

**CONSIDERACIONES TÉCNICAS Y LEGALES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE
TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE EN COLOMBIA.**



Trabajo de Grado

**James Humberto Burbano Bravo
Diego Fernando Cruz Calvache**

Director: Ing. Jenny Cuatindioy Imbachí

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
Departamento de Telecomunicaciones
Grupo I+D Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones - GNTT
Línea de Investigación: Gestión Integrada de Redes, Servicios y Arquitecturas de
Telecomunicaciones
Popayán
2008**

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	iii
LISTA DE FIGURAS	iv
INTRODUCCIÓN	1
1. TELEVISION ACTUAL EN COLOMBIA	4
1.1 Televisión Analógica.....	4
1.1.1 Parámetros de un sistema de televisión.....	4
1.1.2 Sistemas de Televisión	8
1.1.3 Codificación en el sistema NTSC.....	10
1.1.4 Decodificación en el sistema NTSC.....	12
1.1.5 Inconvenientes del sistema NTSC	13
1.2 Asignación de canales y frecuencias.....	14
1.3 Espectro de frecuencia para un canal de televisión.....	14
1.4 Plan de utilización de frecuencias de Televisión	15
1.4.1 Parámetros técnicos generales [8].....	15
1.4.2 Parámetros técnicos utilizados en Colombia	17
2. ESTANDARES DE TELEVISION DIGITAL.....	19
2.1 Estándar ATSC	19
2.1.1. Antecedentes generales	19
2.1.2. El Sistema ATSC	19
2.1.3. Fuentes de Información.....	21
2.1.4. Características del Sistema de Codificación y Modulación	22
2.1.5. Funcionamiento con Frecuencia Única Nacional	25
2.2. Estándar DVB.....	26
2.2.1. Antecedentes Generales.....	26
2.2.2. El Sistema DVB-T	27
2.2.3. Fuentes de Información.....	28
2.2.4. Características del Sistema de Codificación y Modulación	29
2.2.5. Funcionamiento con Frecuencia Única Nacional	33
2.3. Estándar ISDB.....	34
2.3.1. Antecedentes Generales.....	34
2.3.2. El Sistema ISDB-T	34
2.3.3. Fuentes de Información.....	36
2.3.4. Características del Sistema de Codificación y Modulación	36
2.3.5. Funcionamiento con Frecuencia Única Nacional	39
3. COMPARACIÓN ENTRE LOS TRES ESTÁNDARES.....	41
3.1. Fuentes de Información.....	41
3.1.1. Sistema de transporte y multiplex	41
3.1.2. Sistema de Audio.....	41
3.1.3. Televisión de alta definición (HDTV).....	42
3.2. Tasas de Transmisión de Datos y Cobertura.....	42
3.2.1. Tasas de Datos.....	42

3.2.2. Ruido de Impulso	45
3.2.3. Cobertura de Zonas Oscuras	46
3.3. Multitrayectoria y Movilidad.....	46
3.3.1. Robustez ante la Propagación de Multitrayectoria	46
3.3.2. Recepción bajo Condiciones de Movilidad	48
3.4. Ancho de Banda y Eficiencia Espectral.....	49
3.4.1. Utilización del Espectro y Eficiencia Espectral	49
3.4.2. Posibilidad de Funcionamiento con Bandas de 8 MHz en Colombia.....	49
3.5. Coexistencia con Transmisiones Analógicas.....	50
3.6. Costo y Disponibilidad de Equipos.....	50
3.6.1. Comparación Cualitativa de Costos de Equipos para TVD.....	50
3.6.2. Breve Inspección de la Oferta Actual de STB.....	51
4. CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS PARA LA MIGRACIÓN A LA TDT	52
4.1. Inversiones de los Operadores.....	52
4.1.1. Red de Transmisión.....	52
4.1.2. Red de Distribución	53
4.1.3. Estudios	55
4.2. Simulcast	55
4.3. Planificación de Canales TDT	55
4.3.1. Determinación de fuentes de interferencia.....	57
4.3.2. Disponibilidad de canales para TDT	57
4.3.3. Consideraciones de protección durante y después del simulcast	58
4.3.4. Principios de asignación de canales.....	58
4.3.5. Plan de implementación del simulcast y sus costos estimados.....	60
4.4. Sistemas de torres, antenas y transmisores	60
4.5. Terminales.....	64
4.6. Antenas Colectivas	64
4.7. Pruebas Televisión Digital Terrestre.....	65
4.8. Recomendaciones de la UIT para la Televisión Digital	68
5. ASPECTOS LEGALES PARA EL ACCESO DE TDT EN COLOMBIA.....	69
5.1. Historia sobre la Normatividad Actual.....	69
5.2. Implicaciones Legales para Implementar TDT	71
5.2.1. Excepcionalidad y convergencia	72
5.2.2. Concesiones y eficiencia.....	72
6. CONSIDERACIONES LEGALES PARA LA INTRODUCCIÓN DE TDT EN COLOMBIA	74
6.1. Guía para la normatividad de Televisión Digital Terrestre.....	74
6.2. Consideraciones Legales.....	77
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80
7.1. Conclusiones.....	80
7.2. Recomendaciones	82
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83

LISTA DE TABLAS

Tabla No 1. Bandas de Frecuencia	14
Tabla No 2. Resoluciones de pantalla especificadas por ATSC.....	21
Tabla No 3. Resoluciones de pantalla especificadas por DVB	28
Tabla No 4. Resoluciones de Pantalla para el sistema ISDB-T.....	36
Tabla No 5. Intensidad de Campo mínima a proteger de señales TDT en los límites del área de cobertura.....	59
Tabla No 6. Transmisores IOT v/s Transmisores de Estado Sólido	63
Tabla No 7. Riesgos inherentes a la concesión en televisión [46].....	71
Tabla No 8. Resumen Comparativo de los tres estándares	80

LISTA DE FIGURAS

Figura No 1. (Izquierda) Campo impar, (Derecha) Campo par.....	5
Figura No 2. Imagen real obtenida de la mezcla de los campos impar y par.....	5
Figura No 3. Transmisión de Televisión en Color	7
Figura No 4. Desplazamiento de fase de los vectores de croma	8
Figura No 5. Diagrama en bloques de un sistema de televisión.....	8
Figura No 6. Diagrama en bloques de un codificador NTSC	10
Figura No 7. Salva en codificador real	12
Figura No 8. Diagrama en bloques de un decodificador NTSC.....	12
Figura No 9. Espectro de frecuencia para un canal de radiodifusión de televisión estándar. ..	14
Figura No 10. Espectro real de frecuencia típico para un canal NTSC	15
Figura No 11. Sistema ATSC.....	20
Figura No 12. Comparación entre resoluciones de video especificados por ATSC.....	21
Figura No 13. Diagrama funcional del sistema de codificación de canal y modulación de ATSC.	23
Figura No 14. Espectro de la señal 8-VSB en ATSC	25
Figura No 15. Diagrama general del sistema DVB-T.....	27
Figura No 16. Sistema de codificación de canal de DVB-T	29
Figura No 17. Diagrama general del sistema ISDB-T.....	34
Figura No 18. Ejemplo de Transmisión Jerárquica para el sistema ISDB-T	35
Figura No 19. Sistema de Codificación de Canal y jerarquización de ISDB-T.....	37
Figura No 20. Umbral de visibilidad de 8-VSB en canal Gaussiano	43
Figura No 21. Razón C/N y tasa neta de bits como función de la constelación M-QAM, tasa de código, longitud del intervalo de guarda y perfil del canal para todos los modos DVB-T	44
Figura No 22. Bandas de frecuencia utilizadas en Colombia.....	45
Figura No 23. Esquema básico de la red de transmisión	52
Figura No 24. Red de Distribución de Televisión	54
Figura No 25. Panorama de Televisión antes y después del <i>simulcast</i>	55
Figura No 26. Atribución de Bandas y Canales en Colombia.....	59
Figura No 27. Combinador TDT para antenas tipo batwing	61
Figura No 28. Diagrama general para la recepción de TDT en un televisor convencional.	64
Figura No 29. Estructura de una antena colectiva y su adaptación para recepción de TDT....	65
Figura No 30. Transmisores y sistema radiante utilizado para pruebas en Bogotá-Colombia	66
Figura No 31. Calendario propuesto por Colombia para la implementación de la TDT	76
Figura No 32. Diagrama del funcionamiento de un <i>Set Top Box</i>	77

INTRODUCCIÓN

El sector audiovisual ha sido objeto de múltiples cambios en los últimos años, los cuales han influido en el concepto de televisión y sus planteamientos comunicativos. El mundo se encuentra en un proceso de transformación de la tecnología analógica hacia la digital; las tecnologías analógicas van camino hacia su desaparición, mientras que las tecnologías que conducen a un mundo digital, no sólo en el ámbito de la televisión, sino en el de todas las tecnologías de información y comunicación conocidas, estarán a la vanguardia de los nuevos servicios.

La televisión analógica tiene una gran desventaja, y es que derrocha espectro electromagnético, debido a que en la mayoría de los casos las señales de vídeo cambian muy poco cuando pasan de un elemento de imagen (píxel) a los contiguos, o por lo menos existe una dependencia entre ellos.

Si se analiza la televisión analógica, tomando como parámetros la imagen y el sonido se puede notar que están representados por magnitudes analógicas de una señal eléctrica. El transporte de esta señal analógica hasta su destino ocupa muchos recursos, como es el caso del espectro electromagnético. En lo digital los parámetros de imagen y sonido se representan por los dígitos "1" y "0".

Cuando se quiere transformar una señal analógica en una señal digital, se tiene que hacer uso de un conversor analógico/digital. Esta representación numérica en bits, permite someter la señal de televisión a procesos complejos, sin degradación de calidad, que ofrecen múltiples ventajas y abren un abanico de posibilidades de nuevos servicios en el hogar.

La señal de televisión digital ofrecida directamente por el conversor analógico/digital contiene una gran cantidad de bits que no hacen viable su transporte y almacenamiento sin un consumo excesivo de recursos.

En el proceso de digitalización de una señal de televisión, la cantidad de bits que se genera es tan alta, que para su transporte se necesita mucha capacidad de almacenamiento y de recursos.

Ejemplos de la cantidad de bits que genera la digitalización de 3 diferentes formatos de televisión:

En formato convencional (4:3) una imagen digital de televisión está formada por 525x576 puntos (píxeles). Almacenar una imagen requiere: 1 Mbyte. Transmitir un segundo de imágenes continuas, requiere una velocidad de transmisión de 170 Mbits/s.

En formato panorámico (16:9) una imagen digital de televisión está formada por 960x 576 puntos (píxeles): requiere un 30% más de capacidad que el formato 4:3

En formato alta definición la imagen digital de televisión consiste en 1920x1080 puntos (píxeles). Para almacenar una imagen se requiere como mínimo de 4Mbyte por imagen. Transmitir un segundo de imágenes continuas, requiere una velocidad de transmisión de 1Gbit/s. Las señales de televisión tienen más información de la que el ojo humano necesita para percibir correctamente una imagen. Es decir, tienen una redundancia considerable. Esta redundancia es explotada por las técnicas de compresión digital, para reducir la cantidad de "números" generados en la digitalización hasta unos niveles adecuados que permiten su transporte con una gran calidad y economía de recursos.

Estas y otras técnicas han sido los factores que han impulsado definitivamente el desarrollo de la Televisión Digital, permitiendo el almacenamiento y transporte de la señal de televisión digital con un mínimo uso de recursos.

Los canales radioeléctricos de la televisión digital ocupan el mismo ancho de banda (6-8MHz) que los canales utilizados por la televisión analógica pero, debido a la utilización de técnicas de compresión de las señales de imagen y sonido (MPEG), tienen capacidad para un número variable de programas de televisión en función de la velocidad de transmisión, pudiendo oscilar entre un único programa de televisión de alta definición (gran calidad de imagen y sonido) a cuatro o cinco programas con calidad técnica similar a la actual.

Los cambios que han surgido desde hace unos años, han llevado a situaciones que no se esperaban, como por ejemplo elegir la película de nuestro agrado, adquirir unas entradas para el teatro y mucho menos decidir qué concursante debía ganar. Nos hemos sentado frente al computador y tampoco creímos que sería posible escuchar la radio, leer la prensa o ver un estreno de cine. En el siglo XXI las dos pantallas se unen para ofrecer un producto completo y distinto. Nuevos planteamientos que convierten a la televisión en el terminal de la nueva Sociedad de la Información. No hay duda de que el futuro cercano e inmediato nos acerca a un modo de concebir la comunicación plenamente integrada, a la vuelta de la esquina, con tan solo un clic de ratón, se tendrá en las manos la televisión, la radio, la prensa y la realidad virtual integrados en un mismo entorno interactivo y multimedia, dentro del cual será posible, incluso, formar parte activa de la acción.

Colombia se prepara para este cambio, en el cual uno de sus primeros objetivos es el de adoptar un estándar de televisión digital terrestre.

La elección del estándar de televisión digital terrestre, requiere la evaluación de diversos aspectos como el técnico, el económico, el social, y otros que estén involucrados dentro de la cadena de valor de este servicio de telecomunicaciones.

La realización de pruebas, constituye una herramienta fundamental para la comparación adecuada de los parámetros técnicos más importantes de cada uno de los estándares de televisión digital terrestre a evaluarse.

Se han creado varios estándares para la transmisión de televisión digital terrestre. Existen tres zonas de normalización en cuanto a Televisión Digital se refiere: Japón, Estados Unidos y Europa.

En las tres zonas se utiliza MPEG-2 como técnica de compresión de vídeo; sin embargo, los estándares en estas zonas son diferentes:

1. ATSC (*Advanced Television System Committee*):

Desarrollado en Estados Unidos en 1993 por la Gran Alianza, consorcio integrado por AT&T, Zenith, MIT, entre otros. Sus características están basadas en el sistema NTSC, aunque se puede utilizar en otros sistemas. El sistema de modulación utilizado es el 8VSB.

2. ISDB-T (*Terrestrial - Integrated Services Digital Broadcasting*)

Desarrollado en Japón como consecuencia del desarrollo de la HDTV – Televisión de alta definición. Este sistema de transmisión analógico fue desarrollado en Japón en los años 80's pero ocupaba un ancho de banda de 12 Mhz, por lo que no podía alojarse en los canales convencionales de 6, 7 ó 8 Mhz. Los ingenieros concluyeron que para tener una televisión de alta definición (parecida a la del cine), la nueva televisión debería ser digital. Utiliza un sistema de modulación BST-OFDM. Puede ser utilizado en NTSC, que es el sistema que utiliza Colombia.

3. DVB-T (*Digital Video Broadcasting – Terrestrial*):

TDT (Televisión Digital Terrestre) es el nombre con el que se conoce al estándar DVB-T (*Digital Video Broadcasting - Terrestrial*), diseñado para la transmisión de emisiones de televisión mediante técnicas de modulación y codificación digitales. El estándar DVB-T forma parte de una familia de estándares para la transmisión de emisiones de televisión digital según diversas tecnologías: emisiones desde satélites geoestacionarios (DVB-S), por redes de cable (DVB-C), emisiones mediante la red de distribución

terrestre de señal usada en la televisión analógica tradicional (DVB-T) e incluso para emisiones destinadas a dispositivos móviles con reducida capacidad de proceso y alimentados por baterías (DVB-H).

Sus características están basadas en el sistema PAL, y ha sido desarrollado por el grupo europeo DVB (*Digital Video Broadcasting*) que agrupa a varios fabricantes. Puede ser utilizado en el sistema NTSC.

En este trabajo se empezará hablando de la tecnología de televisión existente, como es el de, televisión analógica, sus parámetros fundamentales, así como los sistemas de transmisión como son el NTSC, PAL, SECAM. Además se describirán parámetros técnicos, relacionados con el espectro.

Después se hará una descripción detallada de los estándares anteriormente mencionados para hacerles una comparación y poder concluir cual es el más adecuado para Colombia. Se analizará todo lo relacionado con el espectro y los equipos que serán utilizados con esta nueva tecnología de televisión digital terrestre.

Por último se analizará la normatividad existente sobre televisión, para poder saber cuales normas deben adaptarse con la llegada de la televisión digital terrestre, y si es necesario la creación de otras.

1. TELEVISION ACTUAL EN COLOMBIA

La televisión en el hogar desde sus comienzos ha sido esencialmente analógica, han habido importantes avances a lo largo de su historia, como la introducción de componentes de estado sólido, circuitos más avanzados, miniaturización, y quizás el más relevante de todos la televisión a color. El nuevo desafío en su evolución es la digitalización que promete conducir a una redefinición tanto en el servicio como en el modelo de negocio.

Por esta razón es de gran importancia hacer un estudio de la televisión existente en Colombia para poder enfrentar los cambios a que haya lugar con el proceso de la digitalización.

1.1 Televisión Analógica

En los orígenes históricos y técnicos, la televisión comienza con la transmisión y recepción de imágenes en blanco y negro, es decir, la información de brillo de la imagen. El principio de transmisión de TV consiste en dividir en pequeños elementos la imagen. Un conversor electro óptico, generalmente una cámara, transforma sucesivamente cada uno de los elementos individuales en señales eléctricas con magnitud proporcional a su brillo. Luego esta señal es transmitida modulando una portadora de RF. Después de un adecuado procesamiento en el extremo receptor, la información se aplica a otro conversor electro óptico pero a la inversa, y reproduce la distribución de brillo de la imagen original sobre una pantalla.

1.1.1 Parámetros de un sistema de televisión

Relación de aspecto: La relación de aspecto (*aspect ratio*)¹ de una imagen es la proporción entre su anchura y su altura. Se calcula dividiendo la anchura por la altura de la imagen visible en pantalla, y se expresa normalmente como "X:Y".

Por ejemplo, la relación de aspecto de una pantalla de televisión que normalmente conocemos es de 4:3, que también se puede expresar como 1,33:1. Los televisores panorámicos de alta definición suelen tener una relación de aspecto de 16:9 (o 1,78:1) [1]

Frecuencia de cuadro: Se le denomina al número de imágenes transmitidas por segundo. En cine, el número de fotogramas² por segundo es 24 y en televisión debe ser un número similar, de tal forma que el tiempo transcurrido entre una imagen y otra se encuentre dentro del tiempo de integración temporal del ojo, inferior a los 50 mseg. . Para sistemas europeos es de 25 fotogramas por segundo y para el sistema americano es de 30 fotogramas por segundo.

Exploración entrelazada: (*Interlaced Scanning*) es un método de adquisición de imágenes, que consiste en dividir la imagen a transmitir en dos campos o cuadros (*frames*) formados por líneas pares e impares. Este método fue inventado por un ingeniero de la RCA³ (Randall C. Ballard) en 1932. [2].

Cuando se realiza una exploración entrelazada se explora alternativamente las líneas pares e impares, dividiendo la imagen que se quiere transmitir en dos campos o cuadros, como se muestra en la Figura No 1, la unión de los dos campos representa la imagen total como se muestra en la Figura No 2.

¹ En Colombia, se utiliza una relación de aspecto de 4:3

² Un fotograma representa el contenido de una película en un determinado instante de tiempo.

³ Radio Corporation of America



Figura No 1. (Izquierda) Campo impar, (Derecha) Campo par.



Figura No 2. Imagen real obtenida de la mezcla de los campos impar y par.

La proximidad entre las líneas consecutivas y las limitaciones del sistema visual humano hacen que el ojo del espectador integre los dos cuadros como una imagen completa, obteniendo la sensación de que estas líneas se van refrescando al doble de la frecuencia real. Con este método se consigue mantener un caudal de información reducido, es decir, un menor ancho de banda a transmitir, pero el suficiente para que en recepción tengamos la representación de las imágenes sin que aparezca el fenómeno de parpadeo (*flicker*).

Problema del Parpadeo: a medida que se estimula con mayor luminosidad, la persistencia del ojo disminuye, de manera que imágenes muy brillantes requieren rápida repetición para que no se desvanezcan. La continuidad de movimiento se logra a una frecuencia mayor de 15 cuadros por segundo, por lo tanto se adoptó inicialmente una frecuencia de 16 cuadros por segundo. Posteriormente, se adoptaron 24 cuadros por segundo que es la norma mundial actual para cine. Sin embargo, se comprobó que la frecuencia de "muestreo" debe ser aún más alta, para evitar el así llamado parpadeo. Para evitar el parpadeo en televisión se buscó una solución que no implicara aumentar el número de cuadros por segundo y por lo tanto el ancho de banda.

Número de líneas de un sistema de televisión: En la elección del número de líneas de un sistema de televisión intervienen diversos factores. Probablemente, el factor esencial es la propia capacidad del sistema visual humano para discernir los detalles en una imagen bajo determinadas condiciones de iluminación.

Frecuencia de Línea: Número de líneas transmitidas por segundo. Todas las emisoras de televisión deben mantenerse estrictamente dentro de la frecuencia que les ha sido asignada

Ancho de banda: (*BandWidth*) es la anchura, medida en hercios, del rango de frecuencias en el que se concentra la mayor parte de la potencia de la señal. Puede ser calculado a partir de una señal temporal mediante el análisis de Fourier. También son llamadas frecuencias efectivas las pertenecientes a este rango.

Resolución: Cantidad de *píxeles*⁴ que se pueden mostrar en la pantalla a lo ancho y alto. La resolución es un parámetro de los sistemas de televisión directamente relacionado con el ancho de banda de la señal, a mayor ancho de banda mayor resolución. Se define como el número de líneas verticales que pueden presentarse en una distancia igual a la altura de la pantalla

Factor de Resolución: se define como el cociente entre la resolución y el ancho de banda utilizado para transmitir la señal de barras verticales asociada.

$$FR \text{ (Factor de resolución)} = R/BW$$

Donde R indica la resolución (en número de líneas) y BW el ancho de banda. El factor de resolución se mide por tanto en líneas/Hz. Este parámetro es una constante que depende exclusivamente del sistema de televisión y que establece una relación directa entre el ancho de banda del canal y el número de líneas verticales que pueden visualizarse en el receptor [3].

Señal de luminancia Y: En la televisión monocromática o blanco y negro, la imagen es representada en términos de su luminancia o niveles de brillo. La tensión de luminancia generada por la fuente de video es proporcional al brillo instantáneo de cada punto de la pantalla.

Según la curva de sensibilidad del ojo humano a las diferentes longitudes de onda de los colores primarios se comprueba que el verde da la máxima luminancia, el rojo la mitad del verde y el azul solo el 33% del rojo.

Para transmitir una señal blanca, se debe ajustar la ganancia de los distintos tubos de toma de la cámara de tal forma que la amplitud de las señales primarias cumplan la relación $R=G=B^5$, puesto que los tubos no siguen la misma curva de sensibilidad del ojo humano.

Por lo tanto, de todo esto se deduce que para que la imagen se aprecie con sus colores reales deberá multiplicarse la magnitud real de cada color por su factor correspondiente, matemáticamente se expresa así.

$$Y=0.30R+0.59G+0.11B$$

La señal Y se transmite con un ancho de banda de 0 a 4 MHz, sin embargo casi todos los receptores la limitan a un ancho de banda de 3.2 MHz, con el fin de minimizar la interferencia con la señal de color de 3.58 MHz.

⁴ Menor unidad en la que se descompone una imagen digital

⁵ Red=Green=Blue

Señal de crominancia C: En televisión a color se transmite además de la señal de luminancia, la señal de crominancia, que contiene la información de color. Con la transmisión compuesta por estas dos señales se logra la compatibilidad de la señal color en los receptores blanco y negro, que detectan solo la señal de luminancia, mientras que los receptores en color detectan ambas señales para reproducir televisión en colores.

La televisión a color utiliza 3 colores primarios: Rojo, Verde y Azul, ya que todo el espectro de colores posibles se puede representar como una combinación de estos.

La imagen se obtiene en primer lugar de la cámara color, la cual separa los componentes en Rojo, Verde y Azul de la imagen óptica y se generan las respectivas señales eléctricas. A esta señal se le denomina RGB, luego la señal se procesa para poder obtener la señal de luminancia Y, y la señal de crominancia C. En los sistema NTSC a estas señales se le denominan I y Q respectivamente mientras que en PAL se les llama U y V [4].

La señal de crominancia es una combinación de las señales de color I y Q. La señal I o señal de color en fase se logra combinando 60% de la señal de vídeo R, 28% de la señal de vídeo G invertida y 32% de la señal de vídeo B invertida. En términos matemáticos I se expresa como:

$$I = 0.60R - 0.28G - 0.32B$$

La señal Q o señal de color en cuadratura se genera combinando 21% de la señal de vídeo R, 52% de la señal de vídeo G invertida y 31% de la señal de vídeo B. Matemáticamente se expresa así:

$$Q = 0.21R - 0.52G + 0.31B$$

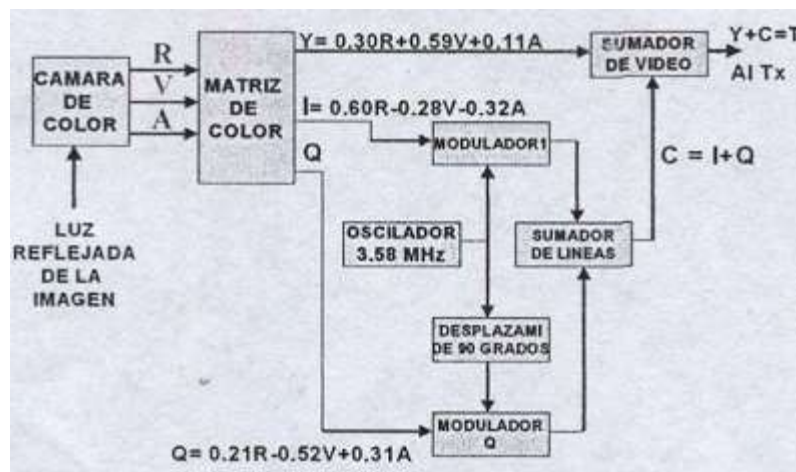


Figura No 3. Transmisión de Televisión en Color

En una transmisión de televisión en colores, las señales I y Q se combinan mediante la suma del generador de fases para producir la señal C, como se muestra en la Figura No 3. En el receptor la señal C reproduce colores en proporción a las amplitudes de las señales I y Q. El tono del color se determina por la fase de la señal C y la profundidad o saturación es proporcional a la magnitud de la señal C [5].

