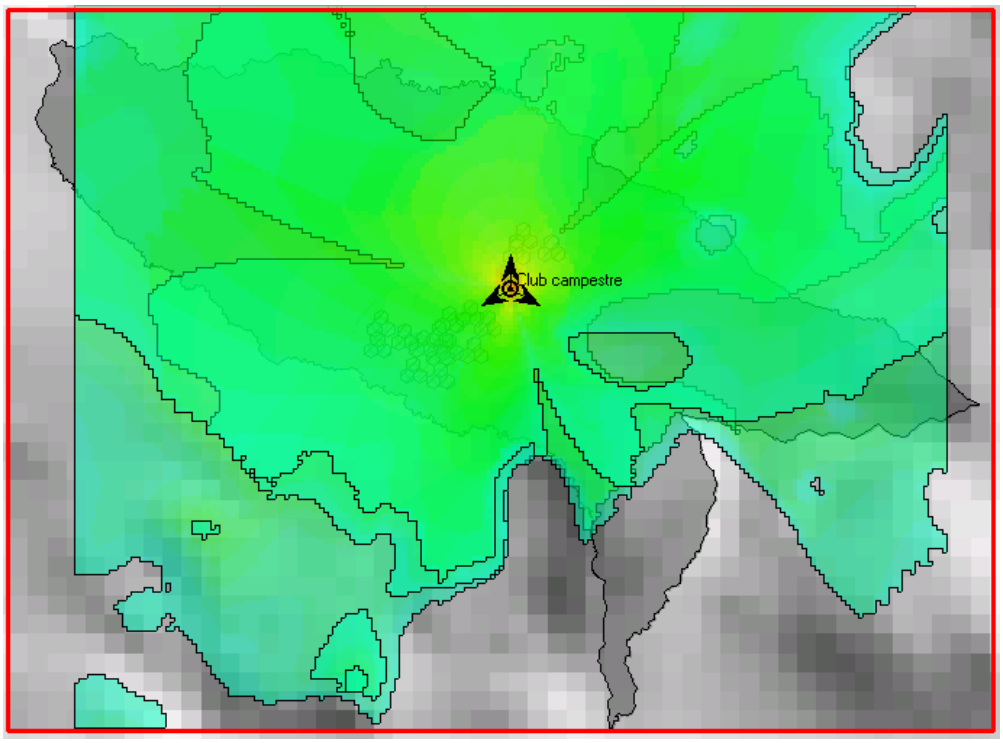

Figura 44 Diagrama de Perdidas del Emplazamiento de la Antena Ubicada Junto al Club Campestre

Display Type: Value intervals
Field: Path Loss (dB)

		Min	Max	Legend
1			90	Path Loss (dB) <90
2			95	Path Loss (dB) <95
3			100	Path Loss (dB) <100
4			105	Path Loss (dB) <105
5			110	Path Loss (dB) <110
6			115	Path Loss (dB) <115
7			120	Path Loss (dB) <120
8			125	Path Loss (dB) <125
9			130	Path Loss (dB) <130
10			135	Path Loss (dB) <135
11			140	Path Loss (dB) <140
12			145	Path Loss (dB) <145
13			150	Path Loss (dB) <150
14			155	Path Loss (dB) <155
15			160	Path Loss (dB) <160
16			165	Path Loss (dB) <165
17			170	Path Loss (dB) <170
18			175	Path Loss (dB) <175
19			180	Path Loss (dB) <180
20			185	Path Loss (dB) <185
21			190	Path Loss (dB) <190
22			195	Path Loss (dB) <195
23			200	Path Loss (dB) <200
24			205	Path Loss (dB) <205
25			210	Path Loss (dB) <210

Figura 45. Escala de Colores Requerida para la Visualización de las Pérdidas de Propagación por cada uno de los Emplazamientos, lo cual se configura en Matlab (realizado por la herramienta)

Una vez obtenidos los cálculos de las perdidas en cada punto del test, se puede determinar la potencia recibida para cada punto, con lo que posteriormente se pude calcular la cobertura par el modelo que se desee escogiendo el CNR necesaria, como se puede ver en el siguiente ejemplo:

Para el caso del emplazamiento del barrio modelo es posible elegir un modo de transmisión FFT 8K, con Intervalo de guarda de 1/4, modulación QPSK y 16QAM, tasa de codificación de la capa física de 1/2 y 2/3 con MPE-FEC de ¾, todo esto comparado con los requerimientos de de CNR ofrecidos por la norma, con capacidad ofrecida y máxima frecuencia válido para todo rango de frecuencia Doppler en cada modo de transmisión. La tabla 9 muestra el esquema de configuración.

