

ANÁLISIS DE LA MIGRACIÓN DE EQUIPAMIENTO USADO POR PROVEEDORES DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE "TDT" EN COLOMBIA

Danilo Alfonso López Sarmiento

Magister en Ciencias de la Información y las Comunicaciones
Docente planta de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas
dalopezs@udistrital.edu.co
Bogotá, Colombia

Cesar Augusto Hernández Suarez

Doctor (c) en Ingeniería de Sistemas y Computación
Docente planta de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas
cahernandezs@udistrital.edu.co
Bogotá, Colombia

Nelson Enrique Vera

Magister en Ciencias de la Información y las Comunicaciones
Docente planta de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas
neverap@udistrital.edu.co
Bogotá, Colombia

Tipo: Artículo de reflexión

Fecha de Recepción: Febrero 22 de 2012

Fecha de Aceptación: Mayo 2 de 2012

EQUIPMENT-MIGRATION ANALYSIS FOR DIGITAL TERRESTRIAL TELEVISION PROVIDERS (DTT) IN COLOMBIA

ABSTRACT

Several questions arose when Colombian authorities adopted the European standard for Digital Terrestrial Television (DTT). Most of those questions posed interesting challenges on engineers and TV specialists, suggesting that everybody should be prepared to face such challenges. Thus, the changes that are to be implemented in the current television network must be well-known and well-defined. It is important, then, to provide a clear view in to the future of television regarding aspects such as: coverage planning (CP), propagation studies (PS), and equipment and providers (E&P) among others. Since addressing all these aspects in a single document would be extremely ambitious, the present paper focuses on the analysis of DTT equipment and providers only. The main purpose is to establish an approximate relation between the cost of current systems and the cost of the new system, and so build a hypothetical model that allows estimating the necessary investment, in terms of equipment, for potential providers of DTT services.

Key words: propagation study (PS), equipment and providers (E&P), coverage planning (CP), digital terrestrial television (DTT).

RESUMEN

A raíz de la adopción del sistema europeo de televisión digital terrestre TDT como el modelo a implementar en Colombia, surgen muchas incógnitas que generan desafíos y que sugieren tanto a los ingenieros como a los especialistas estar preparados para afrontar estos nuevos retos, por tal razón se deben tener claro los cambios que sufrirá la red existente de televisión y tener definido el nuevo panorama con respecto a temas muy propios de esta nueva tecnología como lo son: planeación de cobertura PC, estudio de propagación EP, equipamiento y proveedores EPR entre otros, debido a lo extenso que resulta tratar cada uno de estos temas, el objetivo primordial de este artículo se centra en realizar un análisis en lo que respecta al equipamiento y proveedores para la televisión digital terrestre TDT, tratando de hacer una aproximación entre

los costos del sistema actual y el nuevo sistema para construir un modelo hipotético el cual permita crear una perspectiva de la inversión que debe asumir a quien corresponda la implementación del TDT en lo que se refiere al equipamiento de la nueva red.

Palabras claves: estudio de propagación (EP), equipamiento y proveedores (EPR), planeación de cobertura (PC), televisión digital terrestre (TDT).

1. INTRODUCCIÓN

La tecnología de la televisión digital terrestre aplicada al mercado Colombiano, traerá grandes cambios en toda la infraestructura de la televisión analógica que actualmente posee el sistema; estos cambios se verán reflejados en etapas claves como lo son: tecnológica, equipamiento, cobertura y costos.

Teniendo en cuenta que la TDT ya tiene un grado desarrollo muy avanzado a nivel mundial, se hace importante conocer algunos aspectos del nuevo sistema de televisión, tales como su funcionamiento, sus costos etc., basados en modelos ya implementados en otros países. Debido a esto es fundamental describir y explicar de la forma más sencilla posible pero sin omitir detalle alguno los distintos aspectos que involucran la transmisión de TDT dirigida a gran cantidad de televidentes. Comenzando para ello con la descripción del modelo adoptado por Colombia, que corresponde al modelo europeo o estándar DVB (digital video broadcasting), basado en la norma de compresión MPEG-4.

En el mismo sentido se presentan algunos fundamentos que permiten la comprensión de esta nueva tecnología en lo que se refiere al tipo de arquitectura empleado y los diversos bloques de funciones que intervienen en el proceso tanto a nivel de transmisión como en forma particular para el usuario final, a su vez creara una visión de cómo: impactara, cambiara, y en que contribuirá la TDT en el mercado.

De acuerdo con la infraestructura tecnológica que se requiera en el medio, los proveedores juegan un papel fundamental en lo que respecta al equipamiento ya que estos dan la pauta para recrear el horizonte de costos actuales, futuras migraciones a nuevas tecnologías y el nivel de compatibilidad entre los equipos existentes y los que llegan.

2. TELEVISIÓN DIGITAL

La televisión digital permite el fácil acceso a las tecnologías de información y comunicaciones porque permite acceder a los grandes mercados del mundo de la información, interactuar con la información y utilizar los dispositivos que esta proporcione para la conexión con diferentes proveedores de servicios.

Con la digitalización de la televisión aparecen ventajas como: incremento de la calidad de la señal de video y del sonido, se logra un mejor aprovechamiento del espectro, incrementando el número de canales que pueden emitirse, se optimizan los costos de distribución y recepción para los operadores, se accede a un conjunto de nuevos servicios (asociados a las transmisiones televisivas), es posible la recepción portátil y móvil del servicio.

La televisión radiodifundida como se conoce actualmente en Colombia se transmite en forma analógica, lo anterior hace que exista un desaprovechamiento en el ancho de banda en el espectro electromagnético [14]. En la actualidad los canales de televisión en Colombia ocupan un ancho de banda de 6 MHz cada uno de ellos, siguiendo la norma NTSC.

Con la implementación de la digitalización de la señal y utilizando técnicas de compresión de las señales de imagen y sonido MPEG-4 permite que el mismo ancho de banda de 6MHz que ocupa un solo canal analógico se pueda utilizar para transmitir a la vez varios programas con calidad de imagen similar a la actual televisión digital estándar (SDTV) o un programa de televisión de alta calidad en imagen y sonido (HDTV).