Componentes $U'(t)$ y $V'(t)$: proporcionan información de todos los parámetros del color (R,G,B), por lo que si demostramos que un cambio en el módulo de este vector (Figura No 4), manteniendo fija la componente de luminancia, representa sólo un cambio en la saturación y brillo, será evidente que la información de matiz debe depender de la dirección del vector. Es importante dejar claro que, a veces,

por abuso del lenguaje, suele decirse que los cambios de dirección del vector de croma se corresponden exclusivamente con cambios de matiz del color, lo cual, no es estrictamente cierto. En efecto, un cambio de dirección lleva implícito una variación del matiz del color, pero también una variación en la saturación y brillo.

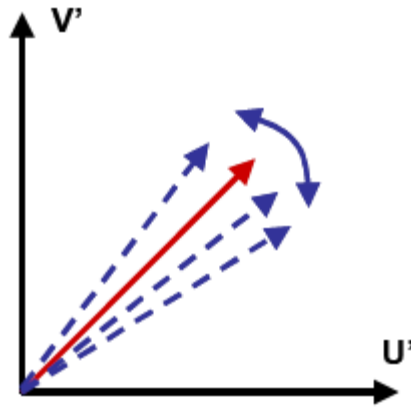


Figura No 4. Desplazamiento de fase de los vectores de croma

1.1.2 Sistemas de Televisión

La Figura No 5, muestra el diagrama en bloques de un sistema de televisión convencional, independiente del estándar de transmisión analógico utilizado.

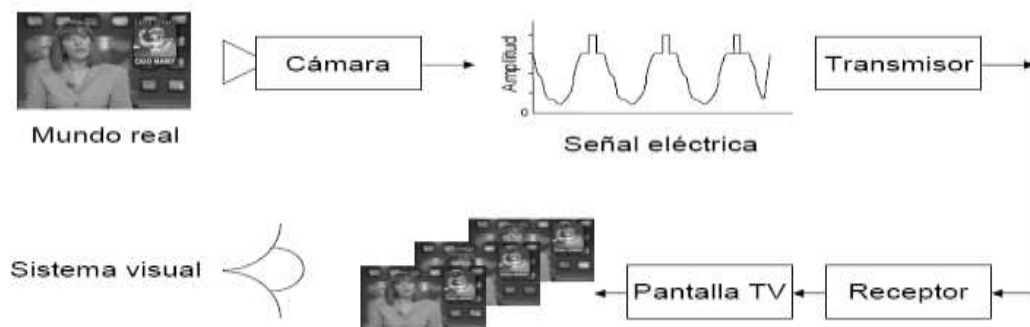


Figura No 5. Diagrama en bloques de un sistema de televisión [6].

Existen 3 estándares para sistemas de televisión analógica: NTSC, PAL, Y SECAM.

Teniendo en cuenta la televisión analógica en colores, se analizará los fundamentos de los anteriores sistemas a la hora del tratamiento de la imagen.

El análisis de los diferentes colores de una imagen se hace a través de filtros, tomando los tres colores primarios dentro de la transmisión de TV a color, rojo, verde y azul. Si se combinan estos tres colores primarios de forma adecuada, puede pues reconstruirse la imagen original en el receptor de TV.

Por lo anterior el punto de partida de cualquier sistema de TV en color se encuentra a la salida de la cámara, la cual suministra las señales correspondientes a estos tres componentes útiles.

En el receptor se superponen de nuevo estos componentes efectuándose la suma aprovechando el efecto del ojo humano de no distinguir el color entre dos puntos de igual o diferente color situados a una distancia determinada. Así el color AMARILLO por ejemplo, se reproduce en la pantalla mediante la iluminación de un punto ROJO y otro VERDE, y sin embargo el espectador cree ver el color AMARILLO, ya que la mezcla aditiva de estos dos colores primarios proporcionan el amarillo. De igual forma, el color blanco se obtiene iluminando al máximo los puntos: rojo, verde y azul de la pantalla, de forma que si ésta está totalmente blanca quiere decir que todos los puntos de la misma están excitados con la máxima luminosidad.

En los inicios de la TV en color se intentó transmitir directamente las señales pertenecientes a los tres colores primarios, pero inmediatamente se comprobó que para ello se necesitaba un ancho de banda excesivamente grande, por lo que se reduce el número de canales posibles en cada banda, además de las dificultades técnicas que presenta el tratamiento de la señal con tal ancho de banda. Como consecuencia de esto se descartó la posibilidad de transmitir simultáneamente los tres grupos de señales. También se presentaron dificultades al intentar transmitirlos sucesivamente.

El anterior problema se solucionó transmitiendo, en lugar de los tres colores primarios, las tres características de la luz coloreada, como son:

a. MATIZ: Es el color propiamente dicho. Es el nombre por el que se conoce tal color, como rojo, azul o verde.

b. SATURACIÓN: La saturación de un color se refiere al grado de ausencia de luz blanca en el color, es decir, la intensidad del color (la concentración pura del color.)

c. LUMINOSIDAD O BRILLO: Es el grado de luz blanca que llega a la cámara desde el color particular, es decir la magnitud en que el color parece emitir más o menos luz.

Sistema PAL: son las siglas de *Phase Alternating Line*⁶. Fue desarrollado en la compañía alemana Telefunken. Intentó mejorar la calidad y reducir los defectos en los tonos de color de NTSC. No obstante, la transmisión fundamental de la señal es muy parecida a NTSC. Este sistema conserva la modulación en cuadratura, pero con los ejes Cb y Cr, asignándole a ambos igual ancho de banda. Además de diferir en las frecuencias, que siguen las normas Europeas, la fase del producto de modulación cambia de línea a línea en 180 grados, teniéndose así una línea llamada NTSC y la siguiente llamada PAL con fase de 180 grados.

Sistema SECAM: son las siglas de *Séquentiel couleur à mémoire*,⁷ es otro sistema de TV surgido en Francia. Los trabajos empezaron en 1956 pero Francia no estrenó el nuevo formato hasta 1960. Rusia también estaba ligada al proceso de desarrollo. Igual que los demás sistemas utilizados para la transmisión de televisión en color en el mundo el Secam es una norma compatible, lo que significa que los televisores monocromos (B/N) preexistentes a su introducción son aptos para visualizar correctamente los programas codificados en Secam, aunque naturalmente en blanco y negro.

Debido a este requerimiento de compatibilidad, los estándares de color añaden a la señal básica monocroma una segunda señal que porta la información de color. Esta segunda señal se denomina crominancia (C), mientras que la señal en blanco y negro es la luminancia (Y). Así, los televisores antiguos solamente ven la luminancia, mientras que los de color procesan ambas señales.

Otro aspecto de la compatibilidad es no usar más ancho de banda que la señal monocroma sola, por lo que la señal de color ha de ser insertada en la monocroma pero sin interferir con ella.

Esta inserción es posible porque el espectro de la señal de TV monocroma no es continuo, existiendo espacios vacíos, los cuales pueden ser reutilizados.

⁶ Línea alternada en fase

⁷ Color secuencial con memoria

Esta falta de continuidad resulta de la naturaleza discreta de la señal, que está dividida en cuadros y líneas. Los sistemas de TV en color analógicos difieren en la forma en que se usan estos espacios libres. En todos los casos la señal de color se inserta al final del espectro de la señal monocroma.

Sistema NTSC: Es el sistema que nos interesa analizar, puesto que es el que se utiliza en Colombia.

El sistema NTSC consiste en la transmisión de 29,97 cuadros de vídeo en modo entrelazado con un total de 525 líneas de resolución y una velocidad de actualización de 30 cuadros de vídeo por segundo y 60 campos de alternación de líneas [7].

Para garantizar la compatibilidad con el sistema NTSC en blanco y negro, el sistema NTSC de color mantiene la señal monocromática en blanco y negro como componente de luminancia de la imagen en color, mientras que para la señal de color se han creado dos componentes de crominancia los cuales se modulan con una modulación de amplitud en cuadratura sobre una subportadora de 3,579545 MHz. La demodulación de las componentes de crominancia es necesariamente síncrona, por lo tanto se envía al inicio de cada línea una señal sinusoidal de referencia de fase conocida como "salva de color", "burst" o "colorburst". Esta señal tiene una fase de 180° y es utilizada por el demodulador de la crominancia para realizar correctamente la demodulación. A veces, el nivel del "burst" es utilizado como referencia para corregir variaciones de amplitud de la crominancia de la misma manera que el nivel de sincronismo se utiliza para la corrección de la ganancia de toda la señal de vídeo.

Un canal de televisión transmitido en el sistema NTSC utiliza alrededor de 6 MHz de ancho de banda, para contener la señal de vídeo, más una banda de resguardo de 250 KHz entre la señal de vídeo y la de audio. Los 6 MHz de ancho de banda se distribuyen de la siguiente forma: 1,25MHz para la portadora de vídeo principal con dos bandas laterales de 4,2MHz; las componentes de color a 3,579545 MHz sobre la portadora de vídeo principal, moduladas en cuadratura; la portadora de audio principal de 4,5 MHz transmitida sobre la señal de vídeo principal y los últimos 250 KHz de cada canal para la señal audio estereofónica en frecuencia modulada. La señal de crominancia en el sistema NTSC norma M se transmite en una frecuencia subportadora FM en los 3.58 MHz.

El estudio del sistema NTSC, se va a enfocar en lo correspondiente a los bloques de codificación y decodificación.

1.1.3 Codificación en el sistema NTSC

La Figura No 6, representa gráficamente el proceso de codificación utilizado en el sistema NTSC. 4

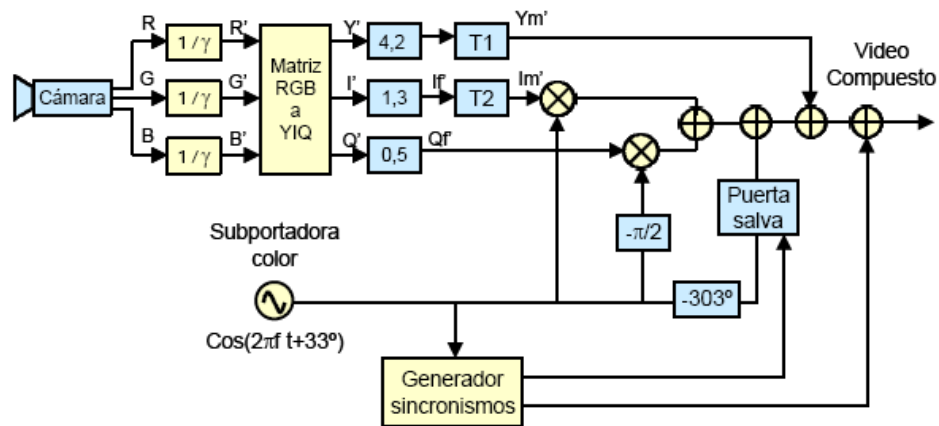


Figura No 6. Diagrama en bloques de un codificador NTSC

Cabe anotar que aunque en el receptor suele realizarse la demodulación directa de las señales $U'(t)$ y $V'(t)$ con objeto de reducir el número de unidades de retardo que deben aplicarse a las señales de luminancia y diferencia de color, en el codificador, por la propia definición del sistema NTSC, deben mantenerse las dos unidades de retardo para garantizar que todas estas componentes están sincronizadas.

El desfase de 303° se obtiene como consecuencia de sumar los 90° grados de desfase entre la portadora en coseno y seno, los 33° debidos al giro de las componentes $I'(t)$ y $Q'(t)$ respecto a las componentes $U'(t)$ y $V'(t)$, más los 180° correspondientes a la inversión de la fase de la componente V' .

En este diagrama de bloques se supone que la señal que se genera en el bloque de subportadora de color es directamente la componente en fase $\cos(2\pi ft + 33^\circ)$, de modo que esta señal se multiplica directamente por la señal $I'(t)$ en banda base. Para obtener la versión en cuadratura es necesario retardar la subportadora un ángulo $\pi/2$. En la figura se utiliza un signo negativo para indicar explícitamente que se corresponde con un retardo y no con un adelanto de la fase.

La señal de salva puede obtenerse mediante un retardo de 303° sobre la misma subportadora. Téngase en cuenta que la salva debe tener un desfase de 180° respecto al eje correspondiente a la señal $U'(t)$. El desfase de 303° se obtiene como consecuencia de sumar los 90° grados de desfase entre la portadora en coseno y seno, los 33° debidos al giro de las componentes $I'(t)$ y $Q'(t)$ respecto a las componentes $U'(t)$ y $V'(t)$, más los 180° correspondientes a la inversión de la fase de la componente V' . Aquí se indican los desfases como negativos, debido a que en la práctica sólo pueden realizarse retardos, y no adelantos, de señales.

La subportadora de color se utiliza como señal de referencia para la obtención de los sincronismos. Esta señal es la referencia de fase para determinar las posiciones de todos los pulsos de sincronismo. Así, los impulsos de pre-igualación y post-igualación deben generarse a la misma cadencia que esta referencia, los pulsos de sincronismo de línea tendrán una frecuencia mitad a la de referencia, y los de sincronismo de campo tendrán una cadencia 525 veces menor, por lo que bastará con dividir la frecuencia de la señal de referencia por 525 para obtener una señal que proporcione la referencia de fase del sincronismo de campo. Una vez obtenidas las señales de referencia para cada tipo de sincronismo, éstas se utilizan para activar los circuitos de conformación de pulsos para cada tipo de sincronismo y se insertan a la señal de luminancia y croma como se indica en el diagrama de bloques. La salva de color se inserta a la señal de croma mediante una puerta que está controlada por el propio generador de sincronismos y que sólo se mantiene activa durante una fracción del tiempo correspondiente al pértico posterior del sincronismo de línea. A la señal de vídeo compuesto que se obtiene en la salida del codificador debe aún incorporarse la señal de audio y aplicarla a un modulador que adapte esta señal en banda base para su transmisión a distancia.

El procedimiento utilizado para generar la salva en un codificador real es la de aprovechar la propia estructura del modulador de croma, de modo que el generador de sincronismos controla cuándo los mezcladores están conectados a las señales diferencia de color $I'(t)$ y $Q'(t)$ o a las constantes para la generación de la salva de color.

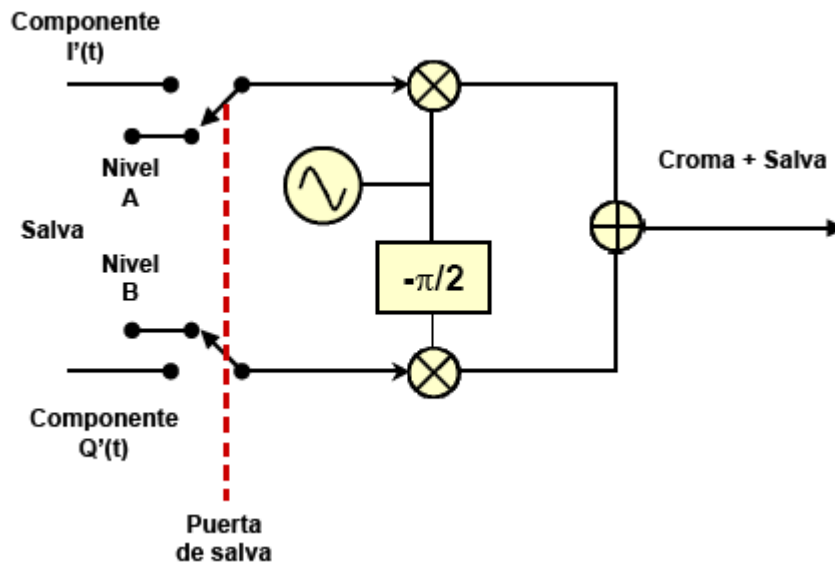


Figura No 7. Salva en codificador real

Los niveles A y B están ajustados para que la señal obtenida en la salida del modulador de croma tenga la amplitud y fase de la salva. Suponiendo que trabajamos con excursiones de señal normalizadas a 1 voltio y que la amplitud de la salva es aproximadamente de 0,3 voltios.

1.1.4 Decodificación en el sistema NTSC

La Figura No 8, representa gráficamente el proceso de decodificación utilizado en el sistema NTSC.

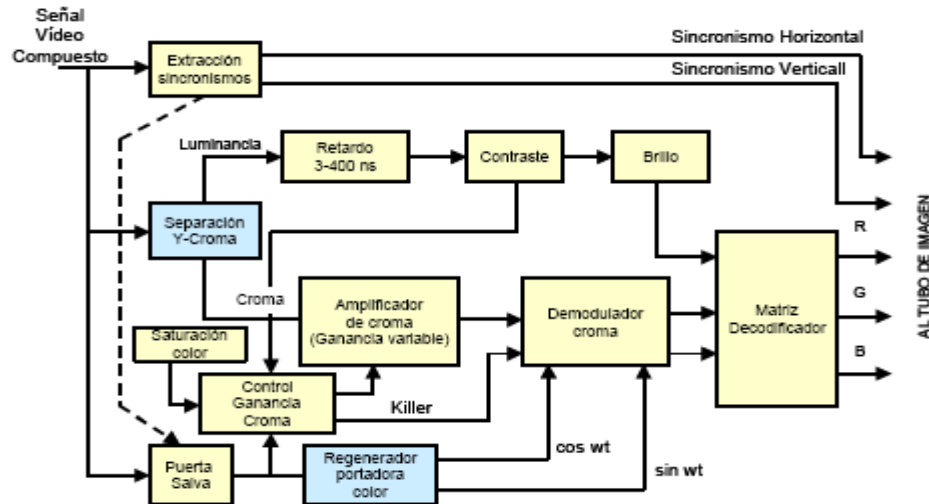


Figura No 8. Diagrama en bloques de un decodificador NTSC

La separación de los sincronismos se realiza determinando el nivel de negro de la señal recibida y aislando los impulsos de sincronismo de la información de vídeo basándonos en la polaridad de la señal.

En los receptores de color, la detección de los sincronismos proporciona una referencia sobre la posición de la señal de salva. Esta señal se utiliza como referencia de fase en el sistema regenerador de la portadora de color, cuyos detalles consideraremos más adelante.

Las componentes de luminancia y croma se discriminan mediante filtrado y se procesan en canales independientes. El ajuste de la ganancia del canal de luminancia y el nivel de continua permiten ajustar respectivamente el contraste y el brillo general de la imagen. La señal de croma debe amplificarse antes de ser aplicada al demodulador para equilibrar la ganancia con el canal de luminancia. El control de la ganancia se realiza teniendo en cuenta el nivel de amplitud de la señal de salva recibida y los valores de los controles de saturación de color y contraste a los que el usuario tenga ajustado su receptor. En este control de ganancia suele tenerse en cuenta el nivel de ruido con el que se recibe la señal de croma. De este modo, cuando la amplitud de la salva decrece, se reduce automáticamente la saturación de color en el monitor, consiguiendo que el ruido sea menos molesto para el espectador. También suele incorporarse un sistema de inhibición del canal de croma, denominado supresor de color (*Killer*), que desactiva la demodulación de las componentes de color cuando se detecta la ausencia de la salva debido a que la señal se transmite en blanco y negro (siempre que el transmisor anule la salva de color en este tipo de transmisiones).

El valor de este retardo depende, de los filtros del demodulador y oscila entre los 3 y 400 ns. Sin embargo, la demodulación de las componentes $U'(t)$ y $V'(t)$ o las originales $I'(t)$ y $Q'(t)$ sólo afectará a la propia estructura del demodulador (que deberá demodular con la referencia de fase de 33° respecto a la salva e incorporar un retardo para el canal $I'(t)$) y a la matriz de decodificación de las componentes R', G', B' . Una vez identificada la función de los distintos bloques que intervienen en el proceso de decodificación de la señal, es conveniente profundizar en los detalles de dos elementos que juegan un papel fundamental en las características del receptor: el filtro de separación de croma-luminancia y el sistema de regeneración de la portadora de color.

1.1.5 Inconvenientes del sistema NTSC

El sistema NTSC es particularmente susceptible a la denominada distorsión de fase diferencial, que consiste básicamente en que las no linealidades del canal de transmisión provocan que el retardo que experimentan las señales dependa del nivel de continua sobre el que se transmite la señal. El problema es particularmente importante, ya que supone que el retardo con el que se recibe la portadora de color depende del nivel de luminancia de la señal. Por ello, aparecen pequeños errores de fase entre la salva de color (transmitida con nivel de luminancia nulo) y la propia información de color, cuya portadora tendrá un retardo que depende del nivel de luminancia de cada parte de la escena.

Estas diferencias de fase entre la portadora real y la señal salva suponen que las componentes demoduladas no se corresponden directamente con las originales, sino que aparece un giro del vector de crominancia $U'(t)$, $V'(t)$. Por esta razón, el error de fase entre la salva de color y la portadora puede considerarse como si existiera un giro en el sistema de coordenadas en el que estamos demodulando la señal o, equivalentemente, si se supone que seguimos demodulando en el mismo sistema de coordenadas, un giro de las componentes del vector de crominancia. La magnitud y dirección del giro depende de los niveles de la señal y, aunque está relacionado con la propia imagen, en primera aproximación podemos considerarlo como aleatorio.

El giro del vector ($U'(t)$, $V'(t)$) supone, un cambio en el matiz del color demodulado que, evidentemente, distorsiona considerablemente la escena, ya que los colores representados no se corresponderán con los reales. El sistema PAL solucionó este problema del sistema NTSC introduciendo una modificación sobre la señal transmitida que intenta convertir los errores de fase del demodulador en errores de amplitud sobre el vector de croma.

1.2 Asignación de canales y frecuencias

La Tabla No 1, muestra una lista de las asignaciones de canales y frecuencias.

		RANGO (Mhz)	CANALES
VHF	BANDA 1 o BAJA	54-88	2 a 6
VHF	BANDA 2 o ALTA	174-216	7 a 13
UHF	BANDAS 4 Y 5	470-890	14 a 83

Tabla No 1. Bandas de Frecuencia

1.3 Espectro de frecuencia para un canal de televisión

La Figuras No 9 y No 10, muestran el espectro de frecuencia para un canal de radiodifusión de televisión estándar. Su ancho de banda total es de 6 Mhz. La portadora de la imagen está espaciada a 1.25 Mhz por encima del limite inferior para el canal y la portadora de sonido a 0.25 Mhz abajo del límite superior. Por tanto, las portadoras de imagen y de sonido tienen siempre 4.5 Mhz de separación. La subportadora de color está ubicada a 3-58 Mhz arriba de la portadora imagen. La banda lateral inferior es de 0.75 Mhz de ancho y la banda lateral superior de 4 Mhz. En consecuencia, las frecuencias bajas de video (un perfil general de la imagen) se enfatizan con relación a las frecuencias altas (detalles más exactos de la imagen).

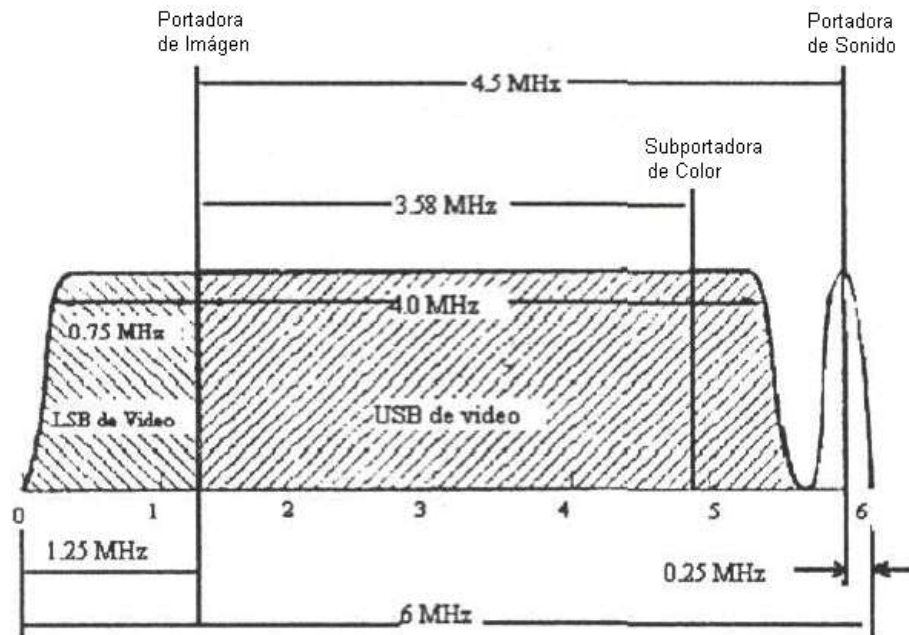


Figura No 9. Espectro de frecuencia para un canal de radiodifusión de televisión estándar.