Tabla 9. Niveles de CNR ofrecidos por la Norma DVB-H

Modo de transmisión	CNR_{req}	Capacidad	Frecuencia Doppler Máxima
QPSK ½	9.5 dB	4.1 Mb/s	141 Hz
QPSK 2/3	12.5 dB	5.5 Mb/s	131 Hz
16-QAM ½	15.5 dB	8.3 Mb/s	128 Hz
16-QAM 2/3	18.5 dB	11.1 Mb/s	113 Hz

Las potencias de transmisión para cada emplazamiento se puede elegir de un rango que va desde los 10w, 20W, 100W, 200W, 1000W hasta 1000W.

Las coberturas a calcular son las máximas posibles en condiciones ideales. Ya que aun considerando los emplazamientos de telefonía celular se pueden seguir presentando interferencias en el interior de l diseño de la red en el entorno urbano de la ciudad de Popayán.

De aquí en adelante es necesario elegir el modo de trasmisión para cada emplazamiento, considerando que los rangos para la configuración de la señal para acceder a dispositivos celulares se encuentran en:

Modulación a elegir (QPSK, 16QAM), intervalo de guarda (1/4, 1/8 y 1/16), protección contra errores FEC (1/2, 2/3), tasas de codificación, tamaño de la FFT (2K, 4K y 8K), MPE-FEC (3/4), ya que una vez definida la CNR objetivo, se puede calcular el nivel de potencia mínimo necesario y con lo mapas he histogramas definir la zona y el porcentaje de cobertura.

Cabe aclarar que los datos obtenidos hasta este punto de la simulación no hacen parte de los objetivos de este proyecto de grado, sin embargo validan de alguna forma los criterios considerados para la implementación del servicio de TVDM en Colombia.

Debido al tiempo que toma concluir este proceso de simulación solo se condenso en este anexo el 60% del mismo, ya que aun faltan algunos resultados provenientes de la herramienta de simulación. Es por esto que se propone la totalidad de este proceso como un trabajo de tesis futuro.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Revista Semana. "Historia de la Televisión en Colombia el comienzo". [Consulta 2008] Disponible: www.colarte.com/actores/General/ElComienzo.htm

[2] Comisión Nacional de Televisión. "La financiación de la televisión pública en Colombia". [Consulta 2005]. www.andinalink.com/es/exhibit/2005/files/cumbre/segmento2/fernando_devis_cntv_tv_publica.ppt

[3] Biblioteca Banco de La República. "Historia de la Televisión en Colombia", 2007

[4] TDT Colombia. "Todo sobre la Televisión Digital Terrestre", [Consulta 2008]. www.cntv.org.co/cntv_bop/tdt/

[5] TDT Colombia. "Todo sobre la Televisión Digital Terrestre", [Consulta 2008]. www.cntv.org.co/cntv_bop/tdt/

[6] Comisión Nacional de Televisión. "La financiación de la televisión pública en Colombia". [Consulta 2005]. www.andinalink.com/es/exhibit/2005/files/cumbre/segmento2/fernando_devis_cntv_tv_publica.ppt

[7] Comisión Nacional de Televisión. "Consejo Comunal (Pereira)". [Consulta 2007]. Disponible: www.presidencia.gov.co/prensa_new/sne/2007/enero/27/Presentacionmarconormativ%20televisi%F3n.pdf

[8] Universidad de los Andes. "Ente regulador". [Consulta 2007]. Disponible: http://compreg.uniandes.edu.co/modulos/3_telec/02.htm

[9] Comisión Nacional de Televisión. "Espectro electromagnético". [Consulta 2008]. Disponible:www.mincomunicaciones.gov.co/mincom/src/index.jsp?page=./mods/contenido/view_page&id_contents=215&l=2

[10] Comisión Nacional de Televisión. "Espectro Electromagnético de TV", [Consulta 2008], Disponible: www.cntv.org.co/cntv_bop/servicio_cober/espectro/

[11] Mauricio Samudio Lizcano. "Actualización de los estándares y mercado de televisión digital terrestre TDT". CNTV – Andicom. (2007).