A pesar de las ventajas descritas anteriormente, una desventaja es que al digitalizar una señal de televisión se genera una cantidad enorme de bits, que sin la utilización de la compresión hace difícil su transporte y almacenamiento, como lo muestra el siguiente ejemplo:

- En formato convencional una imagen digital de televisión está formada por 720*576 pixeles, almacenar una imagen requiere 1Mbyte y para transmitirla se necesita de una velocidad de transmisión de 170Mbps
- En formato de alta definición la imagen digital de televisión está formada por 1920*1080 pixeles, almacenar esta imagen requiere más de 4Mbyte y transmitir un segundo de imágenes continuas, requiere una velocidad de transmisión de 1Gbps.

Gracias a la alta redundancia de la señal se puede eliminar cierta información sin afectar la calidad, utilizando técnicas de compresión digital que permiten reducir una cantidad de bits generados y también reducen el ancho de banda y la velocidad binaria para la transmisión. La codificación permite transmitir varios canales digitales a través de un solo canal que junto con otras técnicas de modulación genera un tipo de onda que produce una mínima interferencia con los canales adyacentes, contrariamente a los graves problemas de interferencia que se presentan en la televisión analógica, como: dobles imágenes, colores deficientes, sonido defectuoso, entre otros.

Todo esto para lograr la optimización del espectro y además transmitir imágenes y

sonidos de mejor calidad, que igualan a la calidad de un DVD.

Un valor agregado de la digitalización es poder adicionar a la señal de televisión una o varias señales de datos que contengan otro tipo de información como: subtítulos, estadísticas, señales de sonido en diferentes idiomas, etc. Además que la televisión digital permite utilizar otras infraestructuras de comunicación ya existentes como: el cable, ADSL, redes celulares, con el fin de incrementar considerablemente la capacidad interactiva.

Por la parte del operador, a pesar que deben incurrir en gastos iniciales de modernización de los equipos e infraestructuras; los costos de transporte de la señal y de difusión se reducen, debido al mayor número de canales que se obtienen con la digitalización y a la reducción considerable de la potencia necesaria para transmitir las señales, que permiten que los transmisores estén más separados entre si y que los costos en infraestructura y mantenimiento disminuyan.

3. AGENTES DE LA TELEVISIÓN DIGITAL

Existen varios modelos de la televisión digital (cable, satélite, terrenal, microondas) pero todos estos se distinguen por los siguientes componentes [1]:

Proveedor de contenidos audiovisuales: El atractivo de los contenidos depende de la suscripción de los usuarios al servicio. Son la llave de la cadena de valor resultante.

Una de las diferencias fundamentales existentes entre el mercado de la TV americana y la europea radica precisamente en los contenidos: mientras que la americana posee una poderosa industria audiovisual, que permite una enorme posibilidad de elección, junto a una sociedad muy mediatizada, con 97 millones de hogares equipados con receptor de televisión, la europea tiene una escasa producción audiovisual propia ya que compra los contenidos a la TV Americana.

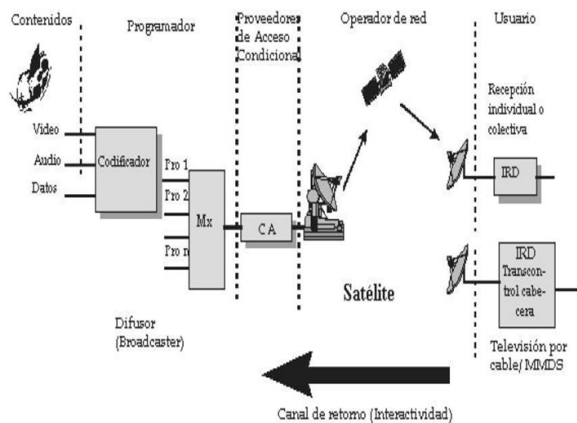


Fig. 1. Diagrama de bloques de los agentes que intervienen en la transmisión de la televisión digital por satélite [8].

El programador: Se encarga de agrupar diferentes contenidos en un conjunto de canales que aumentan el interés del usuario.

Difusor: Muchas veces la frontera entre el productor de contenidos y el programador no es clara. Pero quien se encargue de la difusión debe emitir la señal televisiva.

Sistema de acceso condicional (CA): Introduce claves de acceso de tal manera que solamente aquellos usuarios de pago accedan a la información transmitida. Pueden coexistir varios sistemas de acceso condicional, incluso para una misma oferta de programas. Así se podría segmentar el mercado de televisión digital en función, por ejemplo, del acceso vía satélite, vía cable, terrestre.

Operador de red: Encargado de multiplexar varios canales de video digital típicamente MPEG-2 a través de un transpondedor de un sistema de satélites, tanto de difusión directa por satélite, DBS.

Usuario: A de disponer una antena parabólica y de un receptor de codificador integrado (IRD) denominado set top box, STB, capaz de convertir las señales recibidas por la antena en las adecuadas para un televisor convencional.

Suministradores STB: El STB es un decodificador de TV, que transforma las señales que llegan

en otras adecuadas para ser mostradas en televisor convencional.

Unidades de transcontrol: a redes de televisión por cable MMDS (microwave multipoint distribution system, sistema de distribución multipunto de microondas) o terrenal; las cabeceras de misión reciben la señal del satélite y la utilizan para la difusión por sus propias redes. El transcontrol consiste en la posibilidad de cifrar la señal de forma diferente para cada sistema de distribución, sin que los diferentes agentes implicados accedan a información sensible de sus posibles competidores.

Canal de retorno: Es una conexión del STB que permite la interactividad con el sistema para solicitar algún programa de pago u otro servicio.

Dependiendo en el medio en que se encuentre, se tienen diferentes sistemas o modelos de distribución de televisión digital.