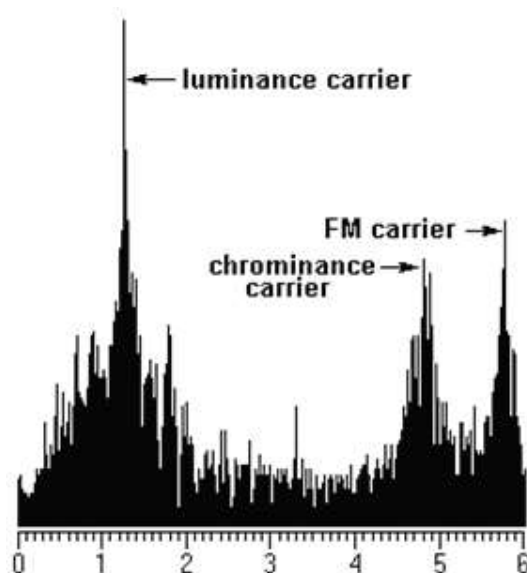


Figura No 10. Espectro real de frecuencia típico para un canal NTSC

1.4 Plan de utilización de frecuencias de Televisión

1.4.1 Parámetros técnicos generales [8]

Estaciones de difusión de TV:

Todas las estaciones de difusión de televisión deben instalar y garantizar, para el funcionamiento eficiente de su antena y de los equipos, una resistencia de puesta a tierra medible de 5 ohmios o menor.
Potencia de Transmisión:

De acuerdo a la potencia de transmisión se clasifican en:

TIPO DE TRANSMISOR	RANGO DE POTENCIA
Transmisores de muy baja potencia	< 50 Watios
Transmisores de baja potencia	> 50 W < 1KW
Transmisores de media potencia	> 1 KW, < 5 KW
Transmisores de alta potencia	> 5 KW

Altura de la estación:

Medida de acuerdo con las curvas de nivel de la topografía colombiana, referenciada sobre el nivel del mar.

Altura de la antena transmisora: Altura de la antena transmisora referenciada a la altura de la estación y a la zona de cobertura.

Potencia Isotrópica Efectiva Radiada – PIRE:

Consiste en el valor obtenido respecto a la antena Isotrópica, en la cara de la torre con mayor ganancia de las antenas; este deberá ser calculado para cada estación.

$$\text{PIRE (dB)} = \text{PER (dB)} + 2.17 \text{ (dB)}$$

Características técnicas del sistema transmisor:

Sistema	NTSC, norma M
Impedancia de salida	50 ohmios
Nivel de video de entrada	1 V pp
Impedancia de video de entrada	75 ohmios desbalanceados
Conector de entrada de video	BNC
Nivel de sonido de entrada	Entre 0dbm a + 6dbm
Ganancia diferencial	$\leq 10\%$
Fase diferencial	$\leq 3^\circ$
Subportadora de color	3.58 MHz
Relación señal/ruido	≥ 60 dB
Relación señal/ruido para equipos de muy baja Potencia	≥ 55 dB
Atenuación 2ª armónica con respecto a portadora de video	≥ 55 dB
Respuesta de frecuencias	CCIR, norma M
Estabilidad de frecuencia	± 0.2 Hz para isofrecuencias ± 1 Hz para offset de precisión
Sincronismo interno	10^{-8} seg/año
Productos de intermodulación	Mejor que -55 dB
Rango de temperatura	-10° a 40° C
Altura	De acuerdo a la ubicación de la estación. entre 0-3000 msnm
Filtros supresores tipo "SAW"	Incluir para mejorar frecuencia de operación y rendimiento
Filtros supresores tipo "NOTCH"	Incluir para impedir el paso de frecuencias que producen ruido
Corrector de retardo de grupo	Incluir para transmisores de mediana y alta potencia
Corrector de linealidad	Incluir para compensar la no linealidad de los estados del amplificador
Atenuación a espúreas con respecto a la portadora de video	≥ 60 Db
Voltaje de operación	110 VAC $\pm 10\%$ Monofásico
Frecuencia de red	60 Hz
Regulador con transformador de aislamiento	Incluir para una completa protección
Consumo de potencia y tipo de ventilación	5 W, aire forzado
Potencia señal de audio	Típicamente el 10% respecto al video
Tipo de amplificación	Clase A

Los sistemas de transmisión no deben suprimir las señales especiales en el intervalo de supresión de trama de una señal de televisión.

Los planes de Utilización de Frecuencias no contemplan las estaciones reemisoras, por lo cual las señales de entrada de los equipos de difusión deberán ser las de Audio y Video.

La Comisión Nacional de Televisión realizara la homologación de los equipos de transmisión dentro del proceso de aprobación de las estaciones.

1.4.2 Parámetros técnicos utilizados en Colombia

Niveles de servicio:

Un operador de televisión debe tener en cuenta, los valores mínimos de Intensidad de campo, en dB μ (dB referidos a un microvoltio/metro), los cuales tienen que estar presentes en el área que se desea cubrir con la señal de televisión, protegidos contra las posibles interferencias. Recomendación UIT-R BT 417-4.

Banda	I y II	III	IV	V
dB μ	+48	+55	+65	+70

CRITERIOS DE PROTECCIÓN E INTERFERENCIA

Valores de los contornos protegidos: línea continua que limita la zona de servicio primaria protegida contra interferencias objetables.

BANDA	VALOR Intensidad de Campo dB μ
I y II	48
III	55
IV	65
V	70

Valores de los contornos de Interferencia:

BANDA	OFFSET PRECISIÓN dB μ	ISOFRECUENCIA COCANAL MISMO OPERADOR dB μ	CANAL ADYACENTE dB μ
I	26	35	38
III	33	40	45
IV	43	50	55
V	48	55	60

CARACTERÍSTICAS DE ESTACIONES DE DIFUSIÓN DE TELEVISIÓN DE ALTA POTENCIA:

BANDA DE TRANSMISIÓN	RANGO DE PIRE (kW)	ALTURA MÍNIMA DE LA ESTACIÓN (METROS)	DISTANCIA MÍNIMA DE LA ESTACIÓN MAYOR A 30.000 HABITANTES(km)	ALTURA MÍNIMA DE LAS ANTENAS (METROS)	NIVEL DE SERVICIO MÍNIMO (dBuV/m)	NIVEL DE SERVICIO MÁXIMO (dBuV/m)
I y II	50 - 1000	2000	20	60	48	80
III	100 - 2000	2000	20	60	55	83
IV y V	300 - 3000	2000	20	60	65 y 70	86 y 91

CARACTERÍSTICAS DE ESTACIONES DE DIFUSIÓN DE TELEVISIÓN DE MEDIA POTENCIA:

BANDA DE TRANSMISIÓN	RANGO DE PIRE (kW)	ALTURA MÍNIMA DE LAS ANTENAS (METROS)	NIVEL DE SERVICIO MÍNIMO (dBuV/m)	NIVEL DE SERVICIO MÁXIMO SOBRE LOS CASCOS URBANOS (dBuV/m)
I y II	2 - 50	60	48	80
III	6 - 100	60	55	83
IV y V	20 - 300	60	65 y 70	86 y 91

CARACTERÍSTICAS DE ESTACIONES DE DIFUSIÓN DE TELEVISIÓN DE BAJA POTENCIA:

BANDA DE TRANSMISIÓN	RANGO DE PIRE (KW)	ALTURA MÍNIMA DE LAS ANTENAS (METROS)	NIVEL DE SERVICIO MÍNIMO (dBuV/m)	NIVEL DE SERVICIO MÁXIMO SOBRE LOS CASCOS URBANOS (dBuV/m)
I y II	0.07 - 2	24	48	80
III	0.1 - 6	24	55	83
IV y V	0.14 - 20	24	65 y 70	86 y 91

CARACTERÍSTICAS DE ESTACIONES DE DIFUSIÓN DE TELEVISIÓN DE MUY BAJA POTENCIA:

BANDA DE TRANSMISIÓN	RANGO DE PIRE (KW)	ALTURA MÍNIMA DE LAS ANTENAS (METROS)	NIVEL DE SERVICIO MÍNIMO (dBuV/m)	NIVEL DE SERVICIO MÁXIMO (dBuV/m)
I y II	< 0.07	18	48	80
III	< 0.1	18	55	83
IV y V	< 0.14	18	65 y 70	86 y 91

2. ESTANDARES DE TELEVISION DIGITAL

2.1 Estándar ATSC

2.1.1. Antecedentes generales

En 1987, la *Federal Communications Commission* de los Estados Unidos de Norteamérica (FCC), estableció el *Advisory Committee on Advanced Television Service* (ACATS), para aconsejar a la FCC sobre cuestiones técnicas de televisión avanzada. Este comité trabajó estrechamente con el *Advanced Television Systems Committee* (ATSC), organización privada creada en 1982 para coordinar el desarrollo y definir el estándar de televisión digital que adoptaría Estados Unidos. El estándar fue desarrollado por un consorcio de empresas que lleva el nombre de *Grand Alliance*, y fue adoptado por ATSC el 16 de Septiembre de 1995 bajo la sigla A/53, el estándar representa el resultado de muchos años de diseño, análisis pruebas y evaluaciones por parte de muchos expertos de la industria y del gobierno . El nuevo estándar fue ratificado por el ACATS el 28 de noviembre de 1995 [9].

El estándar ATSC describe los subsistemas requeridos para el origen, la codificación, el transporte y la transmisión de video, audio y datos con una tasa de transferencia neta de 19,4 Mbps a través de un canal convencional de 6 MHz de ancho de banda.

Una transmisión ATSC puede llevar desde una señal única de televisión de alta definición (HDTV), hasta 4 programas diferentes con definición normal (SDTV). De igual forma, es posible incluir datos adicionales en la transmisión, como canales adicionales de audio, servicios especiales para personas con discapacidades visuales o auditivas, o canales de comentarios [10].

Una de las grandes ventajas que posee la implantación del sistema digital frente al analógico es la posibilidad de crear redes de frecuencia única (SFN: *Single Frequency Networks*) consiguiendo por tanto una mejor aprovechamiento del espectro, menor potencia de transmisión debido a la ganancia interna, alta probabilidad de localización, facilidad de rellenar zonas vacías con reutilización de frecuencias.

En la actualidad ATSC tiene definido un formato para transmisiones mediante redes de frecuencia única [11], aunque dicho formato no garantiza la optimización del funcionamiento de estas redes, también tiene en cuenta la prestación de servicios interactivos y control de acceso para contenidos de valor agregado.

2.1.2. El Sistema ATSC

En la Figura No 11 [12], se muestra el diagrama en bloques del sistema. Acorde a éste modelo, el sistema de televisión digital se compone de tres subsistemas.

- Codificación y Compresión de Fuentes (video, audio, datos).
- Múltiplex y transporte de los servicios.
- Transmisión de radiofrecuencia (RF).

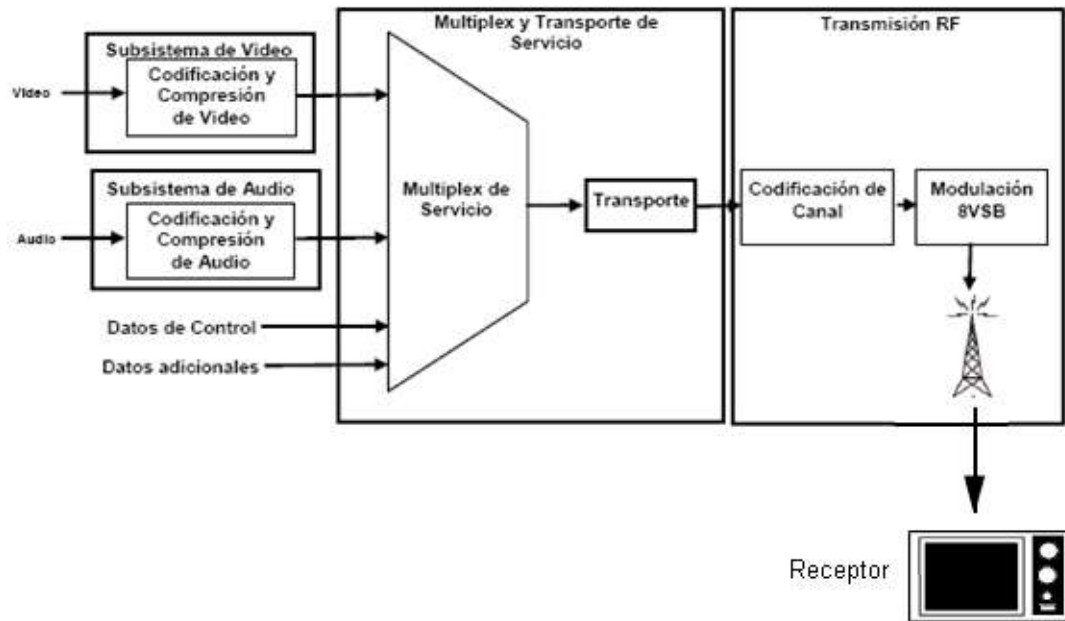


Figura No 11. Sistema ATSC

El subsistema de Codificación y Compresión de Fuentes se refiere a los métodos de reducción de tasa de bits; éste bloque comprime los flujos de audio y video con el objetivo de minimizar la cantidad de bits necesarios para representar la información correspondiente. Para la compresión y codificación de los flujos de video el sistema ATSC utiliza el estándar MPEG⁸-2, mientras que para la compresión de audio digital se utiliza la norma de compresión digital de audio AC-3⁹ [13-15].

El subsistema Múltiplex y Transporte de Servicios [16], fragmenta el flujo continuo de datos en paquetes de información, inserta marcas de identificación únicas a cada paquete, y multiplexa los flujos de paquetes de video, audio y datos anexos para formar un único flujo de transporte. Los datos anexos incluyen datos para el control de la transmisión, control de acceso, e información sobre la configuración de los servicios de audio y video, tales como subtítulo. El sistema de transporte de ATSC utiliza el mismo sistema de multiplexación y transporte definido por el estándar MPEG-2, el cual tiene compatibilidad con el formato de transporte de otros medios digitales, como la radiodifusión terrestre de audio digital, sistemas de televisión digital por cable y satelital, medios de almacenamiento digital e interfaces computacionales. Además MPEG-2 también fue diseñado para facilitar la interoperabilidad con los mecanismos de transporte de ATM. Sin embargo, ATSC contempla el uso de MPEG-4, en sus diferentes modalidades, para nuevos servicios que no perjudiquen al televidente con receptores existentes.

Por último, el subsistema de Transmisión de RF¹⁰ [17], adiciona codificación de canal y realiza la modulación del flujo de transporte para su posterior radiodifusión. El propósito de la codificación de canal es agregar información redundante al flujo de datos, con el fin de que luego el receptor utilice dicha información para detectar y corregir errores causados por el canal inalámbrico e interferencias. El sistema de modulación o capa física utiliza la información de flujo de datos para modular la señal transmitida. El

⁸ Estándares desarrollados por el ISO/IEC JTC1/SC29 WG11, Moving Picture Experts Group

⁹ Audio Coding 3, conocido también como Dolby Digital

¹⁰ Sistema de transmisión inalámbrico por radiofrecuencia

subsistema de modulación usa la modalidad 8 VSB¹¹ para transmisiones terrestres, este subsistema es de portadora única, y se utiliza porque ATSC fue creado para asistir al radiodifusor con emisoras de un solo canal, por lo que maximizar la carga útil y la cobertura sigue siendo uno de los objetivos centrales.

2.1.3. Fuentes de Información

2.1.3.1. Características del Video

Existen tres tipos básicos de resolución de pantalla que pueden utilizarse con el estándar ATSC. El nivel más sencillo incluye los formatos básicos y extendidos de las normas de TV analógicas NTSC¹² y PAL2, con 480 y 576 líneas visibles, respectivamente (Figura No 12), y hasta 720 *pixeles* por línea. Luego, el nivel medio incluye imágenes de resolución media con 720 líneas de resolución y 960 *pixeles* por línea (razón de aspecto 4:3 tradicional) y 1280 *pixeles* por línea (razón de aspecto 16:9 en pantalla extendida). El nivel de mayor resolución tiene 1080 líneas, y 1440 y 1920 *pixeles* por línea para razones de aspecto 4:3 y 16:9, respectivamente. La Figura No 12 muestra las relaciones de tamaño comparativas [18].

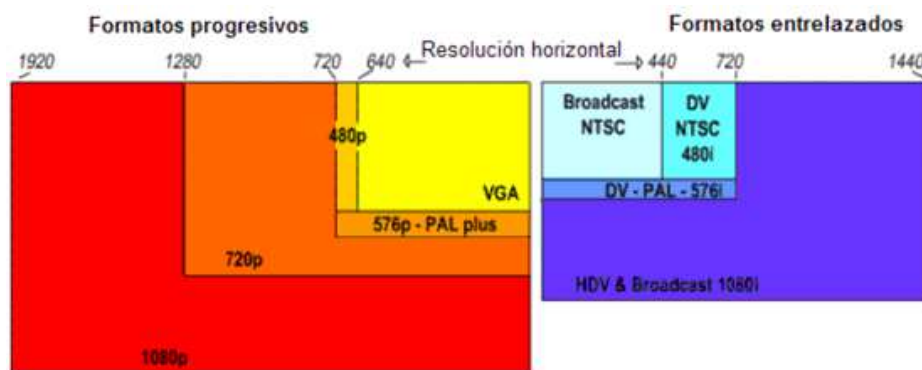


Figura No 12. Comparación entre resoluciones de video especificados por ATSC.

Las imágenes correspondientes a una pantalla completa pueden formarse mediante dos modos de barrido, el entrelazado y el progresivo. Los formatos posibles según tipo de barrido están resumidos en la Tabla No 2, donde P indica barrido progresivo e I indica barrido entrelazado¹³. [19].

Líneas Verticales	Pixeles por Línea	Razón de Aspecto	Frecuencia de Tramas
1080	1920, 1440	16:9, 4:3	60I, 30P, 24P
720	1280, 960	16:9, 4:3	60P, 30P, 24P
576	720	16:9, 4:3	25I, 25P (no en USA)
480	720	16:9, 4:3	60P, 60I, 30P, 24P
480	640	4:3	60P, 60I, 30P, 24P

Tabla No 2. Resoluciones de pantalla especificadas por ATSC

¹¹ Vestigial Sideband Modulation con 8 niveles discretos de amplitud

¹² National Television Systems Committee, estándar para transmisión analógica utilizado en Colombia.

¹³ Una trama es un campo de imagen constituido por un cierto número de líneas de barrido. En los sistemas de barrido entrelazado (I), se necesitan dos tramas (una con las líneas pares, la otra con las impares) para definir un cuadro o imagen completa. En los sistemas de barrido progresivo (P), la trama contiene toda la información de un cuadro. La televisión analógica utiliza barrido entrelazado.

Debe destacarse que el estándar ATSC fue diseñado desde el principio con las opciones necesarias para ser implementado tanto dentro de los Estados Unidos como fuera de ellos, por lo tanto, ATSC tiene la capacidad de trabajar correctamente en situaciones en que la frecuencia de barrido sea tanto 25 cuadros por segundo (PAL) como 30 cuadros por segundo (NTSC).

2.1.3.2. Características del Sistema de Audio

En el sistema ATSC la compresión y codificación de audio se basa en el estándar de compresión digital de audio AC-3 [20], este es el estándar de compresión de audio propiedad de los laboratorios Dolby, quienes en la actualidad lo utilizan para su sistema *Surround Sound*¹⁴, compatible con muchas aplicaciones de audio/video (DVD, DTS, DTX, etc.).

El sistema de audio está diseñado para transportar hasta seis señales de audio de alta calidad para su utilización en sistemas de tipo *Home Theater* (denominadas señales "5.1"). Los seis canales de audio son: *Left* (L), *Center* (C), *Right* (R), *Left Surround* (LS), *Right Surround* (RS) y *Low Frequency Emphasis* (LFE). El audio de cada canal está limitado a un ancho de banda de 20 KHz, con excepción del canal LFE, el que está limitado a 120 Hz. También es posible enviar otras combinaciones de señales de audio, siempre que no se exceda la tasa máxima total de 448 Kbps.

La compresión AC-3 de una o varias fuentes de audio digital o flujos elementales (desde 2 en un programa con sonido estéreo hasta 6 en un programa con sonido 5.1), representa un servicio de audio. Múltiples servicios de audio pueden ser multiplexados en un flujo de transporte MPEG-2, siendo clasificados en principal¹⁵ y asociados¹⁶. El servicio principal de audio, o un servicio asociado completo, debe ser codificado a una tasa de datos no superior a 448 Kbps, y la tasa final de una combinación de un servicio principal y uno asociado no debe exceder lo 576 Kbps.

2.1.3.3. Subsistema de Múltiplex de Transporte

El subsistema de transporte (Figura No. 11) usa como entradas los flujos de video, audio y datos, codificados y comprimidos de acuerdo al estándar MPEG-2 (ISO/IEC 13818-1) [21-23] y los empaqueta y multiplexa de acuerdo al sistema definido en el mismo estándar MPEG-2, con las restricciones y extensiones señaladas en la parte 6 del estándar A/53 [24].

El subsistema de transporte divide los flujos elementales de video, audio y datos en unidades más pequeñas y las multiplexa en paquetes de transporte de 188 bytes, cuyo primer byte es insertado para sincronismo. El receptor se encarga de recuperar esos flujos elementales para entregarlos a los decodificadores correspondientes, junto con la señalización de errores. El subsistema de transporte también incorpora la función que permite la sincronización del receptor.

2.1.4. Características del Sistema de Codificación y Modulación

El sistema de codificación de canal y modulación de ATSC¹⁷, constituye la característica más propia de éste estándar.

¹⁴ Sistema que utiliza múltiples canales de audio para provocar efectos envolventes a la audiencia

¹⁵ Audio completo asociado a una señal de video, incluyendo diálogo, música, efectos especiales, etc.

¹⁶ Servicios especiales como para gente con discapacidades visuales o auditivas, señales de emergencia, etc.

¹⁷ Bloque "Transmisión de RF" en la Figura No 11

2.1.4.1. Codificación de Canal

La Figura No 13, muestra el diagrama del proceso de codificación y modulación. El sistema es alimentado con el flujo de transporte empaquetado según el proceso descrito anteriormente. Los datos son primero aleatorizados y luego procesados para proporcionar la capacidad de corrección de errores mediante un código de bloques *Reed-Solomon* (RS), seguido por un entrelazador y un codificador *Trellis* (TCM).

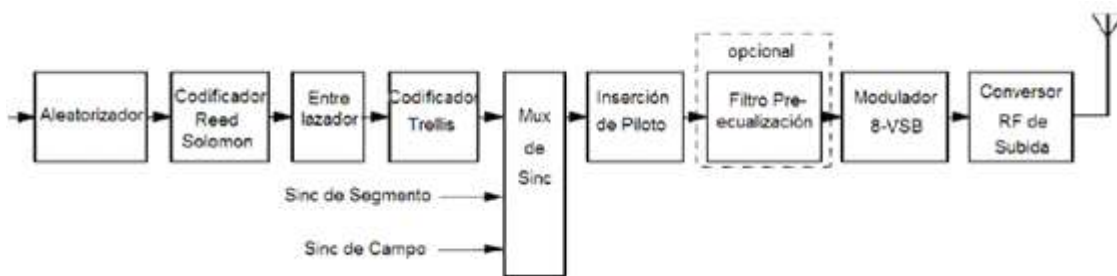


Figura No 13. Diagrama funcional del sistema de codificación de canal y modulación de ATSC.

A continuación se describe cada bloque de proceso de codificación de canal.

Aleatorizador: La aleatorización uniformiza la distribución de energía de la señal MPEG-2 en el espectro y contribuye a que el espectro de la transmisión tenga las propiedades adecuadas (se comporta como una señal de ruido blanco). La aleatorización de los bits que componen un flujo de transporte se logra mediante multiplicación por una secuencia binaria pseudo aleatoria de orden 16 ($PRBS^{18-16}$).

Codificador *Reed Solomon*: Los bits aleatorizados son procesados para brindar una capacidad de corrección de errores mediante un código de bloques *Reed-Solomon* (RS) (específicamente el código RS (207, 187, $t = 10$)). Este código es capaz de corregir hasta 10 bytes con errores entre cada grupo de 207.

Entrelazador: Este dispositivo proporciona protección contra ruido a la señal cuando hay errores de ráfaga¹⁹. El entrelazador de bytes empleado es convolucional de longitud 52 y sólo se entrelazan los bytes de datos (incluyendo los bytes de redundancia insertados por RS).

Codificador *Trellis*: La función de este codificador es dar una segunda capa de protección de errores. Se usa un codificador *Trellis* (TCM) de tasa 2/3, el que inserta un bit de redundancia por cada 2 bits de datos. Cada grupo de 3 bits resultantes definen uno de 8 símbolos de la modulación de amplitud de pulso (8-PAM) utilizada luego en el modulador.