[12] ETSI TR 101 190 v1.2.1. Estándar DVB, "Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for DVB terrestrial services Transmission aspects". 2004-2007

[13] José Simonetta.., "Televisión Digital Avanzada", Noviembre de 2002. Intertel. Edición No.1. 605 Paginas

[14] ACIEM., "Sistemas avanzados para televisión Digital terrestre y móvil". Memorias – Seminario, Julio 2007

[15] ETSI EN 300 744 V1.5.1., "Dgital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television", 2004-2006

[16] DVB draft A120. estándar DVB-H, "DVB-SH Implementation Guidelines", Mayo 2008

[17] Borko Furht, Syed Ahson., "Título: Handbook of Mobile Broadcasting DVB-H, DMB, ISDB-T, AND MEDIAFLO". Taylor y Francis Group. Edición No.1. 746 Páginas.

[18]Dibeg. "Transmisión de Televisión Digital Terrestre" 1 Febrero 2007.

[19] Grupo DiBEG, "Televisión Digital Terrestre", [Consulta 2007]. Disponible: http://www.dibeg.org/techp/070927es_pamphlet.pdf

[20] Carlos E. Dantas., "Resultados de pruebas de campo de receptores móviles para el sistema Brasilero de TV digital". Articulo – universidad de Mackenzie. 2007

[21] ACIEM., "Sistemas avanzados para televisión Digital terrestre y móvil". Memorias – Seminario, Julio 2007.

[22] DiBEG- ARIB. "DiBEG- ARIB STANDARD. TRANSMISSION SYSTEM FOR DIGITAL TERRESTRIAL TELEVISION BROADCASTING STD-B31 Version 1.6", [Consulta 2008], Disponible: http://www.arib.or.jp/english/html/overview/doc/6-STD-B31v1_6-E2.pdf

[23] Antonia Alejandra González, Karla Jiménez. "Televisión Digital Interactiva y sus aplicaciones educativas", [Consulta 2006], Comunicar: Revista científica iberoamericana de comunicación y educación, ISSN 1134-3478, Nº 26. Paginas: 93-101.

[24] Ingles laboral. "Transmisión de video". [Consulta 2008]. Disponible: http://www.ingleslaboral.com/index.php?option=com_content&task=view&id=45&Itemid=1

[25] Nuevas Tecnologías en Internet. (2006). Título: Bases de las comunicaciones modernas. Disponible: http://fantasmayoscuridad.zoomblog.com/archivo/2006/05/

[26][Comisión Nacional de Televisión. "Espectro Electromagnético de TV", [Consulta 2008], Disponible: www.cntv.org.co/cntv_bop/servicio_cober/espectro/

[27] José Simonetta.., "Televisión Digital Avanzada", Noviembre de 2002. Intertel. Edición No.1. 605 Paginas

[28] Mauricio Samudio Lizcano. "Actualización de los estándares y mercado de televisión digital terrestre TDT". CNTV – Andicom. (2007).

[29] TDT Colombia. "Todo sobre la Televisión Digital Terrestre", [Consulta 2008]. www.cntv.org.co/cntv_bop/tdt/

[30] Ingles laboral. "Transmisión de video". [Consulta 2008]. Disponible: http://www.ingleslaboral.com/index.php?option=com_content&task=view&id=45&Itemid=1

[31] estdt.com., "¿Cuantos tipos de televisión digital hay?" [Consulta 2006] Disponible: http://www.estdt.com/2,0,4,0.html

[32] Wikipedia., "Televisión Digital", [Consulta 2008]. Disponible: http://es.wikipedia.org/wiki/Televisi%C3%B3n_digital

[33] Servicios de TDT [Consulta 2007], Disponible: http://www.upv.es/satelite/trabajos/Grupo8_98.99/servi/servicios.htm

[34] ACIEM., "Esta Colombia Prepara para tener Televisión Digital", [Consulta 2008], Disponible: http://www.aciem.org/bancoconocimiento/A/ACIEM_%C2%BFEstaColombiapreparadaparatenerTelevis/ACIEM_%C2%BFEstaColombiapreparadaparatenerTelevis.asp

[35] Borko Furht, Syed Ahson., "Título: Handbook of Mobile Broadcasting DVB-H, DMB, ISDB-T, AND MEDIAFLO". Taylor y Francis Group. Edición No.1. 746 Páginas