4. MODELOS DE TELEVISIÓN DIGITAL

De acuerdo a los medios de transmisión existen las siguientes modelos de televisión digital [2]:

4.1. Modelo de televisión digital por satélite

El modelo de la televisión digital por satélite, se muestra en la Fig. 1, está formado por una o varias estaciones terrestres encargadas de enviar la señal de TV a un satélite operacional que se encuentre en órbita geoestacionaria, constituyendo lo que se llama enlace ascendente.

A su vez el satélite envía la señal de nuevo a la tierra, formando el enlace descendente. Esta señal puede ser recibida por estaciones individuales de solo recepción o de tele-distribución; para evitar interferencias entre las dos señales, las frecuencias de ambas son distintas.

Entre las ventajas de este modelo se pueden mencionar, que es de cobertura inmediata,

tiene un gran ancho de banda, es flexible y dispone de un alto número de canales. La desventaja principal es la carencia de un canal de retorno.

Los satélites de transmisión son especialmente convenientes para regiones donde escasea una buena red de comunicación o estén lejos de los grandes sistemas urbanos, y para llegar con la programación a grandes distancias.

4.2. Modelo de televisión digital por cable

El modelo de televisión digital por cable, se muestra en la Fig. 2, se refiere a la transmisión de la señal digital de televisión por medio de redes híbridas de fibra óptica y cable coaxial, HFC, a través de estas redes se puede proporcionar otros servicios como telefonía fija y acceso a internet.

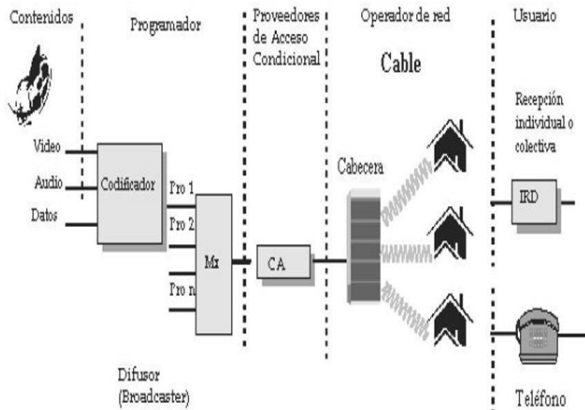


Fig. 2. Diagrama de bloques de los agentes que intervienen en la transmisión de la televisión digital por cable [10].

Las redes utilizadas en la distribución de este tipo de servicios se dividen en cuatro secciones [3]:

- Cabecera.
- Red troncal.
- Red de distribución.
- Red de acometida hacia los abonados.

La cabecera es el centro desde el que se gobierna todo el sistema, aquí se sitúan todos los equipos de recepción, tratamiento

y transmisión de las señales de televisión así como de enlaces con otras cabeceras o estudios de producción. La cabecera es también la encargada de monitorear la red y supervisar su correcto funcionamiento. La complejidad de la cabecera dependerá de los servicios a prestar.

En la Fig. 3, se muestra la red troncal conformada por la red primaria de fibra óptica, suele seguir topologías en forma de anillos redundantes que une la cabecera con un conjunto de nuevos primarios que alimentan a otros nodos finales y dan lugar a la red troncal secundaria la cual tiene un nivel de cobertura menor al de red troncal primaria [4].

En estos nodos finales las señales ópticas se convierten en señales eléctricas y se distribuyen a los usuarios.

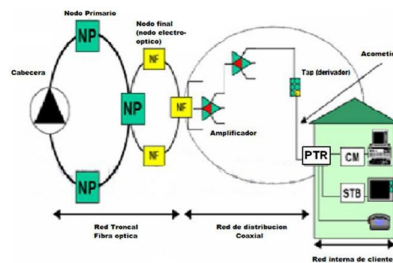


Fig. 3. Red troncal conformada por una red primaria de fibra óptica [11].

Entre las ventajas de este modelo están: Tiene canal de retorno, no está sujeto a interferencia con la cual se tiene alta calidad de imagen y sonido, además tiene capacidad de conducir un alto número de canales. Entre las desventajas tenemos: es un servicio cerrado y tiene elevados costos de implementación.

Este modelo es conveniente para cobertura local con posibilidades a nivel regional y nacional, todo dependerá del área de cobertura del proveedor.

4.3. Modelo televisión digital terrestre

En la Fig. 4 se puede observar el modelo de televisión digital terrenal, que consiste en el envío de señales digitales de TV, mediante transmisores, usando para su transmisión

ondas electromagnéticas.

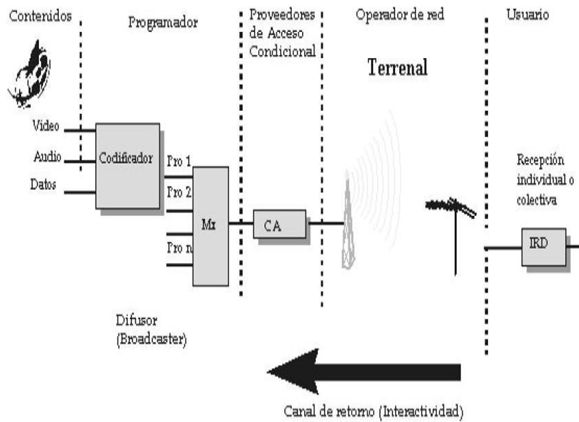


Fig. 4. Diagrama de bloques de los agentes que intervienen en la transmisión de la televisión digital terrestre [3].

El medio de transmisión usado para este sistema es el mismo en el que se basa la televisión analógica, con la diferencia que cuando enviamos la señal en forma digital, permite un mejoramiento del canal y la posibilidad de pasar mayor información y de mejor calidad.

La Fig. 5 muestra el esquema del envío de información por medio de ondas electromagnéticas.

La red de distribución primaria transporta los paquetes MPEG desde los estudios de televisión hasta los centros re-multiplexores (variaciones autónomas en la programación) y hasta los centros transmisores.

Se consideran diversas probabilidades para la red primaria, entre las se incluyen fibra óptica, redes PDH (jerarquías digitales plesiocronas) o SDH (jerarquías digitales síncronas), ATM o satélite. Una red completa constara de una combinación de todas las anteriores [4].