Multiplexor de Sincronismo: En éste bloque se insertan símbolos piloto necesarios en el receptor para recuperar y mantener el sincronismo de los datos.

2.1.4.2. Modulación 8-VSB

La salida multiplexada se agrupa en grupos de tres bits y cada grupo se representa por una amplitud (PAM) para generar un símbolo de 3 bits que se transmite en el tiempo con la información.

¹⁸ Pseudo Random Binary Sequence

¹⁹ Un error de ráfaga afecta a una serie de bits consecutivos, mientras que los errores aleatorios afectan a bits individuales en posiciones de la secuencia del mensaje.

En el sistema ATSC, la modulación utilizada es una Modulación de Amplitud de Pulsos de 8 niveles (8-PAM) en banda base, trasladada a radiofrecuencia mediante un modulador analógico de Banda Lateral Doble Portadora Suprimida, seguido de un filtro que elimina la banda lateral inferior y de un circuito que inserta una portadora. A éste método de modulación se le llama *Vestigial²⁰ Sideband Modulation (VSB)* y se asemeja a la técnica de modulación que se utiliza para transmisión de televisión analógica desde sus comienzos. VSB es en gran medida una modulación de Banda Lateral Unica (BLU), pero se diferencia de ésta por la forma en que es generada. En BLU una de las Bandas Laterales es cancelada completamente mediante circuitos o filtros bastantes complejos, mientras que en VSB la Banda Lateral Inferior (BLI) es filtrada mediante filtros más sencillos. Debido a que todo filtro real no tiene una transición abrupta, la señal filtrada inevitablemente presenta residuos de la BLI.

Al insertar una portadora se simplifican las tareas de sincronización y demodulación en el lado receptor. En la práctica, la portadora es insertada en banda base agregando un valor de continua a la modulación 8-PAM, antes del traslado a radiofrecuencia realizado con el modulador de Banda Lateral Doble Portadora Suprimida tradicional.

A continuación se describe el proceso de modulación para completar con todos los bloques de la Figura No. 13.

Inserción de Piloto: El tono piloto (portadora) se inserta en banda base agregando a la modulación 8-PAM un *offset²¹* que causa que su valor medio no sea cero. La potencia del piloto es pequeña y está 11,3 dB por debajo de la potencia promedio de la señal.

Filtro de Pre-ecualización: Este bloque no es obligatorio pero depende de la implementación específica de cada receptor, es decir, se requiere de una función de ecualización en el receptor. Para esto, cada segmento de sincronismo de campo de datos transmitido contiene una secuencia de entrenamiento, la cual puede ser utilizada por el ecualizador del receptor.

Modulación 8-VSB: La señal 8-PAM con *offset*, primero es trasladada a una frecuencia intermedia mediante modulación de Banda Lateral Doble Portadora Suprimida y luego filtrada con un filtro de *Nyquist*. El filtro especificado tiene factor de *roll-off* 11,52%, lo cual divide la banda de 6 MHz en una porción activa de 5,38 MHz y dos bandas de guarda de 310 KHz (una en cada extremo de la banda).

2.1.4.3. Tasa de Datos

El filtro de *Nyquist* con factor de *roll-off* 11,52%, implica que la tasa de baudios de ATSC es $2 * 5,38 = 10,76$ Mbps. Debido a que la modulación utilizada en ATSC es 8-PAM, la tasa de bits observada en el canal es $3 * 10,76 = 32,29$ Mbps. Si se considera la pérdida de tasa de bits causada por los codificadores RS y TCM (factores 188/208 y 2/3 respectivamente) y los campos de sincronismo (312/313), se obtiene la tasa de datos neta de ATSC correspondiente a 19,39 Mbps.

2.1.4.4. Características Espectrales

El filtro de *Nyquist* usado para eliminar la banda lateral inferior en la modulación VSB define a la vez implícitamente la máscara espectral de ATSC, la que en teoría no contiene radiación fuera de banda. La Figura No 14 presenta un esquema de las características espectrales de la modulación. Destacan la portadora y las bandas de transición del filtro de *Nyquist*.

²⁰ Se llama Vestigial porque después del filtro queda un residuo.

²¹ Valor de continua.

al de la Interferencia de Co-Canal (ICC) en la celda deseada. La consecuencia es una pérdida de eficiencia espectral (menor tasa de datos), o la degradación de la calidad de la imagen y audio recibidos, pudiendo llegar a límites de calidad inaceptable.

El sistema ATSC hasta antes de Julio de 2005 no podía trabajar con redes de frecuencia única, pero la nueva versión A-VSB, especificada en el estándar A/110 [25], y el documento de prácticas recomendadas A/111 [26], permiten hoy en día su operación en RFU aunque no ha sido probado suficientemente hasta la fecha. Actualmente los nuevos equipos tienen la capacidad de operar en redes RFU.

Los documentos mencionados del estándar ATSC, presentan dos formas de sistemas de transmisión que pueden ser usados en redes con múltiples transmisores (ya sea conformando redes de frecuencia única o de frecuencias múltiples):

a) *Repetidores digitales en la misma frecuencia (DOCR)*²³. Estos repetidores corresponden a equipos que reciben la misma señal que los receptores domésticos, y la retransmiten en la misma frecuencia con o sin procesamiento, dependiendo del tipo de repetidor. El documento de prácticas recomendadas A/111 considera el uso de estos equipos, principalmente para ampliar la zona de cobertura, iluminar zonas oscuras y cubrir áreas pequeñas. Es un sistema de bajo costo, aunque no permite la operación en RFU.

b) *Transmisión Distribuida (DT)*. En este ítem existen dos esquemas que pueden ser utilizados.

- **Transmisores distribuidos:** Reciben la señal a través de una red de bajo retardo (fibra óptica o bien cable coaxial) y la retransmiten al aire, todos en la misma frecuencia. En el caso de redes de frecuencia única, estos transmisores operan de manera sincronizada, de tal forma que emiten señales idénticas simultáneamente. Esto implica la necesidad de sincronizar los transmisores, incluyendo el uso de retardos para ajustar el tiempo de la transmisión. La información de sincronización temporal se incluye en el flujo de transporte, lo que reduce un poco la tasa de datos de 19,39 Mbps y degrada el comportamiento de la transmisión frente al ruido blanco Gaussiano en algunos decibeles.
- **Traductores distribuidos:** Operan en forma similar a los repetidores, pero retransmitiendo en una frecuencia distinta. Permiten la formación de redes multifrecuencia, y requieren al menos de dos frecuencias disponibles.

Para sincronizar los flujos de datos y todos los procesos incluidos en la codificación, el estándar ATSC plantea la inserción en el flujo de transporte de una palabra de cadencia cada determinado tiempo, así como la inserción de paquetes de transmisión distribuida, estos últimos a una tasa de no más de un paquete cada 312 paquetes del flujo de transporte. Esta información, en conjunto con las referencias de tiempo locales (provenientes, por ejemplo, de GPS) es utilizada por cada uno de los transmisores de la red para temporizar sus transmisiones adecuadamente. En el lado de la recepción, para operar en redes de frecuencia única con estándar ATSC, los receptores necesitan de ecualizadores capaces de procesar las señales provenientes de distintos transmisores en las zonas de traslape de transmisiones (que aparentan ser ecos), y de combinar estas múltiples señales en una sola.

2.2. Estándar DVB

2.2.1. Antecedentes Generales

Durante los años 90 el *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI) estableció el estándar de televisión *Digital Video Broadcasting* (DVB); que consiste de un conjunto de cerca de 30

²³ Digital On Channel Repeaters

especificaciones y documentos técnicos que cubren las temáticas relacionadas con la distribución digital de video.

El estándar DVB fue diseñado para transmitir información codificada de audio y video de acuerdo a una versión especializada del estándar de codificación de audio y video MPEG-2 [27-29]. DVB contiene especificaciones para distribución de video digital por diversos medios, incluyendo satélite (DVB-S), cable (DVB-C), terrestre (DVB-T) y microondas (DVB-MS y DVB-MC²⁴). Recientemente se incorporó la especificación para distribución terrestre de contenido a terminales portátiles (DVB-H).

2.2.2. El Sistema DVB-T

El estándar DVB-T, especifica las propiedades de la capa física para la transmisión terrestre de video y audio digital. El sistema es muy similar al ATSC, como se describe en la Figura No 15.

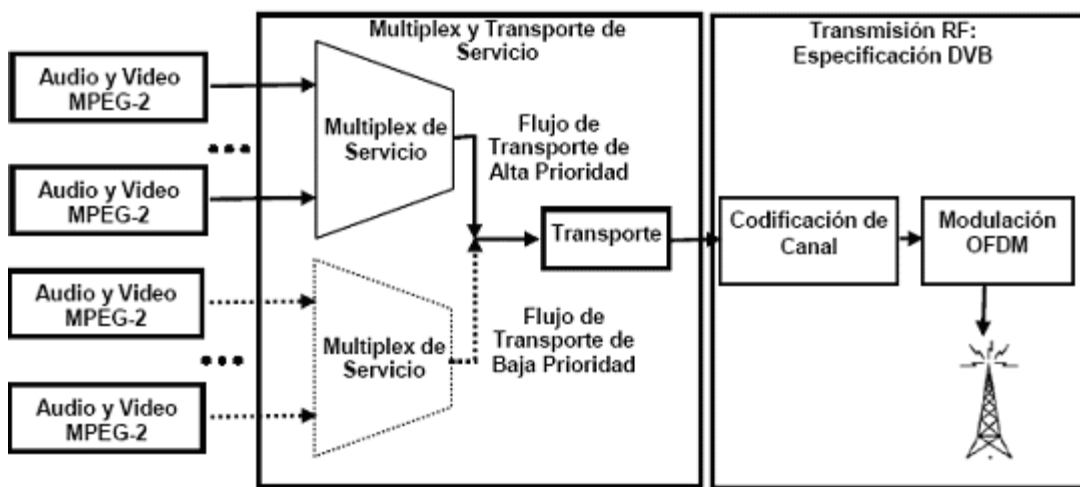


Figura No 15. Diagrama general del sistema DVB-T

Inicialmente, las señales de video y audio se comprimen y codifican según la norma MPEG-2, con una sintaxis especializada por ETSI para DVB [30] [31]. Esta sintaxis asegura que el sistema DVB tenga compatibilidad con medios de almacenamiento de contenido existentes y futuros²⁵. Para esto se necesita que los flujos de datos de DVB cumplan ciertas condiciones, como por ejemplo, tasas de datos máximas para señales de audio y video.

Para compartir el canal y distribuir programación múltiple simultáneamente, varios programas (video audio y datos) codificados y comprimidos con MPEG-2 pueden ser multiplexados en un único flujo de transporte MPEG-2. Este proceso prácticamente es equivalente al que se realiza en los subsistemas de “Codificación y compresión de fuentes” y “Múltiplex y transporte de los servicios” del estándar ATSC, a excepción del estándar utilizado para la codificación de fuente de audio. En ATSC, la codificación de audio se utiliza AC-3, mientras que la transmisión de audio del estándar DVB utiliza las recomendaciones del formato MPEG-2 para estéreo y sonido envolvente. Sin embargo, el estándar DVB permite la operación con formatos AC-3 o DTS para sonido envolvente.

²⁴ DVB-MS especifica el sistema de distribución de DVB por microondas para frecuencias superiores a 10 GHz. Puesto que está fuertemente basado en el estándar para distribución satelital (DVB-S), ha recibido el acrónimo DVB-MS. Similarmente, DVB-MC es la especificación para distribución de DVB por microondas en frecuencias inferiores a 10 GHz, y está basado en la norma de distribución por cable, DVB-C.

²⁵ Algunos ejemplos son DVD, DVC, D-VHS, etc.

El sistema DVB-T permite transmisiones jerárquicas. Esto quiere decir que hay dos flujos de transporte, uno de ellos denominado flujo de alta prioridad (AP) que tiene baja velocidad y por lo tanto menor calidad de imagen, modula las portadoras con un esquema de modulación muy robusto frente al ruido (QPSK) mientras que el segundo flujo de transporte, denominado flujo de baja prioridad (BP), complementa al anterior (el AP) en cuanto a velocidad y calidad de imagen y combina su información con el anterior de forma que las portadoras son moduladas finalmente con un esquema mas exigente en cuanto a relación señal a ruido. Sin embargo, cabe destacar que el receptor puede escoger libremente entre los flujos AP y BP y que ambos flujos de transporte pueden perfectamente ser utilizados para transmitir programación completamente distinta.

La característica más relevante del sistema DVB es la Transmisión RF (Figura No 15). En el bloque de Codificación de Canal, la señal se procesa con el fin de proteger los flujos de transporte de los efectos de las diversas fuentes de ruido e interferencias que degradan las transmisiones. Las normas DVB-S, DVB-C y DVB-T utilizan el mismo sistema de codificación [32], esto permite aprovechar economías de escala²⁶ en el desarrollo de equipos, y así llegar al consumidor con productos menos costosos.

Las señales de radiofrecuencia transmitidas son generadas en el módulo de Modulación OFDM²⁷ a partir de los datos digitales entregados por el codificador de canal. En DVB-T se utiliza modulación OFDM con modulación QAM²⁸ de las sub-portadoras.

2.2.3. Fuentes de Información

2.2.3.1. Características del Video

El sistema DVB soporta diferentes resoluciones de pantalla y tasas de trama. Los formatos se indican a continuación en la Tabla No 3, según resolución, forma de barrido (progresivo (P) o entrelazado (I)) y tasa de cuadros por segundo. Las resoluciones indicadas operan con anchos de banda de transmisión de 6, 7 y 8 MHz.

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, 640, 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)

Tabla No 3. Resoluciones de pantalla especificadas por DVB

²⁶ Proceso mediante el cual los costos unitarios de producción disminuyen al aumentar la cantidad de unidades producidas

²⁷ La modulación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), es un sistema que utiliza un número considerable de portadoras (ortogonales entre ellas) y en que cada portadora transporta una parte pequeña del total de la información a transmitir. En la práctica, todo el proceso de modulación se hace en forma digital, utilizando métodos basados en la Transformada Rápida de Fourier (FFT)

²⁸ Quadrature Amplitude Modulation: Modulación digital avanzada que transporta datos cambiando la amplitud de dos ondas portadoras. Estas dos ondas, generalmente sinusoidales, están desfasadas entre si 90° en la cual una onda es la portadora y la otra la señal de datos.

2.2.3.2. Características del Audio

El sistema de audio utilizado es el estándar MPEG-2. Sin embargo, DVB tiene la posibilidad de utilizar formatos AC-3 o DTS²⁹. El sistema permite transportar hasta seis señales de audio, es decir, sonido envolvente (*surround sound*), a tasas de hasta 384 Kbps.

2.2.4. Características del Sistema de Codificación y Modulación

El sistema de transmisión del estándar DVB utiliza modulación (OFDM) codificada para la interfaz aérea, pudiendo ser usados anchos de banda de 6, 7 y 8 MHz, así como 5 MHz con algunas limitaciones.

2.2.4.1. Descripción de la Codificación de Canal

El sistema de codificación de DVB-T fue diseñado en gran medida para manejar la Interferencia Cocanal³⁰ e Interferencia de Canal Adyacente³¹ producidas por transmisiones tanto analógicas como digitales. Este sistema presenta un alto grado de protección, el cual es logrado mediante una concatenación de códigos, inicialmente un código *Reed-Solomon* (RS), luego un código Convolutivo (Conv), y finalmente entrelazadores, según se describe a en la Figura No 16.

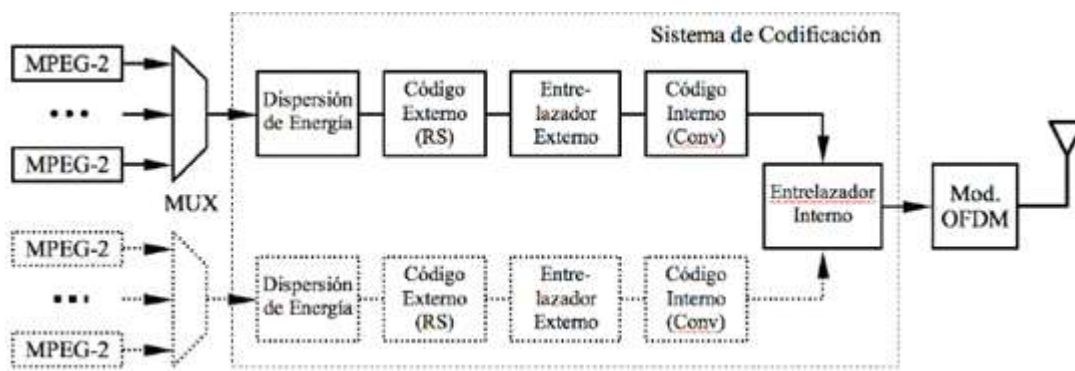


Figura No 16. Sistema de codificación de canal de DVB-T

Los datos de entrada de cada uno de los flujos de transporte (alta y baja prioridad) son procesados del mismo modo.

Dispersión de Energía: Los datos son aleatorizados mediante multiplicación por una secuencia binaria seudo aleatoria de orden 15 (PRBS-15). El propósito de esta operación es evitar largas series de ceros o de unos que la secuencia de datos de la fuente pueda tener. Por ejemplo, varios cuadros sucesivos de una imagen negra podrían, según como haya sido hecha la codificación MPEG-2, generar un flujo de transporte en el que una gran mayoría de bits consecutivos sean ya sea ceros o unos. Puesto que el resto de la cadena de codificación y modulación es determinística, ello finalmente se traduciría en una transmisión con características espectrales desbalanceadas, aumentando la interferencia de canal adyacente.

²⁹ Digital Theater System, es un sistema digital de codificación de sonido que permite la existencia de 6 canales independientes de audio en una sola señal comprimida.

³⁰ La Interferencia Cocanal es aquella producida por otras estaciones transmitiendo en la misma frecuencia (o canal) en otra ubicación geográfica.

³¹ La Interferencia de Canal Adyacente es aquella producida por otras estaciones transmitiendo en canales de frecuencia adyacentes en la misma ubicación geográfica

Código Externo (Reed-Solomon): Para lograr la corrección de errores (FEC) en la recepción, se introduce una cierta redundancia en la estructura de los paquetes de transporte, procedimiento que se conoce como codificación. Esto se hace mediante un código *Reed-Solomon* acortado (204, 188, $t = 8$). El código se aplica por bloques a grupos de 188 bytes, compuestos por 1 byte de sincronización MPEG-2 y 187 bytes de cada paquete MPEG-2, resultando palabras codificadas de 204 bytes. Este código es capaz de corregir hasta 8 bytes erróneos ocurridos en cada grupo de 204.

Entrelazador Externo: En seguida se aplica un proceso de entrelazado convolucional por bloques (se entrelaza internamente el contenido de cada grupo de 204 bytes).

Código Interno (Convolucional): Después de la codificación y entrelazado externos, los datos se someten a un nuevo proceso de codificación y entrelazado, denominados internos. La codificación interna se hace mediante código convolucional punzado. El código es de restricción $K=6$ (64 estados) y puede operar a tasas $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{6}$ y $\frac{7}{8}$, dando así flexibilidad entre tasa de datos y el nivel de protección que se desea. La tasa $\frac{7}{8}$ 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 contienen información, pero la cobertura es reducida, puesto que se requiere una señal fuerte (alta relación señal a ruido) para lograr la decodificación sin errores. En el otro extremo, la tasa $\frac{1}{2}$ entrega el máximo grado de protección a los datos. Esto permite decodificar la señal a mayores distancias, donde la razón señal a ruido es débil, pero esto sacrifica la tasa de datos puesto que por cada 8 bits transmitidos únicamente 4 contienen información.

Entrelazador Interno: En transmisiones no jerárquicas, solamente existe el flujo de transporte superior (Figura No 16, bloques con líneas sólidas). En tal caso, los bits del flujo de transporte son agrupados en símbolos de 2, 4 o 6 bits/símbolo (según el tamaño de la constelación QAM usada en la modulación OFDM, 4-QAM, 16-QAM o 64-QAM). El entrelazado es realizado entre bits correlativos de 126 símbolos consecutivos. Luego los símbolos resultantes son entrelazados entre ellos para dispersar su ubicación en las sub-portadoras del modulador OFDM.

En transmisiones jerárquicas, el entrelazado opera en forma similar, excepto que los símbolos son formados por grupos de 2 bits del flujo AP y 2 bits del flujo BP (caso 16-QAM-jerárquico), o bien 2 bits del flujo de AP y 4 bits del flujo BP (caso 64-QAM jerárquico).

Puesto que el receptor puede escoger libremente entre los flujos AP y BP, basta que éste cuente con un solo juego de decodificadores interno/externo y entrelazadores interno/externo para decodificar la señal deseada (a diferencia del transmisor, que requiere de ambos flujos para combinar las señales jerárquicamente). La desventaja de contar con estos componentes en el receptor es que cambiar de un flujo al otro requiere congelar la señal de video por aproximadamente 0,5 segundos, y la de audio por aproximadamente 0,2 segundos, mientras se reinicializa la cadena de codificación.

2.2.4.2. Modulación OFDM

El principio de la modulación OFDM consiste en distribuir el flujo binario de información entre un gran número de portadoras de forma que cada una maneje una velocidad de datos reducida con respecto a la del flujo total. En consecuencia, la duración de los símbolos aumenta respecto al caso de cuando se modula una sola portadora, haciendo de esta forma a la señal muy robusta frente a interferencias por trayectos múltiples ya que el retardo de estos resulta ser muy pequeño comparado con la duración citada.

Por otra parte, la separación en frecuencia entre las portadoras se hace igual al inverso de la duración de los símbolos, con lo que la posición de las portadoras en el espectro de frecuencias coincide con los nulos del espectro de las portadoras adyacentes. En estas condiciones se consigue mínima interferencia intersimbólica.

Sub-Portadoras: Se consideran tres modos de operación según el número de sub-portadoras en las cuales se subdivide la banda de transmisión. Se tiene el modo “2k” con 2048 sub-portadoras, el modo “4k” con 4096 sub-portadoras, y el modo “8k” con 8192 sub-portadoras. El modo 4k fue añadido en 2004 para otorgar mayor flexibilidad de transmisiones a terminales móviles pero también puede ser utilizado para transmisiones DVB-T.

En la práctica sólo se modulan 1705 sub-portadoras en el modo 2k, 3409 en el modo 4k, y 6817 en el modo 8k (incluye sub-portadoras con tonos piloto y parámetros de transmisión), debido a limitaciones de los circuitos de radiofrecuencia. Entre las sub-portadoras moduladas, la cantidad de sub-portadoras destinadas a portar datos de video son 1512, 3024 y 6048 respectivamente, mientras que las demás son utilizadas para transmitir parámetros de codificación, modulación y tonos pilotos necesarios para sincronización y estimación del canal.

El modo de sub-portadoras utilizado no tiene incidencia sobre la tasa de datos. En efecto, dado el ancho de banda de la transmisión, la duración de los símbolos OFDM en el modo 8k es el doble que los símbolos en el modo 4k, los que a su vez duran el doble que en el modo 2k. Así, cuatro símbolos OFDM en el modo 2k requieren del mismo tiempo de transmisión y portan igual cantidad de información que un símbolo 8k.

La desventaja de usar el modo 2k es que está limitado a canales 4 veces menos dispersivos que el modo 8k, lo que se traduce en celdas cuyo radio de cobertura es 4 veces menor que para el caso 8k, y por lo tanto, su área de cobertura es 16 veces menor. Esto implica un elevado costo de implementación. El modo 4k fue introducido como un compromiso intermedio entre costo y movilidad.

Ancho de Banda de Transmisión: El ancho de banda de transmisión depende básicamente del ajuste de frecuencia del reloj (*clock*) de los circuitos que implementa la cadena de codificación de canal y modulación OFDM en transmisores y receptores DVB-T. Sin embargo, el estándar especifica explícitamente transmisiones en bandas de 5, 6, 7 y 8 MHz, a fin de definir claramente aspectos como tasas de datos y máscaras de radiación fuera de banda. Debido a esto, para canales de 8 MHz el período de *clock*, especificado es $7/64\mu\text{s}$, y de $7/48\mu\text{s}$ para canales de 6 MHz. Esto se traduce en una separación de 7,61 MHz entre las sub-portadoras extremas para bandas de 8 MHz, y 5,71 MHz para bandas de 6 MHz.

Los circuitos integrados diseñados para realizar el procesamiento de banda base (codificación de canal y modulación OFDM) para un ancho de banda de 8 MHz, no deben tener inconvenientes para operar en bandas de 6 MHz pero no viceversa.

El radio de celda máximo que un determinado modo de sub-portadora (2k, 4k u 8k) puede soportar es 33% mayor (factor $8/6$) en transmisiones de 6 MHz de ancho de banda que en 8MHz. Las áreas de cobertura correspondientes difieren en 77%. La ventaja en el caso de 6 MHz resulta de la menor separación entre las sub-portadoras, lo que permite operar en canales con mayor selectividad en frecuencia. La desventaja de lograr mayor cobertura de esta forma es una reducción de 33% en la tasa de datos.