Este modelo de televisión digital requiere de un equipo terminal con la posibilidad de recibir la señal de televisión y la variedad de servicios que vienen integrados.

Este modelo de televisión digital es accesible para todos lo cual es una gran ventaja frente a

los otros modelos, garantiza el acceso universal a la televisión digital una ventaja de esta tecnología es que permite un mejor uso del espectro radioeléctrico. La principal dificultad que presenta es la carencia de un canal de retorno.

Este modelo es conveniente para cobertura nacional, regional y local con posibilidades de desconexiones locales.

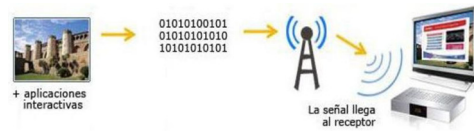


Fig. 5. Esquema del envío de información por medio de ondas electromagnéticas [2].

4.4. Modelo de televisión digital por microondas

El modelo de la televisión por microondas se muestra en la Fig. 6, se ofrece por medio de la tecnología inalámbrica conocida como MMDS (sistema de distribución multipunto de microondas), es utilizada generalmente como una alternativa a la televisión por cable y donde es a veces imposible la instalación del cableado.

MMDS utiliza la frecuencia de microondas en los rangos de 2 a 3 GHz. La recepción de las señales por parte del suscriptor requiere de una antena especial de microondas y un decodificador que se conecta al televisor.

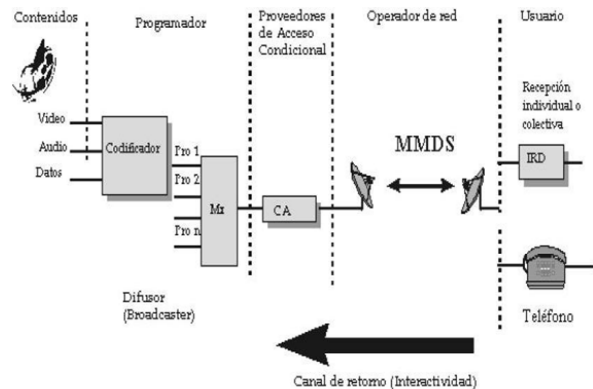


Fig. 6. Diagrama de bloques de los agentes que intervienen en la transmisión de la televisión digital utilizando microondas [3].

Las desventajas de este modelo son: la necesidad de línea de vista, lo que se supone un problema en las ciudades lo cual obliga a situar repetidores para evitar zonas de sombra y el poco aprovechamiento de ancho de banda en zonas rurales escasamente pobladas.

Este modelo de televisión digital es ideal en zonas urbanas.

4.5. Modelo de televisión IP

El IPTV se basa en el video-streaming, que consiste en que la reproducción de las películas no requiere descarga previa por parte del usuario, esta función la realiza un servidor que entrega los datos de forma continua, sincronizada y en tiempo real. Dentro de sus ventajas se pueden mencionar que la red de distribución ya está desplegada y aprovecha al máximo su ancho de banda, para conseguir mejores velocidades en el canal descendente. La desventaja de este modelo consiste en la disponibilidad de equipos centrales. La Fig. 7 representa el modelo de televisión digital IP.

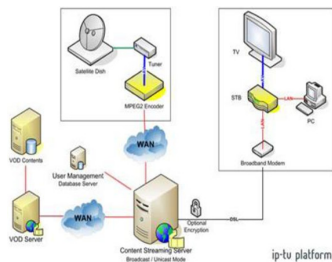


Fig. 7. Diagrama de bloques de los agentes que intervienen en la transmisión de televisión digital IP [4].

Tabla 1. Comparación entre modelos de TV digital.

RED	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Por satélite	Cobertura	Alto costo de instalación
Por cable	Canal de retorno	Complejidad en el despliegue
Terrestre	Cobertura sencillez de despliegue	Interactiva limitada
Microonda	Sencillez de despliegue	Desaprovechamiento en zonas de baja densidad
IPTV	Red desplegada	Dependencia del operador

La tabla 1 hace una comparación entre los modelos de televisión digital descritos de forma sucinta.

5. ESTÁNDAR EUROPEO, DVB ANTECEDENTES

DVB son las abreviaturas de digital video broadcasting, fue creado en 1993, con el fin de elaborar especificaciones para la difusión de televisión digital y la provisión de servicios de datos, para que sean estandarizadas por instituto europeo de estandarización de telecomunicaciones (ETSI) [5]. El DVB se caracteriza por ser un estándar abierto, flexible y de propósitos comerciales que, además, cuenta con la capacidad de recepción móvil.

DVB fue diseñado para transmitir información de audio y video codificada de acuerdo a una versión especializada del estándar de codificación de audio y video MPEG-2, utilizando anchos de banda de 6 y 8MHz.

Además, las especificaciones DVB establecen normas sobre aspectos como:

- Suministro de servicios interactivos mediante canales de retorno sobre diversos medios.
- (DECT, GSM, PSTN/ISDN, satelital, etc.) y protocolos (IP, NPI).
- Acceso condicional a contenidos pagados y protección de copia.
- Formato de interfaz para transferir señales DVB hacia las localidades de distribución mediante de redes de datos tradicionales.
- Transmisión de señales DVB-T mediante red de frecuencia única.
- Utilización de DVB para distribución de datos genéricos, no limitado a audio y video, y posibilitando formatos como MPEG-4.

En Europa la adopción del estándar DVB es mayoritaria mientras que en América Latina los países que se han definido por este estándar son: Colombia, Uruguay y Panamá.

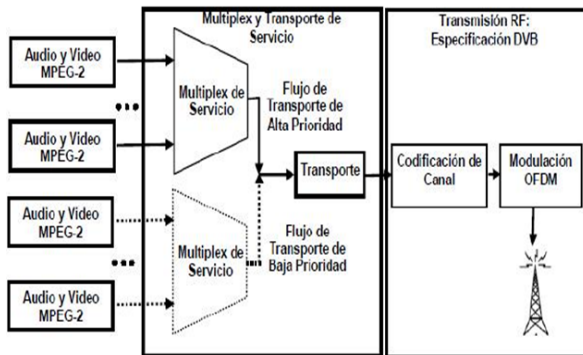


Fig. 8. Estructura de las señales que intervienen en la norma DVB-T [4].

La norma DVB-T es recogida en el estándar ETSI (European telecommunications standards institute), especifica las propiedades de la capa física tanto los procesos de codificación de canal y de modulación para la transmisión terrestre de video y audio digital. El sistema se conforma muy similarmente al ATSC, como se describe en la Fig. 8. Las señales de entrada video y audio son comprimidas y codificadas según la norma MPEG-2, con una sintaxis especializada por ETSI para DVB. Dicha especialización regula los flujos de datos DVB, por ejemplo, las tasas de datos máximas para señales de audio y video con el fin de hacerlo compatible con los medios de almacenamiento como DVD, DVC, D-VHS, etc.

El flujo de transporte (TS) obtenido después del proceso de compresión y codificación MPEG-2, se estructura de la multiplexación de varios programas más la información de servicio (SI) añadida, según lo establece la norma ETS 300 468, lo que permite compartir el canal para distribuir programación múltiple simultáneamente. Debe notarse que este proceso es prácticamente equivalente al que se realiza en los subsistemas de Codificación y comprensión de fuentes y multiplex y transporte de los servicios del estándar ATSC, excepto por el estándar utilizado para la codificación de fuente de audio. En la norma ATSC, la codificación de audio sigue la sintaxis AC-3, mientras que la transmisión de audio del estándar DVB sigue las recomendaciones del formato MPEG-2 para estéreo y sonido envolvente (es decir, la codificación de audio es MPEG-2 en vez de AC-3)

El sistema DVB-T permite además combinar jerárquicamente hasta dos flujos de transporte en una sola transmisión digital, uno de alta prioridad (AP) y otro de baja prioridad (BP), este último mostrado con línea punteada en la Fig. 8. El flujo AP requiere menor razón señal a ruido (SNR) para ser decodificado que el BP. Así, por ejemplo, el flujo AP podría portar señales de video en resolución normal con una codificación de canal de alta redundancia, haciendo posible su codificación a distancias lejanas a la antena de transmisión (donde la SNR es baja). El flujo BP, en cambio, podría portar la misma programación en alta resolución utilizando una codificación de alta tasa (poca redundancia), el que sería decodificado satisfactoriamente por receptores ubicados a distancias menores (SNR alta). Cabe destacar, no obstante, que el receptor puede escoger libremente entre los flujos AP y BP y que ambos flujos de transporte podrían perfectamente ser utilizados para transmitir programación completamente distinta.

DVB como ATSC, está basado en comprensión MPEG-2 [13] y la codificación de canal sigue un patrón similar, es decir, aleatorio, codificación de bloque, entrelazado interno, codificación convolutiva (trellis) y entrelazado externo, con pequeñas diferencias con ATSC. Sin embargo, la diferencia principal radica en el sistema de modulación empleado: Multiplexado por división de frecuencia ortogonal o COFDM. Está definido en la norma ETSI en 300 744.

En DVB-T se utiliza modulación OFDM con modulación QAM de las sub-portadoras.

5.1. Especificaciones de video

El sistema DVB soporta diferentes resoluciones de pantalla y tasas de trama, al igual que en el caso de ATSC, los formatos de video corresponden a los definidos en el estándar MPEG-2.

La tabla 2, indica los formatos de video para DVB, según resolución, forma de barrido (progresivo (P) o entrelazado (I)) y tasas de cuadros por segundo. Cabe mencionar que las resoluciones indicadas operan con anchos de

banda de transmisión de 6, 7 y 8 MHz [6].

Tabla 2. Resolución de pantalla en DVB.

Líneas verticales	Píxeles por línea	Razón de aspecto	Frecuencia de tramas
1080	1920	16:9	50P (HDTV)
1080	1920,1440	16:9, 4:3	25I, 25P (HDTV)
720	1280	16:9, 4:3	25P, 50P (HDTV)
1080	1920, 1440	16:9, 4:3	60I, 30P, 24P (SDTV)
720	1280, 960	16:9, 4:3	60P, 30P, 24P (SDTV)
576	720, 704, 544, 480, 352	16:9, 4:3	25I, 25P (SDTV)
480	720, 704, 544, 480, 352	16:9, 4:3	60P, 60I, 30P, 24P (SDTV)
288	352	16:9, 4:3	25P (SDTV)
240	352	16:9, 4:3	24P, 30P (SDTV)

5.2. Especificaciones de audio

DVB utiliza como sistema de audio el estándar MPEG-2. Sin embargo, es posible utilizar formatos AC-3 o DTS. El sistema permite transportar hasta seis señales de audio, sonido envolvente a tasas de hasta 384 kbps.

5.3. Especificaciones para transmisión RF

Codificación de canal [5]: la señal de entrada es un flujo síncrono de transporte MPEG-2, compuesto por 187 bytes de datos más un byte de sincronismo. La carga útil de datos puede incluir paquetes de audio, video y/o datos.

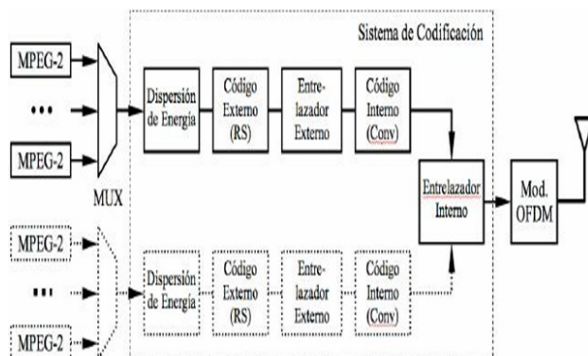


Fig. 9. Sistema de codificación en DVB [5].