Intervalo de Guarda Temporal: El propósito de los intervalos de guarda es proveer inmunidad a la dispersión de canal. La técnica consiste en separar símbolos OFDM consecutivos y rellenar la brecha resultante (intervalo de guarda) con datos redundantes. Se especifican cuatro posibles valores para el intervalo de guarda entre símbolos OFDM, de $1/4$, $1/8$, $1/16$ y $1/32$ de la duración del símbolo OFDM. Su elección depende principalmente de la geografía del entorno de transmisión, lo que determina la dispersión del canal correspondiente. En regiones con montañas se debe optar por valores mayores ($1/4$ - $1/8$) que en las llanuras. En el caso más extremo (intervalo de $1/4$), la tasa de datos se ve reducida en un 20%.

Modulación de Sub-Portadoras: Las subportadoras pueden ser moduladas con constelaciones 4-QAM, 16-QAM o 64-QAM. Estas constelaciones son uniformes (símbolos equidistantes) en el caso de

transmisión de un flujo de transporte único, mientras que se utiliza un formato no-uniforme (símbolos equidistantes dentro de cada cuadrante, pero con separación mayor entre cuadrantes) al combinar flujos jerarquizados AP y BP.

2.2.4.3. Tasas de Datos

Las tasas de datos posibles en DVB-T dependen de los siguientes parámetros de codificación y modulación:

- Tasa de codificación del código interno (convolucional)
- Ancho de banda de la transmisión
- Tamaño de la modulación QAM
- Tamaño del intervalo de guarda.

La tasa de datos en cambio es independiente de los siguientes parámetros:

- Número de sub-portadoras (2k, 4k u 8k)
- Transmisión jerarquizada o no

Dado un determinado ancho de banda de la transmisión y transmisión no jerarquizada (flujo de transporte único), todas las combinaciones de los demás parámetros permiten lograr en total 60 tasas de datos distintas. Para bandas de 6 MHz, las tasas de datos netas para transmisión de contenido están entre 3,73 Mbits/s y 23,75 Mbits/s. Para bandas de 8 MHz, las 60 tasas posibles son un 33% mayores (factor 8/6), estando por lo tanto en el rango entre 4,98 Mbits/s y 31,67 Mbits/s.

Uno de los principales objetivos en transmisión es lograr transmisiones casi libre de errores³² (CLE) a una tasa de datos determinada, para esto se requiere una razón señal a ruido (SNR) mínima en los receptores. Esta SNR mínima es mayor cuanto mayor sea la tasa de datos deseada; depende de las condiciones de propagación y no del ancho de banda. En general, la SNR es menor cuanto más alejado esté un receptor del transmisor, por lo que tasas de datos mayores (mayor SNR mínima requerida) achican el área de cobertura en la que se obtiene transmisión CLE.

La menor tasa de datos posible (3,73 Mbits/s o 4,98 Mbits/s), requiere entre 3,1 dB y 5,4 dB de SNR, y la mayor tasa posible (23,75 Mbits/s o 31,67 Mbits/s) requiere entre 20,1 dB y 27,9 dB según las condiciones del canal.

Desde luego, la tasa de datos está estrechamente ligada con la resolución de video de la transmisión, y al número de señales MPEG-2 que se multiplexan en cada flujo de transporte. En este aspecto, el estándar DVB-T no especifica el formato de los contenidos, por lo tanto deja estos puntos en manos de los operadores.

2.2.4.4. Características Espectrales

Las características espectrales de una transmisión OFDM dependen principalmente del número de sub-portadoras y de la duración del intervalo de guarda. La radiación fuera de banda de OFDM disminuye con el cuadrado de la frecuencia, y puede ser reducida más aún utilizando filtros apropiados. La norma DVB-T especifica las máscaras espectrales de dichos filtros para evitar interferir con transmisiones de televisión analógica de varias normas (PAL, SECAM, etc.) realizadas desde el mismo sitio y en canales adyacentes.

³² Esto significa menos de un error por hora en la entrada del demultiplexador MPEG-2 del receptor.

2.2.5. Funcionamiento con Frecuencia Única Nacional

En redes de frecuencia única (RFU) con el estándar DVB-T, el principio es el mismo que en el caso del estándar ATSC, en el sentido que las múltiples señales recibidas en las zonas de traslape de los transmisores deben parecerse lo más posible a un eco. El sincronismo entre estaciones debe ser logrado en tres aspectos:

- Frecuencias idénticas de las portadoras de radiofrecuencia
- Frecuencias idénticas de muestreo entre los moduladores OFDM
- Flujos de transporte idénticos y sincronizados entre estaciones

Diferencias entre las frecuencias de portadora o de muestreo causan una degradación en la señal recibida similar a una pérdida de SNR o a una Interferencia de Co-Canal.

La falta de suficiente precisión en el sincronismo del flujo de transporte, conlleva a que en las transmisiones de celdas adyacentes aparezca un efecto equivalente a la propagación de multitrayectoria que en este caso es mucho más dispersiva que la real existente entre el transmisor local (deseado) y el receptor. Por otro lado, si dicho sincronismo no existe, transmisiones idénticas pero desfasadas de celdas adyacentes causarían Interferencia de Co-Canal (ICC). En ambos casos la consecuencia es ya sea una pérdida de eficiencia espectral (menor tasa de datos), o degradación de la calidad de la imagen y audio recibidos.

El funcionamiento de un sistema DVB-T mediante RFU [33], es conceptualmente sencillo y puede resumirse de la siguiente forma:

1. El flujo de transporte multiplexado es compuesto en los estudios de un canal de televisión.
2. Periódicamente, se inserta en el flujo de transporte un paquete de referencia, el que porta una identificación única y marca horaria de alta precisión. La señal horaria del sistema de posicionamiento global (GPS) es una alternativa viable y cumple con la condición adicional de estar disponible en todas las celdas de transmisión de la RFU.
3. El flujo de transporte adaptado en el punto anterior es distribuido geográficamente hacia los lugares de transmisión (celdas de transmisión, antenas) mediante una red de datos.
4. Cada celda remueve el paquete de referencia horaria del flujo de transporte y compara su marca horaria con la referencia local. Ello permite determinar la compensación necesaria en cada celda al retardo de propagación de la red de distribución para lograr sincronización de la RFU.
5. Cada celda codifica y modula el flujo de transporte en formato DVB-T utilizando los mismos parámetros, y efectúa la transmisión en sincronización con las demás celdas.

Es fundamental señalar que el mecanismo de sincronización puede compensar retardos de propagación en la red de distribución de máximo un segundo. Por esta razón, el tamaño de una RFU de DVB-T está limitado a áreas geográficas dentro de las cuales la red de distribución de datos tiene retardos menores a un segundo.

El estándar no especifica la precisión requerida de los osciladores de portadora y banda base para asegurar la sincronización correspondiente entre estaciones. Sin embargo, el estándar sí considera la funcionalidad para ajustar las portadoras en pasos de 1 Hz. La sincronización de los relojes de banda base no es descrita.

2.3. Estándar ISDB

2.3.1. Antecedentes Generales

El estándar de televisión digital japonés, *Integrated Services Digital Broadcasting* (ISDB), fue establecido por la *Association of Radio Industries and Businesses* de Japón (ARIB, www.arib.or.jp/english/) y es promovido en el mundo por el *Digital Broadcasting Experts Group* (DiBEG, www.dibeg.org). En 1980 comenzó la investigación y desarrollo para ISDB y en los años 1990 fue definido el estándar propiamente dicho. ISDB comprende media docena de documentos, los que especifican la distribución de video digital por satélite (ISDB-S), cable (ISDB-C) y terrestre (ISDB-T), este último incluyendo terminales móviles. ISDB fue diseñado en torno al estándar de codificación de audio y video MPEG-2 y contiene especificaciones para transmisión de televisión de resolución estándar y de alta definición. Análogamente a la norma Europea (DVB), los documentos ISDB también especifican aspectos como:

- Provisión de servicios interactivos sobre diversos canales de retorno (líneas telefónicas fijas, teléfonos móviles, redes de área local cableadas e inalámbricas, etc.)
- Acceso condicional y protección de copia
- Transmisión de señales mediante red de frecuencia única
- Distribución de datos genéricos, no restringidos a audio y video, aunque posibilitando por ejemplo flujos de video alternativos como MPEG-4

2.3.2. El Sistema ISDB-T

El estándar ISDB-T especifica las propiedades de la capa física para la transmisión terrestre de video y audio digital, y está descrita en el documento [34]. Como características principales comparadas con los demás sistemas, presenta gran flexibilidad y ventajas en la recepción móvil, así como compatibilidad con los sistemas de radiodifusión digital terrestres.

ISDB-T es muy similar a DVB-T en términos de señales y modulación, la Figura No 17 muestra la coincidencia de los siguientes aspectos:

- Ambas normas están basadas en codificación MPEG-2 de audio y video
- Ambas normas soportan transmisión de otros formatos de datos (MPEG-4 u otros)
- Ambas normas utilizan códigos de canal *Reed-Solomon* y Convolucionales idénticos, así como el mismo aleatorizador
- Ambas normas utilizan modulación OFDM con modos 2k, 4k y 8k, y modulación QAM de las sub-portadoras.

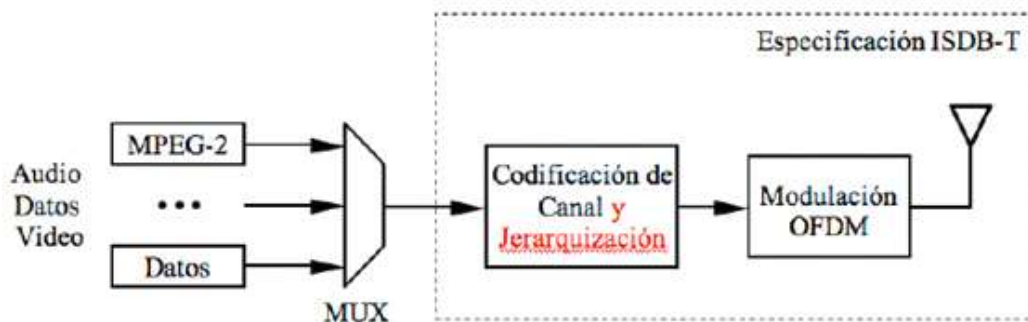


Figura No 17. Diagrama general del sistema ISDB-T

Sin embargo, ISDB-T presenta diferencias importantes con respecto a DVB-T en cuanto al orden y la forma en que los datos son codificados y luego localizados en frecuencia en la modulación OFDM. El esquema se conoce técnicamente como *Band Segmented Transmisión-OFDM* (BST-OFDM), y consiste en dividir la banda de transmisión en segmentos para ser asignados a servicios distintos. Esto conlleva dos ventajas importantes frente a OFDM tradicional:

Transmisión Jerárquica: La segmentación de la banda permite asignar varios de estos segmentos a un servicio determinado, y ajustar los parámetros de transmisión individualmente de acuerdo a las necesidades y objetivos del servicio. A esto se le conoce como transmisión jerárquica³³. Por ejemplo, un segmento puede bastar para transmitir una señal de audio, mientras que tres son necesarios para video en definición normal, y seis para una señal de video de alta resolución. La segmentación también permite asignar segmentos y optimizar los parámetros de un servicio según su objetivo, como recepción móvil o estática, o según el radio de cobertura deseado, etc.

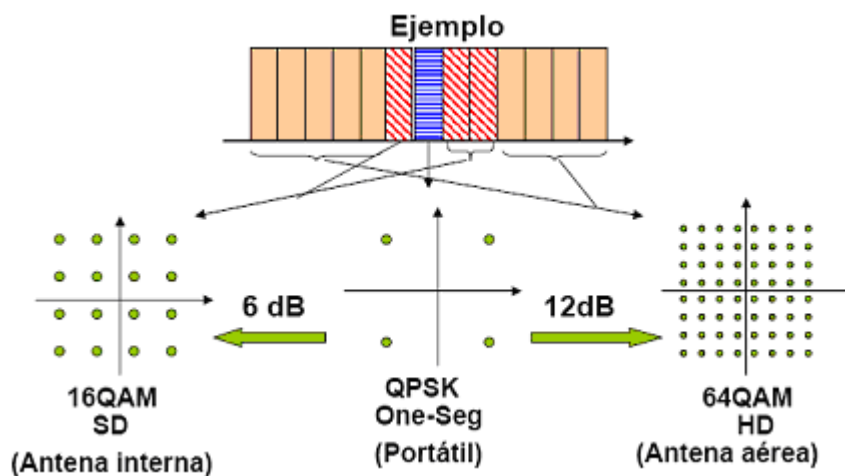


Figura No 18. Ejemplo de Transmisión Jerárquica para el sistema ISDB-T

En el caso de ISDB-T, la banda de transmisión (6 MHz) es dividida en 13 segmentos³⁴, cada uno tiene aproximadamente 430 KHz de ancho de banda, los que pueden ser asignados libremente a un máximo de 3 servicios o capas jerárquicas. Esta jerarquización de la transmisión es realizada en el sistema de codificación de canal mostrado en la Figura No 18.

Recepción Parcial: Este es 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.

³³ El concepto es similar al de flujos priorizados de DVB-T, pero la forma de implementación es bastante distinta.

³⁴ Realmente la banda es dividida en 14 segmentos, de los cuales uno de ellos es sacrificado y dividido en dos para ser utilizado como banda de guarda en ambos extremos de la banda de transmisión.

2.3.3. Fuentes de Información

2.3.3.1. Características del Video

El sistema ISDB-T soporta diferentes resoluciones de pantalla y tasas de trama. La Tabla No 4, indica las resoluciones, forma de barrido (progresivo (P) o entrelazado (I)) y tasa de tramas por segundo³⁵, y se conforman a la sintaxis del Nivel Principal, definido en la sección de video del estándar MPEG-2:

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	60I

Tabla No 4. Resoluciones de Pantalla para el sistema ISDB-T.

2.3.3.2. Características del Audio

El sistema de audio de ISDB-T usa el estándar MPEG-2. La especialización, en este caso, está definida en el estándar ISO/IEC 13818-7 (MPEG-2 – AAC audio), que permite el transporte de canales de audio 5.1 con una tasa de bits de hasta 320 Kbps.

2.3.4. Características del Sistema de Codificación y Modulación

2.3.4.1. Codificación de Canal

En la Figura No 19, se muestra el diagrama en bloques del sistema de codificación de canal de ISDB-T. A continuación se describe cada bloque.

³⁵ Para un barrido I, la tasa de cuadros por segundo es la mitad de la tasa de tramas por segundo. Para un barrido P, la tasa de tramas por segundo y de cuadros por segundo son iguales.

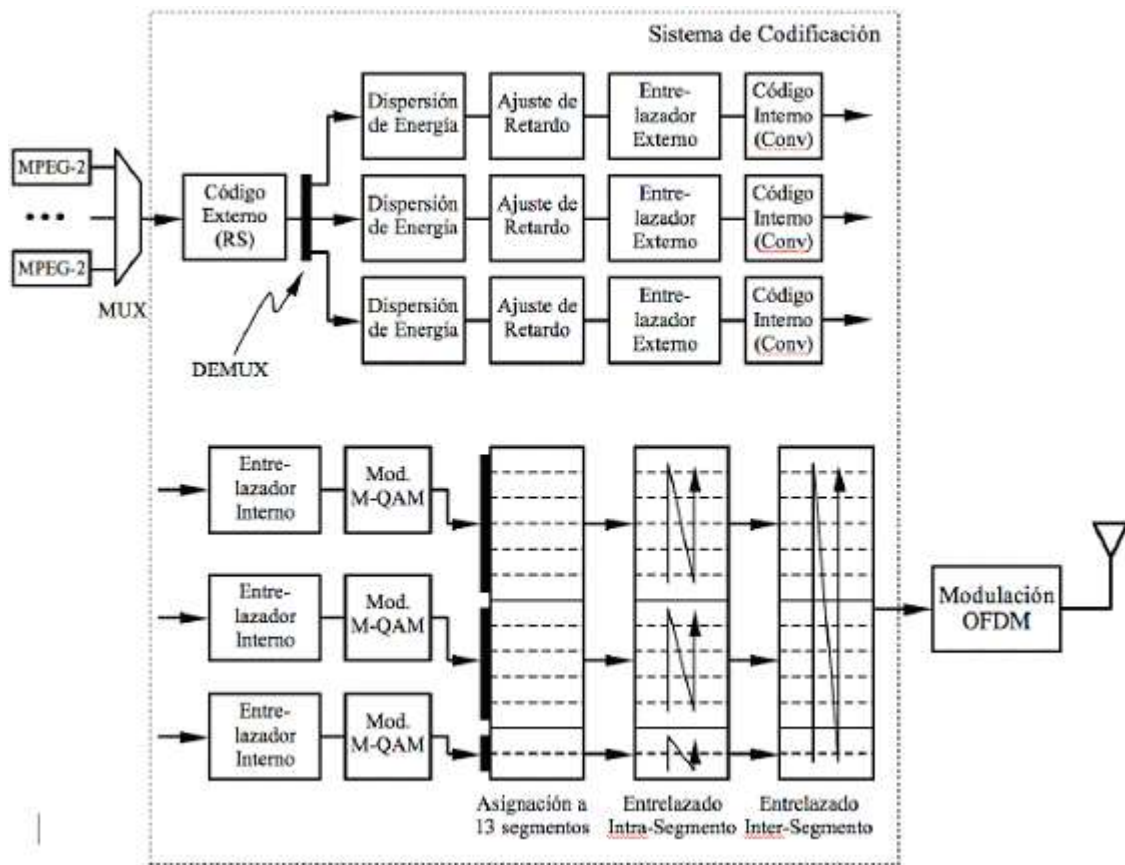


Figura No 19. Sistema de Codificación de Canal y jerarquización de ISDB-T.

Código Externo (Reed-Solomon (204,188, t-8)): El código se aplica por bloques a grupos de 188 bytes, resultando palabras codificadas de 204 bytes. Este código es capaz de corregir hasta 8 bytes erróneos ocurridos en cada grupo de 204. Este es el mismo código *Reed-Solomon* utilizado en DVB como código externo.

DEMUX: La codificación RS se realiza de tal forma que cada bloque original de 188 bytes contiene datos de sólo uno de los tres servicios posibles (una sola fuente MPEG-2 en la Figura No 19). Esto permite demultiplexar los servicios en la salida del codificador RS tomando bloques de 204 bytes, y realizar el resto de la codificación por separado para cada servicio o capa jerárquica.

Dispersión de Energía: Se encarga de aleatorizar los bits que componen un flujo de transporte mediante multiplicación por una secuencia binaria pseudo aleatoria de orden 15 (PRBS-15). El propósito de esta operación es evitar largas series de ceros o de unos que la secuencia de datos de la fuente pueda tener. Es el mismo aleatorizador utilizado en DVB.

Ajuste de Retardo: La desventaja principal de la transmisión jerárquica basada en segmentos es que las diferencias entre parámetros de codificación de las tres capas jerárquicas causan desalineamientos entre los flujos de transporte de las tres capas. Ello obliga a sincronizar constantemente los flujos con ligeros ajustes de retardo en cada capa en la entrada del entrelazador externo.

Entrelazador Externo: Se usa un entrelazador convolucional de bytes de largo 12, el que entrelaza internamente cada byte de cada grupo de 204 bytes. Este es el mismo entrelazador externo utilizado en DVB.

Código Interno (Convolucional): El código es convolucional punzado de restricción $K=6$ y puede operar a tasas $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{6}$ y $\frac{7}{8}$, brindando flexibilidad entre tasa de datos y el nivel de protección que se desea. Es el mismo código convolucional usado como código interno en DVB.

Entrelazador Interno: La secuencia de bits del flujo de transporte de cada capa jerárquica es multiplexada en 2, 4 o 6 líneas paralelas dependiendo el tamaño de la constelación QAM usada para modular las sub-portadoras OFDM de aquella capa. El entrelazado consiste en retardar cada una de las 2, 4 o 6 líneas en individualmente entre 0 y 120 tiempos de bit. Además es necesario un ajuste de retardo en cada capa según el número M-ario (4, 16 o 64) tal que las salidas de todas las líneas sean alimentadas sincronizadamente al modulador M-QAM que corresponda.

Modulación M-QAM: Produce símbolos M-QAM que modularán las sub-portadoras OFDM. El número M-ario (4, 16 o 64) puede ser diferente para cada capa jerárquica. La diferencia entre DVB-T es ISDB-T, es que este último además permite utilizar modulación QPSK diferencial (4-QAM diferencial), esto facilita decodificar la modulación en condiciones de canal muy adversas, como casos de alta movilidad, a cambio de una pérdida de eficiencia energética (3dB), o bien del radio de cobertura.

Asignación a 13 Segmentos: Las tres capas jerárquicas son combinadas en proporción a los segmentos asignados.

Entrelazado Intra-Segmento: Cada capa se entrelaza internamente sobre el rango de segmentos asignados a la capa³⁶.

Entrelazado Inter-Segmento: Las capas se entrelazan conjuntamente sobre el rango completo de frecuencia de la transmisión³⁷. En el caso que la transmisión utilice Recepción Parcial, el segmento correspondiente es excluido del entrelazado, y entrelazado individualmente. Si se compara con el sistema de codificación de DVB, se puede ver que la transmisión jerárquica con banda segmentada de ISDB-T (BST-OFDM) necesita de una codificación de canal mucho más compleja.

2.3.4.2. Modulación OFDM

OFDM distribuye el flujo binario en un gran número de portadoras de forma que cada una maneje una cantidad de datos reducida con respecto al flujo total. La modulación OFDM utilizada por ISDB-T es esencialmente idéntica a la de DVB-T, por lo tanto el análisis hecho sobre el uso de OFDM en DVB-T se aplica directamente al caso ISDB-T. Unas pequeñas diferencias que presenta ISDB-T son:

Sub-Portadoras: Al igual que DVB-T, se consideran los modos de operación con 2k, 4k y 8k sub-portadoras. Además ISDB-T incluyó el modo 4k desde su creación. El número total de sub-portadoras moduladas en cada modo es 1405, 2809 y 5617, respectivamente, de las cuales 1248, 2496 y 4992 portan datos, y las otras son utilizadas para señales piloto y para transmisión de parámetros de modulación y codificación.

Ancho de Banda de Transmisión: El estándar ISDB-T, especifica todos los parámetros para transmisión en bandas de 6 MHz. Aunque todos estos parámetros, así como el ancho de banda de transmisión, dependen únicamente del ajuste de frecuencia del reloj (*clock*) de los circuitos de banda base³⁸, este estándar no fue diseñado para operar en bandas que no sean de 6 MHz y no existen

³⁶ En la Figura No 19, es el penúltimo bloque del sistema de codificación.

³⁷ En la Figura No 19, es el último bloque del sistema de codificación.

³⁸ Circuitos que implementan la cadena de codificación de canal y modulación OFDM en transmisores y receptores

especificaciones para aquellos casos. Debido a que los circuitos integrados diseñados para un ancho de banda de 6 MHz no necesariamente funcionan con frecuencias de 8 MHz, se debe considerar impráctico la elección de ISDB-T en bandas de ancho distinto a 6 MHz. La frecuencia especificada para el reloj del sistema es $512/63=8,13$ MHz. Esto se traduce en una separación de 5,57 MHz entre las dos sub-portadoras más extremas. El ancho de banda que contiene el 99% de la energía de estas dos sub-portadoras es 5,7 MHz.

Intervalo de Guarda: En la misma forma que en DVB-T, se especifican intervalos de guarda posibles de $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{16}$ y $\frac{1}{32}$ de la duración del símbolo OFDM.

Modulación de Sub-Portadoras: De acuerdo a la descripción en el bloque “Modulación M-QAM”, ISDB-T considera la modulación QPSK diferencial (DKPSK) además de las modulaciones 4-QAM, 16-QAM y 64-QAM. Otra diferencia con DVB-T es que en ISDB-T sólo se consideran los modos uniformes de 16-QAM y 64-QAM, debido a que la jerarquización de la transmisión es realizada en forma distinta.

Al igual que DVB-T, todos los parámetros relevantes de codificación y modulación, son embebidos en sub-portadoras predeterminadas, esto permite que cada receptor los detecte y se ajuste automáticamente a ellos. Esto conlleva a que cada operador pueda configurar su sistema libremente en cada momento según el tipo de contenido y servicios que transmite.

2.3.4.3. Tasas de Datos

Similar a DVB-T, la tasa de datos de la transmisión en ISDB-T resulta de la combinación entre los parámetros de codificación, modulación M-QAM, y el tamaño del intervalo de guarda. A diferencia con DVB-T, sin embargo, la posibilidad de asignar cualquier combinación de los 13 segmentos a uno, dos o tres servicios diferentes (capas jerárquicas), y definir para cada caso una tasa de codificación convolucional y nivel de modulación M-QAM independiente, la variedad de tasas alcanzables con ISDB-T es teóricamente infinita. Los casos de ISDB-T comparables con las 60 tasas posibles en DVB-T a 6 MHz y transmisión DVB-T no jerarquizada, son aquellos en que los 13 segmentos de ISDB-T utilizan la misma tasa de codificación convolucional y modulación QAM. Las tasas correspondientes son ligeramente diferentes a las de DVB-T debido a que hay diferencias entre la cantidad de sub-portadoras efectivamente moduladas con datos. Las tasas de datos netas totales de ISDB-T están en el rango entre 3,65 Mbits/s³⁹ y 23,23 Mbits/s⁴⁰. Las tasas de datos netas por sintonía son 1/13 de los valores netos totales. Se estima que lograr transmisiones casi libre de errores (CLE) en recepción estática de ISDB-T a una tasa de datos determinada requiere de condiciones de razón señal a ruido (SNR) muy similares a las requeridas por transmisiones DVB-T de tasa equivalente.