En la etapa de codificación de canal, se añade suficiente redundancia y protección a la señal para hacerla más robusta con vistas a poder corregir los errores (forward error correction (FEC)) después de pasar por el canal de transmisión, además está diseñado para manejar la interferencia dentro del canal (IDC) e interferencia de canal adyacente (ICA) producidas por transmisiones tanto analógicas como digitales. El alto grado de protección necesario se logra mediante una concatenación de códigos reed-solomon (RS) y convolucional (Conv), y entrelazadores según lo muestra la Fig. 9.

Los datos de entrada de cada uno de los flujos de transporte (alta y baja prioridad) son procesados de del mismo modo, según se describe a continuación.

Dispersión de energía: para garantizar transiciones binarias adecuadas (necesarias para sincronización en el receptor) se realiza una aleatorización con el propósito que evita largas series de ceros o de unos. Se realiza mediante la multiplicación por una secuencia binaria pseudoaleatoria de orden 15 (PRBS-15), para el propósito se emplea un generador que usa el polinomio: $1+X^{14}+X^{15}$

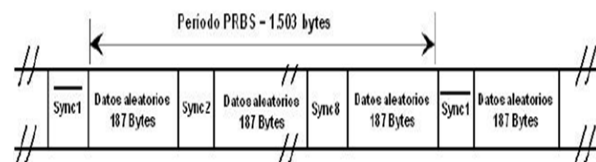


Fig. 10. Trama resultante del proceso de dispersión de energía [9].

El resultado del proceso de dispersión de energía se indica esquemáticamente en la Fig. 10.

Código externo (reed-solomon): a los paquetes resultantes se les aplica una codificación reed solomon (204, 188, T=8) para generar un paquete con corrección de error. Al paquete de 188 bytes se agregan 16 más que garantizan corrección de errores hasta 8bytes.

Entrelazado externo: en seguida se aplica un

proceso de entrelazado convolutivo por bloques (se entrelaza internamente el contenido de cada grupo de 204 bytes).

Este proceso reduce los errores por ráfagas introducidos por el canal de transmisión (errores que afectan a varios bytes consecutivos), ya que después de la reordenación de los datos en el receptor, estos errores se habrán distribuido entre paquetes sucesivos, lo que favorecerá que no se excedan los límites en los que la codificación Reed-Solomon puede recuperar la información original.

Código interno (convolutivo): este codificador convolutivo a diferencia del codificador Reed-Solomon es un codificador con memoria. Dicha codificación se lleva a cabo a nivel de bits.

En DVB-S, y también en DVB-T, se usa un registro de desplazamiento de seis etapas con 5 derivaciones cada uno en la ruta superior e inferior, Fig. 11.

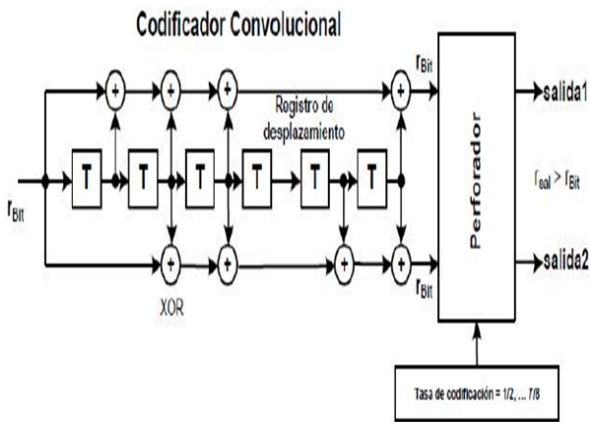


Fig. 11. Registro de etapas del codificador convolutivo en DVB-T [5].

El codificador convolutivo consiste en un registro de desplazamiento de 6 etapas y 2 rutas de señal en que la señal de entrada es mezclada con el contenido del registro de desplazamiento en ciertas derivaciones. Puede operar a tasas 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 y 7/8, otorgando así flexibilidad entre tasas de datos y el nivel de protección que se desea. La tasa de codificación es determinada por el operador según la cobertura y la tasa de datos que desee,

y puede modificarla libremente en el tiempo.

La tasa 7/8 agrega un bit de redundancia por cada siete bits de información, y provee el grado de protección más débil a los datos, pero tiene una mayor capacidad de transporte. La ventaja es que 7 de cada 8 bits transmitidos contiene información, pero la cobertura es reducida, puesto que se requiere una señal fuerte (alta razón señal a ruido) para lograr la decodificación sin errores. En el otro extremo, la tasa 1/2 otorga el máximo grado de protección a los datos. Ello permite decodificar la señal a distancias mayores, donde la razón señal a ruido es débil, pero sacrifica la tasa de datos puesto que por cada 8 bits transmitidos solo 4 portan información [13].

Modulación OFDM: la multiplexación por división de frecuencia ortogonal [7], es una técnica de comunicación que consta de dos partes: en la primera se divide un canal, de frecuencia, en un número determinado de bandas de frecuencias, en cada banda se transmite una subportadora que transporta una porción de la información del usuario. Cada subportadora es ortogonal al resto, dándole el nombre a esta técnica de multiplexación por división de frecuencia.

OFDM es una técnica basada en la multiplexación por división de frecuencia, pero el hecho de que cada subportadora sea ortogonal al resto permite que el espectro de cada una estén traslapadas. Como lo muestra la Fig. 12, y no exista interferencia, aumentando la eficiencia del uso del espectro debido a que no se utilizan bandas de separación entre subportadoras.

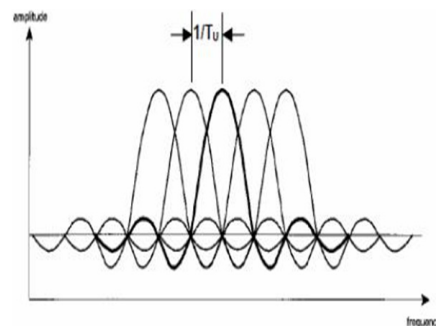


Fig. 12. Espectro portadoras adyacentes para OFDM [11].

En la segunda parte se modula cada sub-frecuencia por un método tradicional, concretamente empleando modulación de fase en cuadratura QPSK, o modulación mixta de amplitud y fase en cuadratura QAM [12].

Los estados de la portadora son función del tipo de modulación. Para el tipo QPSK hay 4 estados posibles, lo que implica una mayor inmunidad al ruido, al compararlo con el tipo 64-QAM que tiene 64 estados posibles.

Mientras aumenta el número de niveles discretos en que se divide una señal, manteniendo su potencia o amplitud máxima, menor será la separación entre los niveles, y por lo tanto es más fácil que se confundan los niveles al sumarse ruido durante la transmisión. El precio de tener mayor inmunidad con modulación QPSK, es menor velocidad de transmisión de datos, ya que con QPSK se transmiten solo 2 bit por cada símbolo, en cambio con 64-QAM se transmiten 6 bit por cada símbolo.

6. EQUIPOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL TDT [8]

La consideración para el análisis de los equipos necesarios para la implementación de la televisión digital terrestre se lleva a cabo teniendo 3 actores: el operador (quien realiza la transmisión), la producción y el usuario final.

Los equipos más relevantes relacionados con el operador son: antena transmisora, transmisor de TV digital, guías de onda, torre auto soportada, etc. La Fig. 13 muestra la topología de la transmisión de TDT.

En la etapa de producción se asocian tanto los equipos existentes para la televisión analógica como los nuevos equipos para la televisión digital, durante el periodo de transición se pueden utilizar todos los equipos logrando una interrelación como lo muestra la Fig. 14.

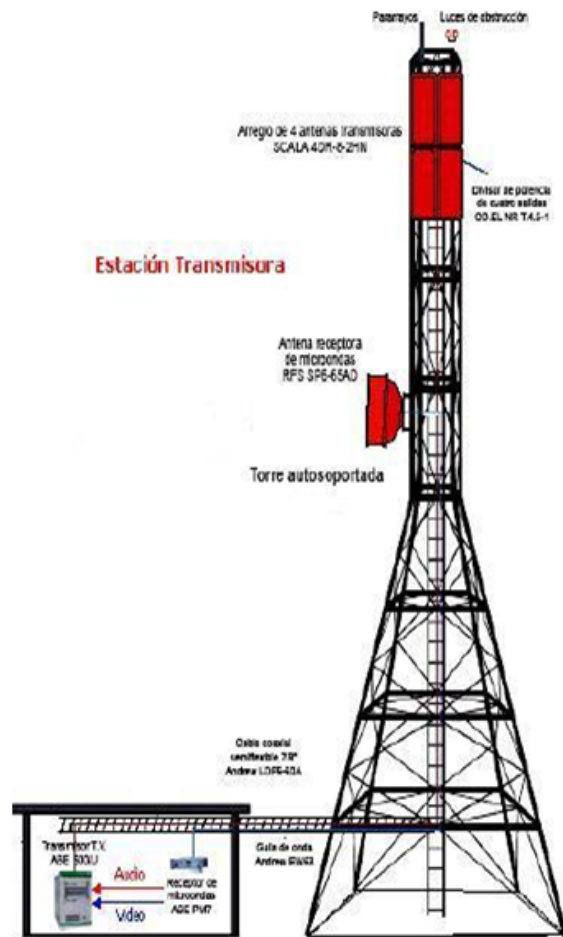


Fig. 13. Topología de equipos que utiliza el operador para la transmisión [12].

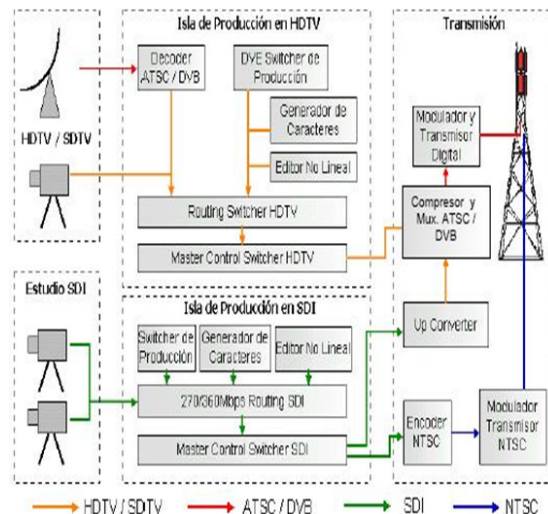


Fig. 14. Equipos utilizados en la etapa de producción de TDT durante la transición [6].

En el extremo receptor el cual afecta directamente al usuario final intervienen: la antena de recepción, televisor digital [10] y el decodificador en el caso que el televisor no lo tenga integrado la Fig. 15 muestra el diagrama correspondiente a la recepción por parte del usuario final.

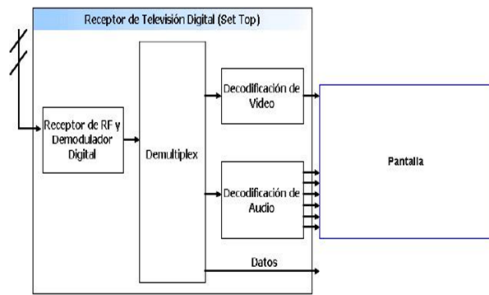


Fig. 15. Diagrama de la recepción de la señal digital por parte del usuario final [13].

7. COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE TDT EN COLOMBIA [9]

La consideración para el análisis de costos de los equipos necesarios para la implementación de la televisión digital terrestre se lleva a cabo teniendo en cuenta: la transmisión, la producción y el usuario final.

Se debe tener en cuenta que en estos costos se mencionan los equipos esenciales para llevar a cabo una transmisión exitosa hasta el usuario final.

La tabla 3 muestra los costos asociados a la etapa de transmisión se debe tener en cuenta que este análisis de costos se realiza solo para un punto de transmisión es decir que el costo total del sistema depende directamente al área que se desea cubrir.