2.3.4.4. Características Espectrales

El ancho de banda de transmisión establecido por la norma ISDB-T es 5,7 MHz. El 99% de la energía radiada se encuentra contenido en este ancho de banda. La norma también especifica una máscara espectral única requerida para radiaciones fuera de banda, que contrario a la norma DVB-T considera la naturaleza de las transmisiones en bandas adyacentes, ya sean digitales o analógicas. La máscara espectral de ISDB-T es menos restrictiva que la de DVB-T.

2.3.5. Funcionamiento con Frecuencia Única Nacional

El funcionamiento de un sistema ISDB-T mediante RFU es estudiado detalladamente en el documento [35], donde se entregan algunas pautas para operación sincronizada.

³⁹ 3.73 Mbits/s en DVB-T

⁴⁰ 23.75 Mbits/s en DVB-T

Particularmente la norma especifica que:

- Las variaciones de frecuencia en los osciladores de portadora de las estaciones de la RFU con respecto a la frecuencia central de la banda deben ser menores a 1 Hz.
- La frecuencia de muestreo de los moduladores OFDM de banda base deben tener una precisión de +/- 0,3 partes por millón.
- Los flujos de transporte deben ser idénticos.

El documento en referencia también ilustra algunas topologías de red y estrategias de tipo maestro/esclavo para distribuir señales de sincronización.

3. COMPARACIÓN ENTRE LOS TRES ESTÁNDARES

Los tres estándares descritos anteriormente, funcionan actualmente con éxito en varios países, Cada uno de los tres sistemas de TV digital estudiados tiene tanto fortalezas como debilidades en varios aspectos, y ninguno se destaca por encima de otro en forma absoluta. Para decidir cual estándar se debe utilizar entonces hay que basarse en el contexto Colombiano y en el papel que las fortalezas y debilidades de cada estándar juegan en dicho contexto.

3.1. Fuentes de Información

3.1.1. Sistema de transporte y múltiplex

Los tres estándares de televisión digital estudiados utilizan en general un sistema de empaquetamiento y multiplexación de programas basado en el estándar MPEG-2, aunque para cada uno se especifican algunas restricciones y especificaciones. La ventaja de utilizar MPEG-2 es que, actualmente, la mayor parte de los sistemas de distribución de contenidos audiovisuales emplean el estándar MPEG-2 para su codificación. Este estándar permite la codificación de contenidos audiovisuales en un rango de velocidades entre 3 y 6 Mbps para obtener “calidad estándar” y entre 18 y 20 Mbps para obtener calidad de “alta definición”. Esta flexibilidad del estándar MPEG-2, posibilita la transmisión de varios contenidos audiovisuales simultáneos de calidad o definición estándar (SDTV) utilizando un sólo flujo de transporte MPEG-2.

Otro aspecto a valorar es que los estándares DVB e ISDB utilizan el concepto de Modulación Jerárquica. Con el uso de esta variante, pueden transmitirse dos flujos de datos independientes sobre un mismo canal de frecuencia de TV utilizando técnicas de modulación distintas. Uno de los flujos, designado como de “alta prioridad” (high priority, HP), presenta gran protección contra ruido e interferencia; mientras que el segundo flujo, el de “baja prioridad” (low priority, LP), está mucho menos protegido. El flujo HP permite la transmisión utilizando una relativamente baja tasa de bits, lo que asegura la recepción incluso en aquellos casos donde se presente una pobre relación portadora-ruido. Por otro lado, el flujo LP permite la transmisión utilizando tasas considerablemente mayores, pero con requerimientos más fuertes en lo que a la relación portadora ruido se refiere. El sistema ISDB-T permite combinar hasta tres modos, por ejemplo, radio digital, televisión digital con recepción fija y televisión digital móvil. En el sistema DVB-T es posible combinar dos modos, por ejemplo, para recepción fija y móvil, o para Alta Definición y Definición Estándar. El sistema ATSC no considera el uso de modulación jerárquica.

Conclusión: Las diferencias entre los tres estándares en lo que respecta a la codificación de los contenidos mediante la norma MPEG-2 o la transmisión de contenidos de definición estándar (SDTV) o de alta definición (HDTV) no son sustanciales. Sin embargo los estándares DVB e ISDB, utilizan el concepto de Modulación Jerárquica, que posibilitan la prestación simultánea de servicios móviles y fijos: Los servicios móviles requieren mayor intensidad de campo que los fijos, por lo que se puede diseñar un sistema para receptores móviles operando con el flujo HP y, a la vez, obtener muy buena cobertura para los receptores fijos utilizando el flujo LP, mientras que estándar ATSC, no tiene esta capacidad.

3.1.2. Sistema de Audio

Para la compresión de audio, el sistema ATSC utiliza la norma AC3, utilizada en prácticamente todos los equipos de alta fidelidad que se comercializan para uso doméstico. El sistema ISDB-T utiliza AAC (parte de la norma MPEG-2), mientras que DVB usa el estándar MPEG-2, aunque puede funcionar también con AC3.

Conclusión: Al parecer, no hay diferencias sustanciales de calidad o precio entre los sistemas de audio utilizados por los tres estándares. Por otra parte, el estándar ISDB-T codifica audio surround a una tasa

ligeramente menor y más eficiente (320 Kbps comparado con 448 Kbps de AC3 en ATSC), aunque esta diferencia no es significativa.

3.1.3. Televisión de alta definición (HDTV)

La televisión de alta definición (también conocida como HDTV, del inglés *High Definition Television*) es uno de los formatos que, sumados a la televisión digital (DTV), se caracteriza por emitir las señales televisivas en una calidad digital superior a los demás sistemas (NTSC, SECAM, PAL).

La pantalla HDTV utiliza una proporción de aspecto 16:9. La alta resolución de las imágenes (1920 pixels × 1080 líneas o 1280 píxeles × 720 líneas) permite mostrar mucho más detalle en comparación con la televisión analógica o de definición estándar (*Standard Definition*, de 720 píxeles × 576 líneas según el estándar PAL).

El códec utilizado para la compresión puede ser MPEG-2, H.264 o VC-1 (Estandar que se implementó en Windows Media Vídeo 9), aunque el MPEG-2 se está quedando desfasado actualmente por su baja eficacia de compresión comparado con los otros códecs. Las imágenes HDTV son hasta 5 veces más definidas que las de la televisión de definición normal, comparando el formato PAL con la resolución HDTV más alta.

En este aspecto, todos los estándares tienen la capacidad de transmitir contenidos audiovisuales de definición estándar (SDTV), pudiendo ser transmitidos hasta 4 programas SDTV simultáneamente en un mismo flujo de transporte⁴¹. Alternativamente, los sistemas pueden ser usados para la transmisión de un flujo HDTV⁴².

El sistema ATSC fue desarrollado con el propósito de permitir transmisiones de televisión de alta definición usando una banda de 6 MHz. ISDB-T considera la transmisión de HDTV utilizando 12 de los 13 segmentos de la banda de 6 MHz (el decimotercer segmento es reservado para recepción portátil). Por otro lado, DVB-T puede usar anchos de banda de 6, 7 y 8 MHz.

Conclusión: ATSC tiene la ventaja de haber sido diseñado con el propósito específico de transmitir HDTV, aunque los otros dos estándares también tienen esta capacidad, sin embargo DVB-T permite mayor flexibilidad al permitir su funcionamiento en tres anchos de banda diferentes.

3.2. Tasas de Transmisión de Datos y Cobertura

En los sistemas de comunicaciones digitales no se puede garantizar, con 100% de certeza, que transmisiones a una determinada tasa de datos resulten siempre en una recepción libre de errores. En sistemas de comunicación inalámbricos, la tasa de error depende de la potencia con la cual la señal llega al receptor como también de posibles interferencias y ruido existentes dentro de la banda. Por esta razón, la tasa de error se puede disminuir aumentando la potencia de transmisión, aunque debe tenerse en cuenta que con una mayor potencia de transmisión también crece la interferencia a las transmisiones que usan la misma frecuencia en zonas geográficas cercanas, de la misma manera como la interferencia a canales de frecuencias adyacentes en la propia zona geográfica. El aumento de interferencia a terceros les obliga a aumentar su propia potencia de transmisión, incrementando nuevamente la interferencia que sufre la transmisión propia.

Por lo anterior, una tasa de datos siempre debe ser especificada en relación a una tasa de error, la cual a su vez debe estar estrechamente ligada a la razón señal a ruido necesaria para lograr dicha tasa de error. Finalmente, la razón señal a ruido se relaciona directamente con el área de cobertura de la transmisión.

3.2.1. Tasas de Datos

⁴¹ DVB-T puede transmitir hasta 5 programas SDTV si la banda de transmisión es de 8Mhz.

⁴² En bandas de 8MHz, DVB-t puede transmitir bajo ciertas configuraciones un flujo HDTV más otro SDTV.

El sistema ATSC opera con una tasa de datos única de 19,39 Mbps⁴³. Esta tasa resulta de utilizar procesos de codificación de canal y modulación con parámetros fijos que no pueden ser configurados por el operador. Esta rigidez paramétrica conlleva un umbral de visibilidad, definido como la razón señal a ruido bajo la cual las señales de video (flujos de transporte MPEG-2) no pueden ser decodificados satisfactoriamente. Teóricamente el umbral ha sido determinado en 14,9 dB para el canal de ruido Gaussiano blanco aditivo, y corresponde a una probabilidad de error de segmento de $1,93 \times 10^{-4}$. Esto aproximadamente equivale a una tasa de error de bits de 3×10^{-6} en la salida del decodificador *Reed-Solomon* (código externo) del receptor, y a 2.5 errores de segmento/seg. En la Figura No 20 se muestra la tasa de error de segmento (SER) en función de la relación señal a ruido.

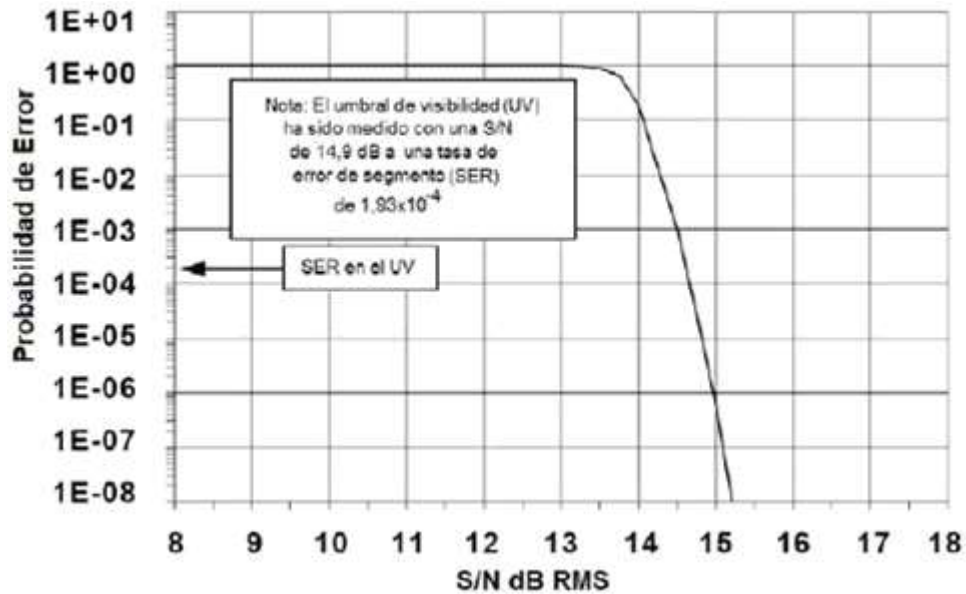


Figura No 20. Umbral de visibilidad de 8-VSB en canal Gaussiano [36].

El umbral de visibilidad de ATSC determina un radio de cobertura en torno a la antena transmisora, fuera del cual la imagen recibida empieza a mostrar interrupciones y degradación de calidad. La única forma de ampliar el área de cobertura es aumentar la potencia de transmisión.

Por otra parte, los sistemas DVB-T e ISDB-T ofrecen una alta variedad de tasas de datos en función de los parámetros de modulación y codificación. Esto permite ajustar la tasa de datos en función de la cobertura deseada. La Figura No 20 muestra gráficamente la variedad de tasas de datos posibles en DVB-T en función de los valores de parámetros de codificación y modulación disponibles, también indica la razón señal a ruido necesaria para obtener una recepción con tasa de error de bits 10^{-11} , denominada casi libre de errores. Las tasas indicadas en la figura corresponden a transmisiones en canales de 8 MHz; para canales de 6 MHz, las tasas se obtienen multiplicando los valores de la Figura No 21 por 6/8.

⁴³ El modo de modulación 16-VSB está orientado a transmisión ATSC por cable.

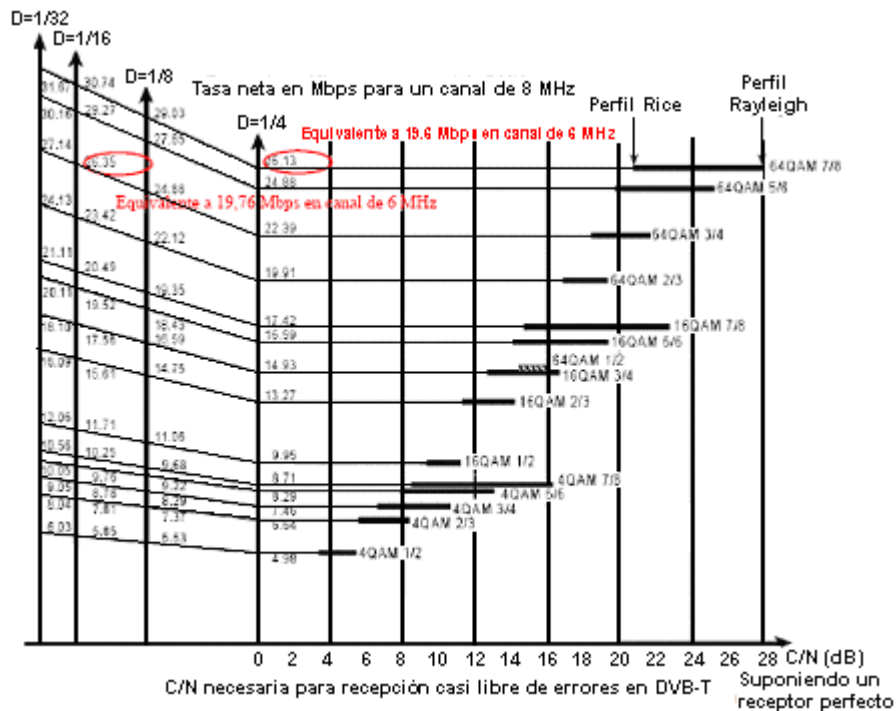


Figura No 21. Razón C/N y tasa neta de bits como función de la constelación M-QAM, tasa de código, longitud del intervalo de guarda y perfil del canal para todos los modos DVB-T [37].

El sistema DVB-T ofrece dos tasas cercanas a los 19,39 Mbps de ATSC en operación con canales de 6 MHz. La primera tasa es 19,6 Mbps, obtenida con modulación 64-QAM, codificación 7/8 e intervalo de guarda 1/4. La segunda tasa es 19,76 Mbps, obtenida con modulación 64-QAM, codificación 3/4 e intervalo de guarda 1/16. Cabe anotar que el último parámetro debe escogerse en función de la geografía. Los dos primeros parámetros pueden ser escogidos libremente por el operador en función de la cobertura deseada. Para un canal tipo Rice la tasa 19,6 Mbps requiere aproximadamente 21 dB para operación casi libre de errores, y la tasa 19,76 Mbps requiere 18,6 dB. Para el canal de ruido Gaussiano dicha razón es 20,1 dB y 18,0 respectivamente [38].

Mediciones en terreno realizadas por la BBC en Gran Bretaña [39] muestran que la tasa de 19,76 Mbps de DVB-T que opera casi libre de errores a 18,6 dB necesita 17,4 dB para lograr las condiciones equivalentes al umbral de visibilidad de ATSC. Esto sugiere una ventaja de aproximadamente 2 dB de relación señal a ruido entre ATSC y DVB para que operen con calidades similares. Esto es consistente con las diferencias de ganancia de codificación de ambos sistemas. Específicamente, el código R-S de ATSC es más robusto que aquel de DVB-T, y obtiene la misma probabilidad de error con aproximadamente 0,5 dB menos de razón señal a ruido [40]. Análogamente, el código TCM de ATSC tiene 1 dB de ganancia sobre el código convolucional 7/8 de DVB-T. Esto implica una ventaja en el orden de 1,5 dB de ATSC sobre DVB-T para obtener probabilidades de error similares.

El sistema ISDB-T, al igual que DVB-T, ofrece gran flexibilidad en el compromiso entre tasa de datos y cobertura, lo que no presenta ATSC. Una de las ventajas de esta flexibilidad es que permite hacer la transición desde el régimen de TV analógica con definición estándar a TV digital con alta definición en forma menos costosa y más eficiente. El primer paso, es migrar de transmisiones analógicas a digitales manteniendo las transmisiones en definición estándar. Esto permite que los operadores no tengan que hacer grandes inversiones en equipamiento de estudio de alta definición, ni tampoco reajustar sus planes de negocios, puesto que emitirían las mismas señales SDTV únicas del modelo actualmente en uso. A su vez, este primer paso solamente requiere esencialmente instalar nuevos equipos transmisores en sitios

ya existentes, debido a que la alta codificación posible para transmitir digitalmente programas únicos en calidad estándar asegura grandes áreas de cobertura. Similarmente, en el lado receptor, los usuarios podrían reutilizar sus televisores actuales, debiendo solamente adquirir un STB⁴⁴, es importante aclarar que si hay transmisiones en HDTV, los usuarios deberán tener un receptor para HDTV si se quiere obtener este tipo de señal. El segundo paso, es que los operadores deberían empezar a experimentar con el nuevo modelo de negocios basado en la flexibilidad de transmitir alta definición, o varios programas paralelos de definición estándar, para posteriormente invertir en infraestructura, etc. En el otro extremo, los usuarios, comenzarían en esta etapa a adquirir televisores HDTV en la medida que se hace disponible la programación correspondiente.

Conclusión: El estándar ATSC presenta una pequeña ventaja sobre DVB-T en términos de tasas de datos para coberturas similares y en las peores condiciones de propagación (canal Gaussiano). Sin embargo, varias pruebas prácticas realizadas en otros países no muestran claramente dicha ventaja. Por otra parte, simulaciones y pruebas muestran que DVB-T supera a ISDB-T en este sentido. Un aspecto a destacar, es la comparación entre la tasa única de ATSC y la gran variedad de tasas posibles con DVB-T e ISDB-T, algunas de las cuales son incluso superiores a la de ATSC.

Finalmente, los tres estándares tienen las tasas de datos necesarias para transmitir señales HDTV en bandas de 6 MHz.

3.2.2. Ruido de Impulso

Gran cantidad de equipos electrónicos industriales y domésticos (hornos de microondas, luces fluorescentes, aspiradoras, etc.) producen radiaciones electromagnéticas espurias denominadas ruido de impulso. Este tipo de ruido tiende a tener alta energía pero corta duración, y normalmente abarca la banda VHF y la parte baja de la banda UHF. La principal defensa para contrarrestar su efecto se logra mediante el uso de entrelazadores. El entrelazador de 52 segmentos usado en el sistema ATSC provee mayor protección a ruido de impulso que el sistema de entrelazado de dos capas de DVB-T. Por el contrario ISDB-T, además de tener dos capas de entrelazado muy similares a DVB-T, especifica dos capas de entrelazado adicionales intra-segmento e inter-segmento, logrando con ellas una muy alta robustez a ruido de impulso.

Conclusión: Los sistemas ISDB-T y ATSC tienen mayor inmunidad a ruido de impulso que DVB-T, este aspecto es importante debido a que la distribución del espectro radioeléctrico en Colombia abarca las bandas de VHF y UHF, como lo muestra la Figura No 22.

BANDA I	CANAL 2 AL 4	VHF (54MHz - 72MHz)
BANDA II	CANAL 5 AL 6	VHF (76MHz - 88MHz)
BANDA III	CANAL 7 AL 13	VHF (124MHz - 216MHz)
BANDA IV	CANAL 21 AL 36	UHF (512MHz - 608MHz)
BANDA V	CANAL 38 AL 69	UHF (614MHz - 806MHz)
12 CANALES EN VHF		
48 CANALES EN UHF		
TOTAL 60 CANALES		

Figura No 22. Bandas de frecuencia utilizadas en Colombia

⁴⁴ Siglas en ingles de Set Top Box, también conocido como decodificador: es el nombre con el que se conoce el dispositivo encargado de la recepción y descodificación de la señal de televisión digital, para luego ser mostrada en un dispositivo de televisión analógico.

3.2.3. Cobertura de Zonas Oscuras⁴⁵

Los tres estándares permiten el uso de repetidores en la misma frecuencia para mejorar la cobertura en los bordes de una celda o para rellenar “zonas oscuras” dentro del área de cobertura. Estos repetidores reciben la señal transmitida por la antena principal, la amplifican y retransmiten en la misma frecuencia, orientando la transmisión hacia la zona que presenta señal débil por medio de antenas direccionales⁴⁶. Adicionalmente, la operación en redes de frecuencia única permite usar un sistema de transmisores distribuidos o de traductores (red SFN). En una red SFN de una sola frecuencia, los transmisores emiten señales idénticas, varias de las cuales pueden ser recibidas con más o menos retraso por los receptores individuales. Los receptores deben tratar las múltiples señales recibidas como ecos unas de otras y para este fin extraer los datos que se están transmitiendo a pesar de la potencial interferencia de los transmisores alternativos dentro de la red SFN.

Cabe destacar que si bien la transmisión distribuida (DTx) tiene el potencial de mejorar sustancialmente las áreas de cobertura y de servicios de la transmisión de televisión digital, también es posible que produzca interferencias dentro de la red que algunos receptores —en especial de diseños anteriores— quizás no sean capaces de manejar. Por consiguiente, las redes de transmisión distribuida deben diseñarse cuidadosamente para minimizar la carga que reciban los ecualizadores adaptables en tales receptores antiguos y al mismo tiempo maximizar las mejoras en las señales que se entreguen al público. El impacto que esto cause a cualquier receptor específico dependerá de la ubicación del receptor, el uso de las antenas receptoras direccionales y los demás factores relacionados con el diseño del receptor.

Finalmente, puede afirmarse que el uso de repetidores en la misma frecuencia para rellenar zonas oscuras, podrá afectar algunos receptores los cuales reciban señal del repetidor y también del transmisor principal. En este caso, deben tenerse en cuenta las mismas consideraciones para la propagación por multitrayectoria y la operación en redes de frecuencia única.

Conclusión: Todos los estándares proporcionan estrategias para mejorar la cobertura en zonas oscuras. En los estándares que utilizan modulación OFDM, puede haber ventajas, siempre y cuando el sistema sea calibrado adecuadamente.

3.3. Multitrayectoria y Movilidad

Las propiedades del canal observado por el receptor, se relacionan con la propagación por multitrayectoria y recepción en condiciones de movilidad. De hecho, la propagación de multitrayectoria determina las propiedades del canal en el dominio de la frecuencia (desvanecimiento en frecuencia), mientras que la recepción móvil determina las propiedades del canal en función del tiempo.

3.3.1. Robustez ante la Propagación de Multitrayectoria

La inmunidad frente a la propagación por multitrayectoria es una propiedad intrínseca de OFDM. El aumento de la inmunidad se logra con un mayor número de sub-portadoras, pero sacrificando su desempeño bajo condiciones de movilidad. Sin embargo, los estándares DVB-T e ISDB-T basados en OFDM, ofrecen una gran flexibilidad para que los operadores configuren la modulación OFDM adecuadamente. El rango de configuración disponible permite ajustar estos sistemas esencialmente a cualquier tipo de terreno y geografía, y todos los receptores deben tener la capacidad de decodificar todas y cualquiera una de las configuraciones. En ambos estándares basados en OFDM cada operador es responsable de configurar los parámetros del sistema, para los cuales todos los receptores normados son capaces de ajustarse automáticamente.

⁴⁵ Lugares en donde la señal se hace muy débil.

⁴⁶ Antenas con capacidad de orientar la señal en una dirección determinada con un haz estrecho pero de largo alcance.

ISDB-T utiliza OFDM segmentado, este formato debilita la inmunidad a multitrayectoria de cada uno de los niveles jerárquicos. Esto ocurre porque los segmentos abarcados por cada nivel son contiguos en frecuencia, lo que los hace más sensibles a desvanecimiento selectivo en frecuencia. El sofisticado sistema de entrelazamiento usado en ISDB-T fue diseñado en gran medida para compensar esta debilidad.

ATSC utiliza la modulación 8-VSB, la cual no es robusta a la propagación por multitrayectoria, y necesita de un dispositivo llamado ecualizador en los receptores para revertir la distorsión por multitrayectoria de la señal recibida. En transmisiones de 6 MHz de ancho de banda, la dispersión de ecos de la propagación por multitrayectoria es severa a partir de pocos metros de propagación, haciendo del ecualizador un dispositivo indispensable para decodificar adecuadamente transmisiones ATSC. La complejidad del dispositivo crece con el radio de cobertura de una antena, llegando a una complejidad muy alta cuando las transmisiones comprenden un sector urbano de varias decenas de kilómetros. Esto hace del diseño de ecualizadores para ATSC un aspecto sensible. El ecualizador debe ser entrenado individualmente en cada receptor para revertir la distorsión específica que capta el receptor en cuestión. Para esto, la señal ATSC contiene secuencias de entrenamiento insertados en el segmento de sincronismo de campo⁴⁷, aunque el estándar no especifica como utilizar dichas secuencias para entrenar al ecualizador, ni la complejidad del dispositivo, ni la calidad con que debe revertir la degradación por multitrayectoria. Estos temas han sido dejados en manos de los fabricantes de receptores, quienes deben competir por proporcionar mejores ecualizadores y a menor costo. Por esta razón, la responsabilidad final de disponer en el hogar de un receptor ATSC con buenas capacidades de ecualización (alta inmunidad a multitrayectoria), cae directamente en el usuario, no en la configuración del sistema de transmisión que haga el operador. Por todo lo anterior, DVBT e ISDB-T marcan una diferencia importante con ATSC debido a que este último requiere de consumidores bien informados, quienes en general son sensibles al costo de los equipos. La situación económica de Colombia permite pensar que un consumidor de TV abierta basada en ATSC optará por receptores de bajos precios, comprometiendo con esto la calidad de su experiencia televisiva.

De acuerdo a las anteriores ideas, es necesario destacar que las condiciones topográficas de Colombia son muy distintas a las que se encuentran en los Estados Unidos, y más parecidas a algunas regiones de Europa o Japón. Particularmente, la topografía Colombiana, está dominada por zonas montañosas con algunos valles. En donde se concentra la mayor cantidad de la población de Colombia no existen planicies de gran extensión como las que se encuentran en gran parte de los Estados Unidos. El fenómeno de multitrayectoria es menor en las planicies que en regiones montañosas puesto que no hay obstáculos para la antena transmisora, lo que permite el uso de ecualizadores más sencillos. Por todo esto y además de que el mercado principal de ATSC es el norteamericano, es esperable que el diseño y desarrollo de ecualizadores no esté fuertemente orientado a geografías irregulares como la colombiana. En los estándares basados en OFDM no existe este inconveniente, puesto que ofrecen modos de operación e inmunidad a multitrayectoria en topografías montañosas.

Conclusión: En DVB-T e ISDB-T la inmunidad a propagación de multitrayectoria es propia de la modulación OFDM, y es de responsabilidad de los operadores configurar la transmisión tal que se neutralice la distorsión por multitrayectoria. Por el contrario en el sistema ATSC, la modulación 8-VSB no es intrínsecamente inmune a la propagación de multitrayectoria, y está en manos de los fabricantes, y del presupuesto de los consumidores, el ofrecer y/o comprar receptores con buena capacidad para revertir los efectos de propagación por multitrayectoria. Esto es una desventaja para la operación de ATSC en Colombia, país en el que la situación económica hace del costo de los equipos un factor importante en la decisión de compra de equipos de televisión digital. También se identifica una incertidumbre sobre la disponibilidad de receptores ATSC adecuados para la geografía colombiana. Finalmente se establece que para el contexto colombiano, ATSC es menos robusto para la recepción en ambientes interiores.

⁴⁷ Existe un segmento de sincronismo de campo por cada 313 segmentos.

3.3.2. Recepción bajo Condiciones de Movilidad

Aunque este aspecto no es propiamente parte de nuestro trabajo, se hará un pequeño análisis enfocado al contexto colombiano.

La recepción de TV digital en receptores móviles puede ser de dos tipos:

Recepción en Televisores Móviles: Se refiere a la recepción de señales ATSC, DVB-T o ISDB-T con receptores tradicionales que están en movimiento a bordo de un automóvil, bus, etc.

Recepción en Terminales Portátiles: Se trata de la recepción de señales de video de resolución limitada en terminales portátiles como teléfonos celulares o agendas electrónicas (PDA). Estos dispositivos generalmente utilizan baterías, lo que limita la cantidad de energía disponible para decodificar y presentar la señal de video digital.

El sistema DVB-T se diseñó originalmente para recepción fija y móvil, pero no portátil. Algunas pruebas de campo en Taiwán [41], muestran que el modo 2k permite recepción a velocidades altas, como las velocidades de crucero de trenes y vehículos en autopista. El modo 8k es menos robusto en recepción móvil, aunque puede soportar velocidades altas en una variedad de condiciones. El desempeño de DVB-T bajo condiciones de movilidad está restringido en parte por las limitaciones de la cadena de entrelazado utilizada. Mediante pruebas de campo se ha podido demostrar que al aumentar la potencia de transmisión se contrarresta la falta de entrelazado de tiempo, lo que conlleva a un mejor servicio móvil.

La recepción en terminales portátiles bajo el sistema DVB-T fue hecha posible con la norma DVB-H. Las extensiones introducidas en DVB-H resuelven las limitaciones de consumo de energía que tiene la recepción móvil de DVB-T, y compensan la debilidad del entrelazado utilizando una capa adicional de codificación de canal. Además para dar solución a los problemas entre movilidad e inmunidad a multitrayectoria se introdujo el modo 4k.

ATSC apenas para finales de diciembre de 2007 propuso una solución práctica para recepción móvil, aunque hasta el momento no existen documentos relacionados con pruebas de campo realizadas para determinar la capacidad real del sistema.

Por último, el sistema ISDB-T fue diseñado desde su comienzo para recepción móvil y portátil. Su vigorosa estrategia de entrelazado, junto a la capacidad de recepción parcial de un segmento, lo hacen muy atractivo para recepción móvil tanto en términos de calidad de la recepción como costo de los equipos de recepción parcial.

Un aspecto a destacar es que la velocidad máxima para la cual es posible decodificar satisfactoriamente una transmisión dada decrece con el inverso de la frecuencia de transmisión (dispersión Doppler). Por lo tanto, una transmisión en un canal en la banda VHF, o en un canal bajo en la banda UHF, puede ser decodificable sin problemas por un móvil a 120 Km/h, mientras que si la transmisión se hace en un canal alto de la banda UHF puede no ser decodificable. En caso de otorgar nuevas concesiones de espectro, es necesario estudiar con mayor detalle este fenómeno, porque afecta por igual a transmisiones de los diversos estándares.

Conclusión: Las capacidades de los sistemas ISDB-T y DVB-T son similares para recepción tanto móvil como portátil⁴⁸. Por otro lado, ATSC apenas hasta la fecha ha presentado soluciones para uso móvil, aunque no existen pruebas contundentes que sustenten su funcionamiento. También se identifica que los canales de baja frecuencia (banda VHF) admiten recepción móvil a velocidades mayores que los canales

⁴⁸ No olvidar que la operación portátil en DVB-T se consigue en combinación con DVB-H.

de alta frecuencia (banda UHF), haciendo comercialmente más atractiva la banda VHF para transmisión a móviles.

3.4. Ancho de Banda y Eficiencia Espectral

3.4.1. Utilización del Espectro y Eficiencia Espectral

Los tres estándares cuentan con especificaciones para operar en bandas de 6 MHz. ATSC e ISDB-T están especificados solamente para ese ancho de banda, mientras que DVB-T cuenta adicionalmente con las especificaciones para operar en bandas de 5 (con limitaciones), 7 y 8 MHz. Con DVB-T, el ancho de banda efectivo utilizado para canales de 6 MHz es de 5,71 MHz, mientras el ancho de banda efectivo para ATSC es de 5,38 MHz e ISDB-T ocupa 5,57 MHz. Sin embargo, en los tres casos la transmisión contiene energía fuera de estos rangos, aunque es despreciable fuera del rango de 6 MHz en todos los casos.

Un aspecto importante es la cantidad de información útil que puede ser transmitida en el ancho de banda asignado, para esto se analiza la eficiencia espectral, el cual se refiere a la tasa de datos neta que un sistema es capaz de transportar dentro del ancho de banda asignado y bajo determinadas condiciones de relación señal a ruido en un determinado ambiente de propagación. ATSC y DVB-T ofrecen tasas de datos muy similares en términos de eficiencia espectral, puesto que en anchos de banda idénticos ofrecen tasas similares y para coberturas similares. ISDB-T presenta cierta desventaja, de acuerdo a los datos disponibles en [42], lo cual es consistente con el menor ancho de banda efectivo utilizado dentro de los 6 MHz disponibles.

Conclusión: Es necesario aclarar que la eficiencia espectral debe analizarse en condiciones cercanas a la realidad de los fenómenos reales de propagación (canales no Gaussianos, recepción en interiores, canales Rayleigh sin línea de vista), en donde DVB-T es el estándar espectralmente más eficiente, debido a las grandes fortalezas de la modulación OFDM.

3.4.2. Posibilidad de Funcionamiento con Bandas de 8 MHz en Colombia

Para el análisis del funcionamiento en un ancho de banda de 8 MHz en Colombia, se tomará como caso de estudio el caso DVB-T, debido a que los otros dos estándares no tienen especificaciones en este modo de operación. La principal ventaja del funcionamiento con bandas de 8 MHz es que el sistema podría proporcionar mayores tasas de datos, que alcanzarían hasta 30 Mbps. Esto permitiría transmitir, por ejemplo, una señal de alta definición (HDTV) junto a una de definición normal (SDTV) en un mismo canal, lo que facilitaría la migración de equipamiento SDTV a HDTV tanto para los operadores como consumidores.

El gran inconveniente de asignar bandas de 8 MHz en vez de 6 MHz es principalmente de tipo regulatorio, específicamente:

- La migración a TV digital tendría que ser obligadamente en la banda UHF, cuya partición en canales existentes tendrían que ser revisadas, con la probable objeción de concesionarios existentes que han invertido en equipos de 6 MHz.
- Una vez llegada la fecha del apagón analógico, la partición y concesiones de la banda VHF tendrían que revisarse para poder extender la banda al modo de 8 MHz, por supuesto sólo en el caso que se decidiera seguir explotando la banda VHF para transmisión de TV. Las condiciones de propagación de esta banda (pérdida de potencia por distancia) son menos severas que en UHF, lo cual las hace económicamente más atractivas, debido a que permiten mayor cobertura con una misma estación transmisora.

- También, la recepción en móviles de canales con frecuencias más bajas es menos perjudicial debido a que una menor dispersión Doppler facilita la recepción en móviles a velocidades más altas.

Conclusión: La escogencia del estándar DVB-T con bandas de 8 MHz tiene la ventaja de ofrecer tasas de datos superiores a ATSC e ISDB-T, o tasas similares pero con menor requerimiento de razón señal a ruido. Esto genera una expectativa interesante para generar una estrategia de migración hacia HDTV. El aspecto regulatorio presenta los mayores desafíos para el funcionamiento en bandas de 8 MHz.

3.5. Coexistencia con Transmisiones Analógicas

Dos aspectos principales para analizar la coexistencia entre transmisiones de TV digital con transmisiones analógicas NTSC, son la interferencia que puede causar una transmisión digital sobre una transmisión analógica en un canal adyacente, y viceversa.

Interferencia de Transmisión Digital a Analógica: En este aspecto se ha puesto un gran cuidado en cuanto a la definición de los tres estándares con el fin de permitir la coexistencia de transmisiones analógicas mientras surge el sistema digital. ATSC, utiliza un filtro de Nyquist en la modulación 8-VSB que implica que la radiación fuera de banda sea en teoría nula. En los otros dos estándares (DVB-T e ISDB –T), la modulación OFDM contiene radiación fuera de banda en forma natural. En la banda de 6 MHz, la energía de esta radiación es muy inferior al 1% de la energía total transmitida, y su potencia decrece en relación con el cuadrado de la frecuencia. Además, en OFDM la radiación fuera de banda puede ser atenuada usando filtros, para los cuales ambos estándares definen máscaras espectrales apropiadas. DVB-T define máscaras espectrales compatibles con transmisiones analógicas PAL, SECAM, NTSC, etc. ISDB-T, por su parte, se enfoca principalmente en la coexistencia con NTSC, el cual es el estándar analógico utilizado en Japón.

Interferencia de Transmisión Analógica a Digital: Este tipo de interferencia no compromete la calidad de la imagen digital, sino que se presenta como una reducción del radio de cobertura. De hecho, al pasar por los entrelazadores de los sistemas de codificación de canal, una señal de interferencia es desmenuzada, tomando el aspecto de ruido blanco.

Este nivel adicional de ruido disminuye la razón señal a ruido en la etapa de decisión del receptor. En la práctica, ninguno de los dos problemas de interferencia puede ser eliminado totalmente, aunque si pueden ser evitados mediante una cuidadosa planificación de frecuencia durante la fase de transición hasta el apagón analógico.

Conclusión: Aunque se debe hacer un análisis más profundo acerca de la disponibilidad de espectro en la banda de UHF para el desarrollo de las transmisiones digitales, la interferencia mutua de las transmisiones digitales y analógicas no es relevante. Finalmente se concluye que ninguno de los estándares presenta ventajas claras sobre los demás.

3.6. Costo y Disponibilidad de Equipos

El análisis sobre costo y disponibilidad de equipos es bastante complejo y no hace parte del proyecto, aunque en este punto se darán algunas pautas sobre este aspecto con el fin de dar una orientación muy general acerca del tema.

3.6.1. Comparación Cualitativa de Costos de Equipos para TVD

En Colombia, el costo y disponibilidad de equipos para recepción de TV Digital es un elemento crítico a tener en cuenta a la hora de la escogencia de un estándar de TV Digital. Un punto muy importante son los costos de los *set-top-boxes* (STB), ya que independientemente del estándar escogido, los usuarios deberán adquirir en primera instancia este tipo de dispositivos para poder utilizar sus televisores analógicos actuales y ver programación transmitida en formato digital. El estudio de algunos elementos

principales en los receptores de TDT como son el demodulador, el decodificador de canal, y el decodificador de transporte y MPEG- 2, dará una idea del costo de los STB

Demoduladores OFDM y 8-VSB: La complejidad de implementar demoduladores OFDM para ISDB-T y DVB-T es similar, y por lo tanto su costo relativo depende principalmente de los volúmenes de producción y venta. Según lo anterior, DVB tiene cierta ventaja, debido a que su mercado es mayor. Debe tenerse en cuenta que un receptor 8-VSB para un sistema ATSC requiere de un ecualizador, cuya complejidad y desempeño puede variar significativamente de un fabricante a otro.

Decodificadores de Canal: El decodificador de canal del sistema ISDB-T utiliza esencialmente todos los bloques principales del decodificador DVB-T, además agrega dispositivos de retardo y entrelazadores adicionales, lo cual aumenta la complejidad y por ende la implementación de un decodificador ISDB-T resulta más costosa que uno para DVB-T. Por el contrario se estima que implementar un sistema de codificación para el sistema ATSC, es menos costoso que el de DVB-T, principalmente debido a la menor complejidad del decodificador *Trellis* de tasa única 2/3 en comparación con un decodificador *Viterbi* para cada una de las 5 tasas posibles del codificador convolucional de DVB-T. La ventaja de ATSC sobre DVB-T puede revertirse debido a los mayores volúmenes de producción de DVB-T con respecto a los de ATSC.

Decodificadores de Transporte y MPEG-2: Debido a que no existen diferencias sustanciales entre los sistemas de multiplexación y transporte de los tres estándares, se puede inferir que el costo de implementación es similar en los tres casos.

Conclusión: Al analizar volúmenes de producción similares, el costo de un receptor para ISDB-T es mayor que para DVB-T y ATSC. Además, el menor mercado mundial de sistemas ISDB-T aumenta esta desventaja. Por último, ATSC y DVB-T, presentan diferencias de costo entre equipos las cuales siempre serán reguladas por el tamaño mundial de los mercados correspondientes.

3.6.2. Breve Inspección de la Oferta Actual de STB

Analizando la oferta y precios de un STB para sistemas ATSC y DVB-T en las paginas de Amazon en los Estados Unidos y el Reino Unido, podemos afirmar que en el caso de Estados Unidos (www.amazon.com) la variedad de oferta de estos aparatos es reducida, posiblemente esto responde a que el paso a TDT está estrechamente ligado a la migración a alta definición, lo cual obliga al consumidor a comprar televisores HDTV, los cuales traen incorporado el receptor ATSC. Algunos valores de los STB ofrecidos en esta pagina oscilan entre US\$190 y US\$400. Esta fluctuación es por que los equipos de bajo precio son básicos y no incluyen características como discos duros que permiten la grabación de un programa digital, mientras se observa un programa diferente en el televisor. Por otro lado en el caso del Reino Unido (www.amazon.com.uk), la oferta de STB para DVB-T es muy amplia, incluyendo algunos con precios muy económicos. Los precios fluctúan entre las 25 y 180 Libras, aunque en este último caso se trata de dispositivos sofisticados con capacidad de grabación. En cuanto a la disponibilidad de equipos STB para el estándar ISDB-T es escasa, posiblemente porque está fuera del ámbito japonés quien esencialmente utiliza este sistema.

Conclusión: Aparentemente se observa una ventaja tanto en precio como en variedad de equipos STB disponibles en la actualidad para DVB-T sobre aquellos para ATSC e ISDB-T.

4. CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS PARA LA MIGRACIÓN A LA TDT

4.1. Inversiones de los Operadores

Uno de los grandes desafíos que atraviesan los operadores actuales de televisión en Colombia es que la implementación de la televisión digital terrestre conlleva nuevas inversiones principalmente en sus redes de transmisión, distribución y en sus estudios (master, edición, producción, postproducción).

4.1.1. Red de Transmisión

La actual red de transmisión de televisión se compone de la “estación de televisión”⁴⁹ donde se recibe la señal en una antena parabólica, luego se pasa a un receptor satelital, para posteriormente ingresarla a un transmisor y transmitir la señal de manera radiodifundida para que los televidentes que se encuentran en el área de cubrimiento de la estación instalen en los techos de las residencias una antena aérea y puedan recepcionar los canales que le llegan por el aire, utilizando el espectro electromagnético.

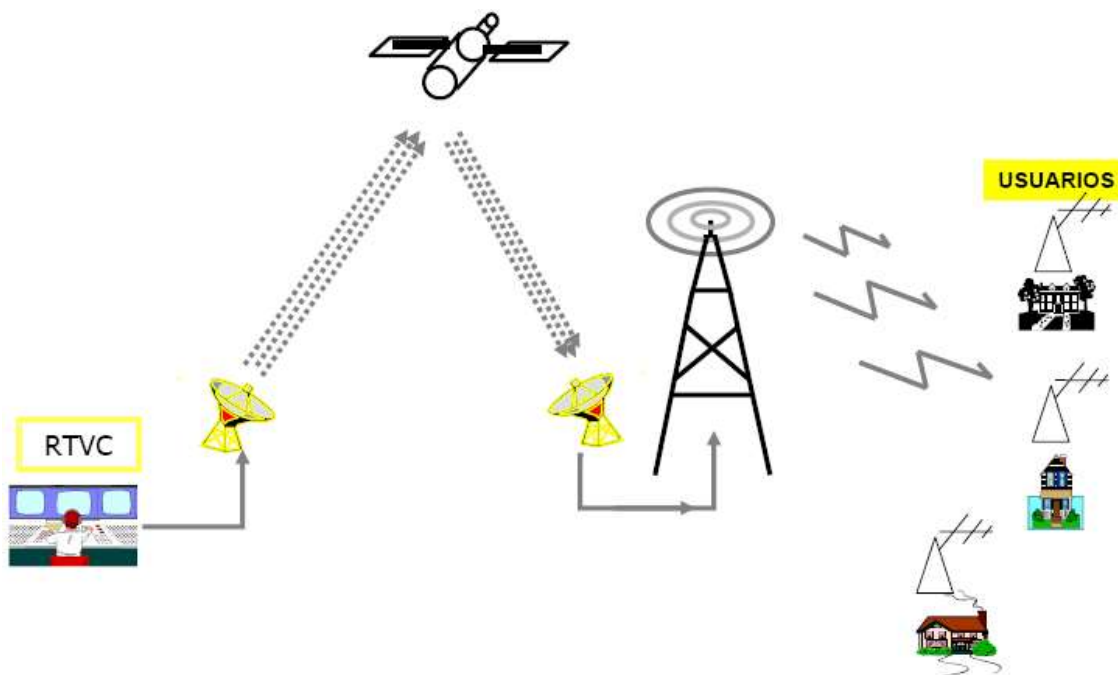


Figura No 23. Esquema básico de la red de transmisión

Posterior a la creación de la Comisión Nacional de Televisión, se proyectó, planificó y se contrató la modernización, fortalecimiento y cambio de la red de transmisión de la televisión pública existente en el país. Por ésta razón se llevó a cabo el contrato 151 de 1998, en el que se adquirieron 575 transmisores de baja potencia y 23 equipos de media y alta potencia, interviniéndose un total de 228 estaciones de la red pública de televisión.

⁴⁹ En Colombia es la RTVC, Radio Televisión Nacional de Colombia: conformada por la cadena uno, señal colombiana y el canal institucional.

Adicionalmente, con el contrato 053 de 1999 la Comisión Nacional de Televisión realizó la adquisición de equipos para modernización y fortalecimiento de la red primaria de Inravisión (hoy RTVC). En ejecución de este contrato se adquirieron un total de 36 equipos de transmisión de alta y media potencia para un total de 17 estaciones.

Estos equipos fueron adquiridos con la opción de poder ser convertidos de analógico a digital. Por lo tanto, para adecuar los equipos existentes de analógico a digital, se requieren los siguientes cambios:

- Reemplazar el modulador analógico por el digital.
- Reemplazar la plaqueta de FI análoga por módulos de corrección.
- Asumiendo que el transmisor analógico existente operará en canal diferente al actual, se requiere resintonizar el mismo y cambiar filtros de salida.
- Modificar en el circuito de medición la potencia de pico por la potencia promedio. El medidor de la potencia de audio es inhabilitado.

Cabe destacar que la red de transmisión financiada por la CNTV fue instalada en el año 1999 y por tanto lleva operando más de siete años. Por esta razón, en el evento en que se decida realizar la conversión de los transmisores de analógico a digital, será necesario evaluar las inversiones que se deben realizar para hacer los ajustes a digital frente al costo de la adquisición de un nuevo transmisor. No obstante, como se mencionó anteriormente, en el periodo de transición debe convivir el transmisor analógico y el digital, Por lo tanto se requiere duplicidad en los equipos.

4.1.2. Red de Distribución

La red de distribución es la encargada de llevar la señal desde los centros de emisión hasta las estaciones transmisoras, Las emisiones de TDT tendrán lugar en la misma banda UHF que la televisión analógica, por lo tanto, siguen sirviendo las mismas redes de distribución⁵⁰ de señal que actualmente se usan para la señal analógica, pues ambas son señales en la banda UHF. Sin embargo los amplificadores instalados suelen ser monocanal (sólo amplifican la señal de un único canal UHF) y además están pensados para señales de tipo analógico. Por lo tanto se hace necesario añadir un nuevo amplificador de canal por cada canal usado para transmisión de televisión digital. La Figura No 24, muestra el esquema de la red de distribución actualmente utilizada en Colombia.

De acuerdo a los equipos de transporte utilizados en Colombia, la red de transporte es adecuada tanto para canales públicos nacionales y regionales como para los privados. Por esta razón no es estrictamente necesario hacer nuevas inversiones con el fin de actualizar la red de transporte.

⁵⁰ Encargada de llevar la señal desde los centros de emisión hasta las estaciones transmisoras.