La tabla 4 muestra los costos asociados a la etapa de producción un punto clave en este análisis de costos es que solo se tienen en cuenta los equipos nuevos que se necesitarían para la producción de la nueva señal ya que los equipos existentes para la televisión analógica

sirven también para la televisión digital [11].

La tabla 5 describe los costos asociados al usuario final de la televisión digital para nuestro medio, en la actualidad es muy pequeño el porcentaje de televisores digitales con decodificador integrado y su costo es elevado razón por la cual se espera una llegada masiva de equipos como: antenas , decodificadores y televisores digitales para atender la futura demanda de los usuarios todo esto va ligado obviamente a los costos de cada uno de estos elementos y de la ayuda que pueda proporcionar el estado para su adquisición.

Tabla 3. Costos asociados al operador.

DESCRIPCIÓN		COSTO
EQUIPO DE TRANSMISIÓN	Transmisor de Tv digital Harris Maxiva Uax - Isdb -t	\$ 110.010.000
IF/RF CABLES ANTENAS GUÍAS DE ONDAS		\$ 46.991.116
ADECUACIONES PRELIMINARES		\$ 7.536.800
CIMENTACIÓN		\$ 13.599.600
CERRAMIENTO		\$ 26.709.800
ACABADOS		\$ 392.000
TORRE AUTOSOPORTADA		\$ 78.799.520
RED MEDIA TENSIÓN		\$ 45.693.760
ACOMETIDA DE BAJA TENSIÓN		\$ 14.324.800
CABLE DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA		\$ 4.522.112
VARIOS (Tramites y licencias)		\$ 16.514.400
SUBTOTAL		\$ 365.093.908
AIU 20%		\$ 73.018.782
IVA SIBRE UTILIDAD 16%		\$ 2.336.601
TOTAL		\$ 440.449.290

Tabla 4. Costos asociados a la producción.

DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICA	COSTO
Servidor de contenidos y aplicaciones	Servidor DELL (PowerEdge 2,2 Ghz, Disco duro 160Gb, RAM 4Gb)	\$ 4.250.000
Servidor de televisión	Servidor DELL (PowerEdge 2,4 Ghz, Disco duro 160Gb, RAM 4Gb) Tarjeta Moduladora: Dektec DTA-115	\$ 4.850.000
STB de desarrollo	ADB Q75 DEV Soporte a MHP	\$ 3.250.000
STB comercial	ADB 3800/10TW	\$ 4.150.000
Televisor	TV Digital	\$ 2.950.000
Tarjeta de TV digital	Hauppauge WinTV-NOVA-T para slot PCI, con soporte a DVB-T	\$ 180.000
TOTAL		\$ 19.630.000

Tabla 5. Costos asociados al usuario final.

DESCRIPCIÓN		COSTO
Antena de recepción	Magnavox MANT900	\$ 56.202
Televisor digital integrado		\$ 2.500.000
Decodificador		\$ 150.000
TOTAL		\$ 2.706.202

8. CONCLUSIONES

DVT en general es más flexible que ATSC debido a aspectos como: (formato de compresión, manejo de ancho de banda, entre otros).

Los operadores con equipos de transmisión análogos deberán renovar sus equipos, lo cual puede suponer una inversión importante al inicio. La mayoría de los elementos pasivos como las antenas de transmisión y líneas de transmisión pueden ser reutilizados para operación de analógico a digital.

El manejo del espectro durante la transmisión en Colombia supone muchos menos desafíos que en otros países dado el bajo número de canales públicos que existen y su facilidad de cobertura ya que se cuenta con una infraestructura analógica muy bien estructurada.

Los estándares de televisión digital están en constante actualización debido a los continuos avances en las tecnologías de transmisión de datos, procurando por supuesto preservar la compatibilidad dentro de un sistema.

9. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado y en parte realizado en el Centro de Computación de Alto Desempeño (CECAD) de la Universidad Distrital “Francisco José de Caldas”.

Referencias Bibliográficas

- [1] Universidad de Vigo, DVB (Digital Video Broadcasting). [En línea], consultado en Julio 20 de 2011, disponible en: <http://www.com.uvigo.es/assignaturas/scvs/trabajos/curso9900/dvb/tvdig.htm>
- [2] TDT/ TV Cable. [En línea], consultado en Agosto 30 de 2011, disponible en: <http://www.televisiondigital.es/Cable/>
- [3] Asanza Nelson. Sistemas de telecomunicaciones con Tecnología HCF. [En línea], consultado en Septiembre 18 de 2011, disponible en: <http://www.cconstruccion.net/revista/articulo2.pdf>
- [4] Beteta Juan, Fernández David, Ladrón Jaime, Macías Óscar ASENMAC.COM. La televisión digital terrenal. [En línea], consultado en Diciembre 12 de 2011, disponible en: <http://www.asenmac.com/tvdigital/aspectos.htm#1.4>
- [5] Medios de transmisión de la televisión Digital. [En línea], consultado en Noviembre 10 de 2011, disponible en: <http://www.canalaudiovisual.com/ezine/books/jirtdt/12transmite%20tvdigital.htm>

- [6] [En línea], consultado en Octubre 1 de 2011, disponible en: <http://www.cinit.org.mx/articulo.php?idArticulo=23>
- [7] Digital video broadcasting group. [En línea], consultado en Septiembre 10 de 2011, disponible en: <http://www.dvb.org/>
- [8] [En línea], consultado en Octubre 18 de 2011, disponible en: <http://www.sistel-uv.univalle.edu.co>.
- [9] S. Vanessa Escuela, Factabilidad para la implementación de un laboratorio de television digital, Politecnica del Ejercito (ESPE), 2010.
- [10] [En línea], consultado en Julio 20 de 2011, disponible en: <http://www.katrein.com.br>.
- [11] [En línea], consultado en Agosto 2 de 2011, disponible en: <http://gtic.ssr.upm.es>
- [12] Comision Nacional de Television. [En línea], consultado en Septiembre 3 de 2011, disponible en: <http://CNTV.gov.co>
- [13] H. Bendit, Television digital, Editorial Paraninfo, 1998.