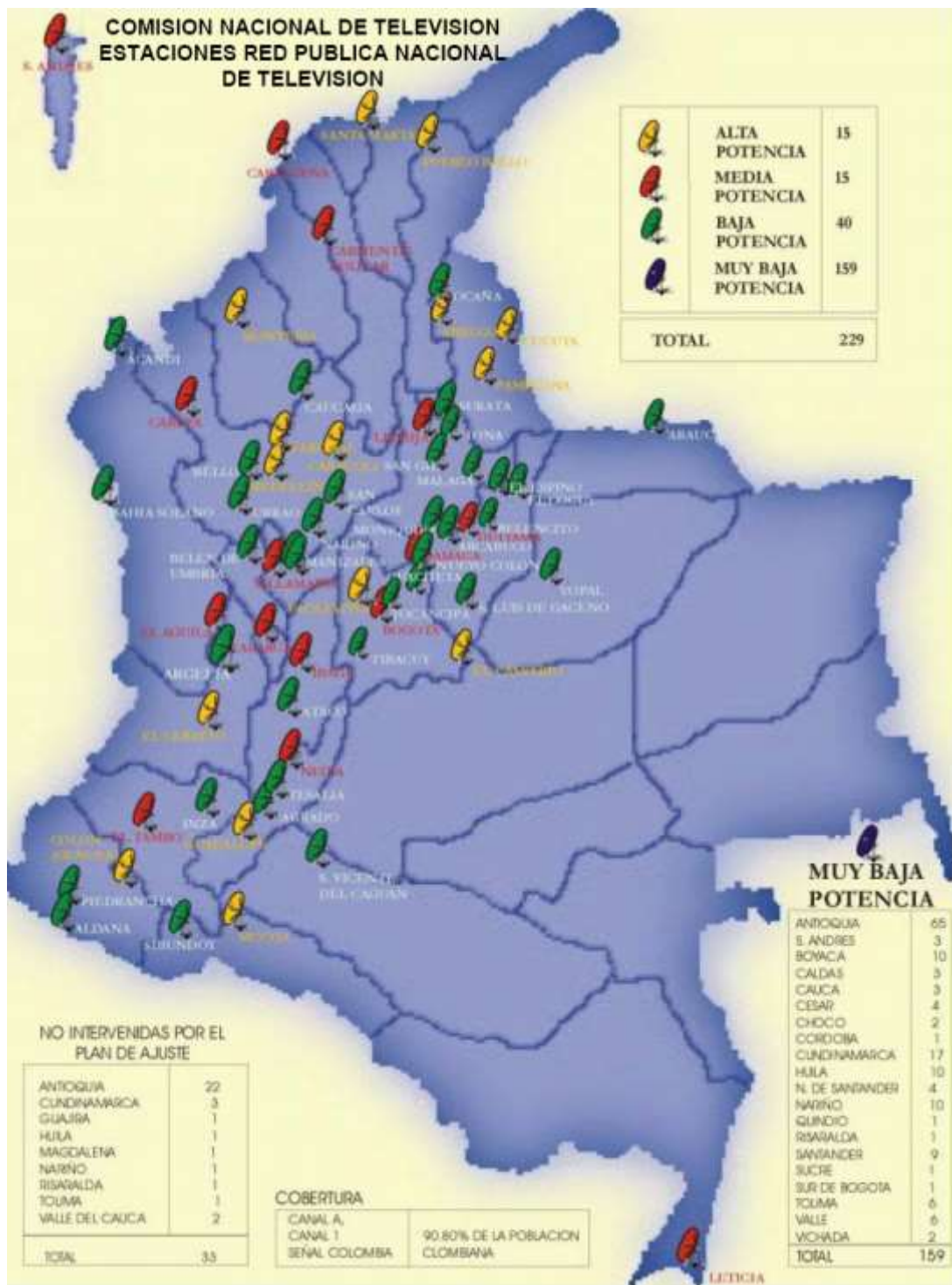


Figura No 24. Red de Distribución de Televisión

4.1.3. Estudios

Actualmente, la mayoría de equipos utilizados en los estudios como son equipos del máster, producción, edición se encuentran digitales y las inversiones ha realizar serían menores. Sin embargo, para RTVC y los Canales Regionales sería necesario realizar inversiones para adquisición de cámaras en formatos de alta definición, si se decide producir contenidos con esta capacidad.

4.2. Simulcast

Debido a la gran demanda por el uso de frecuencias en las bandas VHF y UHF, la eficiencia espectral es un aspecto muy importante para la migración de operación NTSC a operación TDT; teniendo en cuenta que ambos sistemas de televisión terrestre deberán convivir durante un periodo de tiempo denominado “*simulcast*” (Figura No 25). Este aspecto conduce al desarrollo de un plan de distribución espectral de frecuencias para TDT que en un principio haría migrar a las estaciones de televisión NTSC existentes a un canal radioeléctrico basándose en criterios técnicos que llenen tanto las expectativas del radiodifusor como las del consumidor.

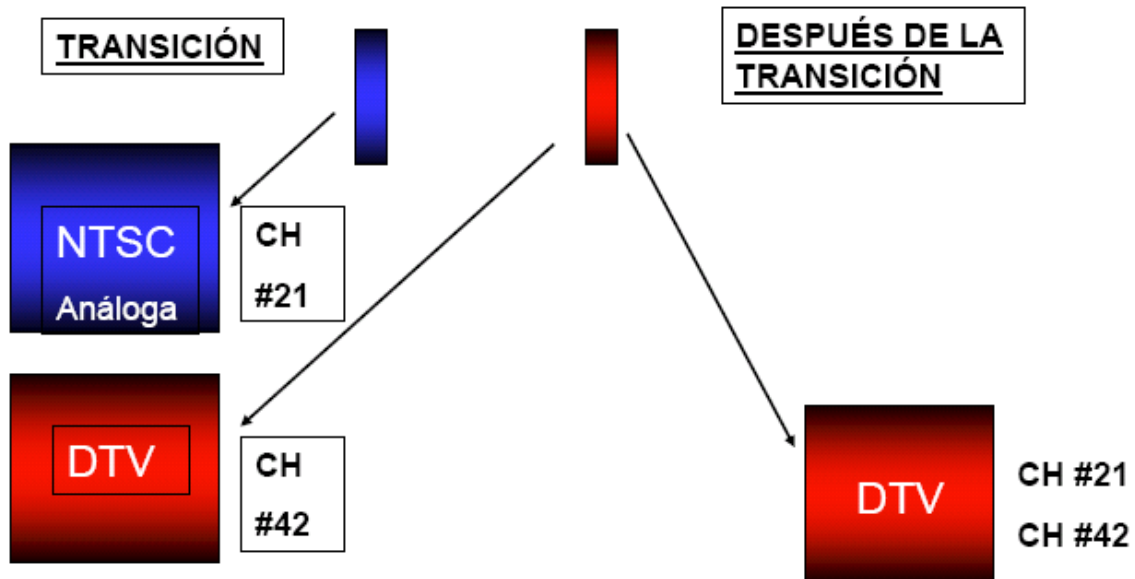


Figura No 25. Panorama de Televisión antes y después del *simulcast*.

4.3. Planificación de Canales TDT

El espectro radioeléctrico es un recurso importante y altamente valioso que debe gestionarse adecuadamente para satisfacer las políticas establecidas. Colombia debe desarrollar un plan para canales que serán usados en la radiodifusión terrenal digital, independientemente de la norma digital que elija.

El desarrollo de un plan eficiente y eficaz para efectuar asignaciones de canales TDT en el espectro existente actualmente dedicado a la radiodifusión de televisión analógica es uno de los aspectos más importantes y difíciles de planificar para lograr una transición exitosa a la TDT, especialmente en Colombia donde las bandas de televisión ya están densamente ocupadas.

Para la implementación de la Televisión Digital Terrestre deben tenerse en cuenta entre otros los siguientes aspectos.

- La Televisión Digital Terrestre reemplazará a la actual Televisión Analógica usando las bandas de frecuencia VHF y UHF.
- Es necesario hacer una planificación de canales, la cual permite garantizar que las estaciones de Televisión Digital tengan una cobertura similar a la de las estaciones analógicas actuales; durante una etapa inicial denominada “Fase de Transición”, en la cual los canales analógicos y digitales se transmitirán simultáneamente. (“*simulcasting*”).
- La planificación del sistema digital debe hacerse por lo menos en dos etapas: en la primera etapa la TDT podría aplicarse solamente a ciudades que cuenten con estaciones de potencia completa en funcionamiento y, en una etapa posterior a ciudades donde solamente haya estaciones traductoras y en zonas de sombra. Sin embargo, esto queda a consideración de la Comisión Nacional de Televisión quien finalmente será la encargada de tomar este tipo de decisiones.

Una de las consideraciones fundamentales que deben enfrentarse al desarrollar cualquier plan para la ocupación del espectro por parte de estaciones de televisión es la interferencia, y más específicamente la necesidad de evitar esa interferencia entre estaciones. La operación simultánea de estaciones de televisión en la misma frecuencia o en frecuencias adyacentes dentro de la misma zona geográfica puede interferir sus respectivas señales con resultados que son perjudiciales para su operación. Si las señales de dos estaciones se hacen presentes en un receptor con niveles de intensidad relativamente altos, el receptor no podrá distinguir entre ellas y su imagen se verá degradada. Por esta razón, la planificación del espectro está principalmente limitada por la interferencia que pueda producirse entre estaciones. En general, la interferencia tendrá lugar cuando la relación entre una señal deseada y una señal no deseada (D/U) está por debajo de un determinado nivel. Debido a que la potencia de las señales de radio disminuye con la distancia, entre más próximas estén las estaciones entre sí mayor será la probabilidad de una interferencia entre ellas. Al aumentar el número de estaciones en una zona generalmente tiene como resultado una menor separación entre sus emplazamientos pero un mayor potencial de interferencia. Para evitar o minimizar la interferencia pueden separarse las estaciones, asignando a las estaciones cercanas diferentes frecuencias posiblemente separadas por varios canales y diseñando receptores que soporten la interferencia.

La interferencia también puede minimizarse seleccionando métodos de modulación de la señal que sean resistentes a la recepción de interferencias y que en lo posible no produzcan interferencias.

El desempeño del sistema de transmisión TDT es un factor importante para determinar la distancia que deben mantener entre sí las estaciones para que funcionen sin causarse interferencias mutuamente. Si un sistema es más robusto como para tolerar señales interferentes, y más indulgente como para no causarlas, será posible ubicar las estaciones TDT a menor distancia y así hacer un uso más eficiente del espectro. Básicamente, un sistema más robusto y benévolo permitirá que un mayor número de estaciones TDT ocupen el mismo espacio del espectro y brindará la oportunidad de recuperar un mayor espacio del mismo para nuevas aplicaciones.

Actualmente, la CNTV cuenta con un plan de frecuencias que contempla la posibilidad de asignar frecuencias para televisión digital, sin embargo será necesario adoptar políticas para hacer un uso más eficiente del espectro, incluyendo la posibilidad de recuperar una porción de él para nuevos usos. Este plan deberá proporcionar a los radiodifusores un segundo canal para la operación TDT durante la transición. Al culminar el período de transición cesarán las operaciones analógicas y se recuperará uno de los dos canales de los radiodifusores.

Una decisión que deberá tomar la CNTV es la posibilidad de asignar un espectro adicional para el sistema TDT o que los canales TDT ocupen el mismo rango que los canales analógicos, además de decidir si el servicio de transmisión TDT ocupara el mismo ancho de banda de 6 MHz que los canales de TV analógica.

Finalmente, una de las principales tareas para el servicio TDT consiste en adjudicar a todas las estaciones de televisión un segundo canal para la operación TDT e incorporarlo al espectro ya existente para la televisión junto a los canales analógicos ya incluidos en él.

4.3.1. Determinación de fuentes de interferencia

Dentro de estas se tienen las interferencias co-canal y de canal adyacente: de TDT a NTSC, de NTSC a TDT y de TDT a TDT. La interferencia co-canal se produce por señales que comparten un mismo canal radioeléctrico, mientras que la interferencia de canal adyacente se da entre señales que se sitúan en canales contiguos.

El problema de la interferencia co-canal, esta limitado para la señal NTSC a una distancia mínima entre transmisores co-canal, se habla de 275 Km para la banda de UHF, y una menor distancia entre un canal TDT y un NTSC, esta restricción para Colombia no aplica dado nuestra profunda irregularidad geográfica.

De acuerdo a pruebas llevadas a cabo por la ACATS⁵¹, el nivel de señal deseada frente al de señal no deseada (D/U) esta alrededor de 33 dB en el extremo del área de cobertura NTSC. Una forma de mejorar la D/U podría ser empleando polarización de onda vertical para Transmisión Digital, dado que en nuestro país la norma técnica de televisión establece canales NTSC de polarización de onda en el plano horizontal. La protección suministrada por esta polarización cruzada es mayor cuando la señal no deseada viene en la misma dirección que la señal deseada, y es mínima cuando la señal cuando la señal no deseada viene desde atrás de la antena de recepción.

En la interferencia co-canal TDT a TDT ambas señales pueden ser observadas como ruido blanco gaussiano aditivo. Por lo tanto, éste tipo de interferencia esta altamente asociada con la relación C/N (potencia de la portadora/potencia del ruido), la misma que depende fuertemente de la modulación y codificación de canal utilizadas. Un buen desempeño de la relación de interferencia C/I (potencia de la portadora/portadora de la señal interferente) co-canal de TDT puede resultar en una menor interferencia al servicio de televisión analógico existente.

La interferencia de las señales TDT a canales adyacentes NTSC depende principalmente del diseño de los sintonizadores de los receptores NTSC. Bajo condiciones de señal débil, el amplificador RF opera en máxima ganancia, tanto que la señal no deseada en el canal adyacente es amplificada antes de alcanzar el mezclador, donde este podría generar intermodulación. En niveles de alta señal interferente, esta señal es transformada en frecuencia antes del filtro IF pasa banda y no puede ser adecuadamente atenuada por el filtro IF. Tal interferencia de canal adyacente, cuando esta alcanza el segundo detector contribuye al ruido en el cuadro.

4.3.2. Disponibilidad de canales para TDT

En Colombia, las bandas de frecuencia asignadas al servicio de televisión están en uso intensivo y por esta razón es necesario buscar formas de adecuar el nuevo servicio digital dentro de las actuales bandas de VHF y UHF destinadas a la televisión analógica. Una de las posibles soluciones consiste en la utilización de canales que estaban privados del uso en el sistema analógico por las características que tienen. Estos canales son el co-canal n, los canales inmediatamente superior e inferior n+1, n-1, los canales del oscilador n+5, n-5, el canal imagen n+9, entre otros.

Los transmisores TDT pueden operar en cualquiera de los canales asignados para NTSC, siempre que su Potencia Efectiva Radiada sea mas baja que la requerida para el funcionamiento de NTSC, y además que el espectro de la señal sea diseñado para proporcionar la mínima interferencia a NTSC. Este

⁵¹ Advisory Committee on Advanced Television Service, organismo encargado de asesorar a la FCC sobre el servicio de televisión avanzada en los Estados Unidos

requerimiento es alcanzado dado que utilizar modulación digital hace que la densidad espectral de potencia sea constante dentro del canal asignado, esto es, la señal digital tiene igual probabilidad de ocurrencia generando un espectro aleatorio, tal como si fuera ruido blanco. Para que la señal se vea como ruido a lo largo del tiempo, los datos deben ser aleatorizados en el transmisor y desaleatorizados en el receptor.

4.3.3. Consideraciones de protección durante y después del simulcast

Para un entorno en donde coexistan TDT y NTSC, las relaciones de protección dependen de factores como incluir esquemas de modulación, código corrector de errores usado, sincronización, calidad de cuadro y protección de interferencias. La interferencia digital al servicio analógico aparece como ruido por lo cual la relación de protección co-canal (de señal deseada a no deseada D/U) esta aproximadamente en el rango de 35 a 45 dB. Para el servicio digital la interferencia puede resultar del servicio analógico o del mismo servicio digital, en este caso, la relación de protección co-canal, puede estar en un rango de 5 dB (interferencia TDT a TDT) a 20 dB (interferencia NTSC a TDT).

Para una buena relación de protección co-canal se debe establecer la intensidad de campo requerido en recepción, para lo cual deben ser tomados en cuenta parámetros como: la figura de ruido, relación C/N de recepción, ganancia de la antena y pérdidas de la línea de alimentación.

Finalmente, es necesario buscar márgenes de protección entre radiodifusores, ya que cuando se diseñan redes de televisión, el área de cobertura se determina principalmente por la interferencia con otros transmisores más que por el mínimo campo detectable de la señal de televisión. Por lo tanto, como la señal de TDT utilizara la misma banda que la analógica se tendrá que vigilar tres márgenes de protección: televisión digital con analógica, televisión analógica con digital y televisión digital con digital.

4.3.4. Principios de asignación de canales

El desarrollo de una nueva tabla de distribución de canales para el servicio de TDT requiere determinar los límites de cobertura, los efectos interferentes de las nuevas frecuencias TDT propuestas, los márgenes de protección, etc.

El primer paso es asignar a todos los radiodifusores existentes, que lo deseen, un segundo canal de 6 MHz para el servicio de TDT. Inicialmente se debe dar prioridad a las estaciones existentes y después a nuevas estaciones TDT, que lo soliciten.

El área de cobertura del nuevo servicio TDT podría ser una replica del servicio actual, esto exige que se especifique para cada estación TDT un ERP (*Effective Radiated Power*) y un HAAT (*Height Above Average Terrain*) máximo, tal que se alcance una copia del área de cobertura NTSC.

En lo que tiene que ver con el espectro de frecuencias y basándose en estudios de la FCC se establece que existe una región de 270 MHz (canal 7 al 51) que es mas apropiada para la radiodifusión de TDT y que es suficiente para acomodar a todas las estaciones existentes y nuevas. En un sentido técnico, se observa que en la banda VHF baja (canal 2 al 6) las señales son mas susceptibles a degradación debido a ruido atmosférico y ruido causado por el hombre, mientras que en la banda UHF alta (canal 52 al 69) existe gran propagación de perdidas y son muy susceptibles a efectos de multitrayectoria y de zonas oscuras. En consecuencia, el servicio de televisión digital podría estar ubicado en un núcleo central, entre las bandas VHF y UHF desde el canal 7 al canal 13 (174 – 216 MHz) y desde el canal 14 al 51 (470 – 698 MHz).

En Colombia, las bandas de frecuencia se dividen en 60 canales de 6 MHz de ancho de banda, que van del 2 al 13, del 21 al 36 y del 38 al 69, por lo tanto, se propone que el servicio TDT vaya desde el canal 7 al 13 y desde el canal 21 al 51. La Figura No 26, muestra este núcleo central.

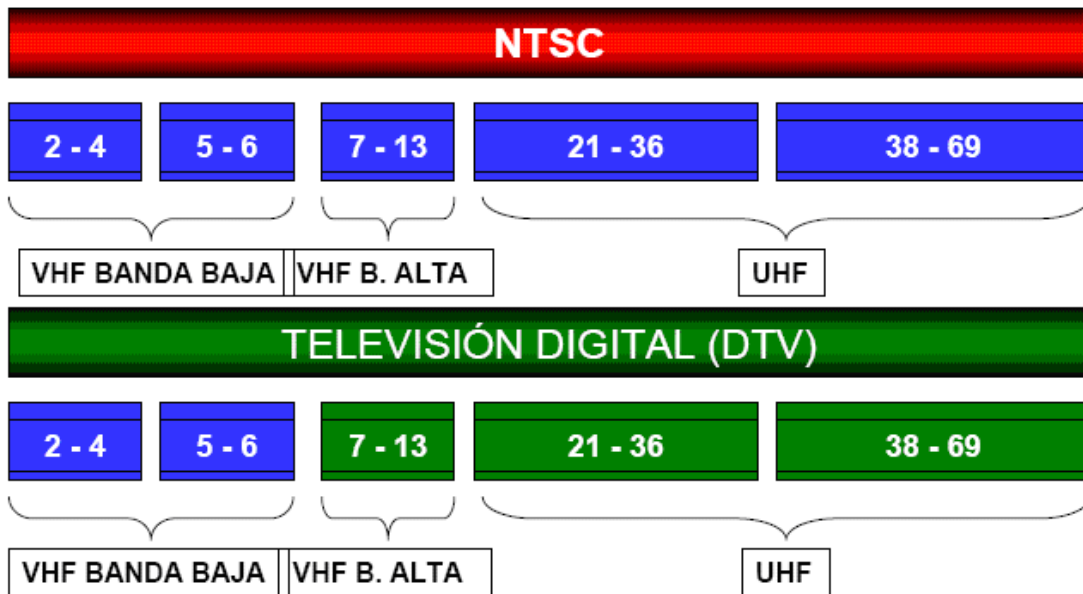


Figura No 26. Atribución de Bandas y Canales en Colombia

Lo ideal es que las estaciones de televisión existentes se queden en el canal actual y se asigne un nuevo canal, dentro del núcleo central, para el servicio TDT. De este forma cuando termine el simulcast, las estaciones abandonarían el canal analógico y se quedarían definitivamente en el canal digital, consiguiendo de esta forma una liberación de espectro que conlleva a más canales para TDT u otros servicios.

En cuanto a los límites de la Intensidad de Campo, y de acuerdo a [43], la FCC limita la intensidad de campo mínima a proteger, en el contorno del área de cobertura a los valores indicados en la Tabla No 5.

BANDA	CANALES	INTENSIDAD DE CAMPO MINIMA
VHF-L	2-6	28 dBuV/m
VHF-H	7-13	36 dBuV/m
UHF	14-51	41 dBuV/m

Tabla No 5. Intensidad de Campo mínima a proteger de señales TDT en los límites del área de cobertura

Según [44], la FCC define el valor de la Intensidad de Campo para el contorno del área de cobertura en la banda UHF (canales 14 al 69), mediante la siguiente expresión:

$$\text{Intensidad de Campo} = 41\text{dBu} - 20\log\left(\frac{615}{F_o}\right)$$

Donde F_o es la frecuencia central del canal TDT.

Finalmente, con el objetivo de mantener la calidad de la señal de televisión analógica y digital en niveles subjetivamente aceptables, los valores de la Tabla No 5 más las relaciones de protección (TDT – NTSC) deben cumplirse durante el tiempo que dure el simulcast.

4.3.5 .Plan de implementación del simulcast y sus costos estimados

Actualmente muchos países están realizando pruebas con las dos normas de televisión digital DVB-T e ISDB-T y no deciden que sistema escoger. Uno de los factores para la escogencia entre uno u otro sistema depende del servicio que se quiera proporcionar a su país o región. DVB se enfoca en movilidad y convergencia multimedia, cuyas plataformas abiertas han creado estándares compatibles para televisión terrenal, de cable y por satélite, y actualmente es el más extendido y comercializado del mundo. Por otro lado la norma ATSC se enfocada a televisión de alta definición y recepción fija, aunque actualmente hace esfuerzos por lograr movilidad.

De acuerdo a lo anterior, establecer los plazos para la implementación del simulcast requiere primero elegir un sistema de televisión digital. Una vez que se haya decidido el estándar debe procederse a establecer los plazos para el simulcast teniendo en cuenta que estos podrían depender del mercado interno como del externo. En este sentido y tomando ejemplos de otros países, en Colombia la CNTV ha estipulado como plazo para dejar de emitir señales analógicas hasta el 2017 según su cronograma, en países como Dinamarca se ha establecido como plazo hasta el 2008, y el resto de Europa hasta cerca del 2010. Hay que considerar que en éstos países ya existen transmisiones de TDT, así en el Reino Unido hay transmisiones de DVB-T desde 1998; en España y Alemania desde 1999; y en Noruega, Finlandia y Holanda, desde el 2000.

Observando los datos anteriores, se puede concluir que en nuestro País el lapso de migración a TDT será parecido a los mencionados. Tomando en cuenta que aún no elegimos una norma técnica de TDT, que el poder adquisitivo de los colombianos está concentrado en pocos sectores del país, y que la migración requiere un buen tiempo con el fin de lograr una transición exitosa. El tiempo que dure el simulcast se podría estipular en un plazo de 10 a 15 años a partir del momento que se elija la norma TDT o hasta que una gran mayoría de la población pueda acceder al servicio TDT.

Los costos de la planta de transmisión están, principalmente, afectados por los requerimientos de ERP (Potencia Radiada Efectiva). Lo primero que debe asumirse para estimar los costos son los niveles de ERP. Una de las ventajas de TDT frente a NTSC es que puede incluir una réplica de la cobertura NTSC por una estación TDT operando a niveles más bajos de potencia promedio que la potencia pico NTSC. Así por ejemplo, para cubrir una zona en un canal VHF, un transmisor NTSC requeriría una potencia de 20 kW de ERP máximo, mientras que un transmisor TDT operando en el mismo canal VHF requeriría 1.125 kW de ERP promedio, esto es 12 dB menos potencia que el transmisor NTSC. Para modelos de transmisores TDT UHF se podrían asumir tres niveles de potencia, bajo, medio y alto. El modelo de baja potencia, por ejemplo, se podría basar en 10 kW de ERP para una cobertura de 65 Km. El de potencia media podría basarse en una potencia de 320 kW, la misma que esta 12 dB más abajo que el ERP de 5 MW máximo de NTSC UHF.

Para estaciones que tienen su estación NTSC actual en VHF y se les ha asignado un canal UHF para DTV, para hacer una réplica de cobertura NTSC, la planta DTV tendría que operar en niveles altos de potencia.

4.4. Sistemas de torres, antenas y transmisores

Durante el periodo de transición de NTSC a TDT, muchos radiodifusores pueden usar las torres existentes para transmitir las dos señales NTSC y TDT. Algunos pueden optar por añadir líneas de transmisión y antenas TDT nuevas; otros pueden combinar sus señales TDT con NTSC y transmitir con una línea y antenas comunes; y otros pueden elegir por agruparse en una nueva estructura común para

muchos canales locales. Pero finalmente este aspecto es un asunto de costos y factibilidad el cual será decidido por los radiodifusores.

La posibilidad de colocar nuevas torres de transmisión para TDT, en Colombia es baja debido a que los sitios de ubicación, en la actualidad son escasos. Aun cuando se lograra vencer estos obstáculos, políticas restrictivas y preocupaciones de seguridad pueden retrasar la construcción de nuevas torres para TDT por un buen tiempo. De ahí que se analice la posibilidad de usar las torres existentes para soportar las nuevas antenas TDT. Las consideraciones de cobertura son particularmente importantes en TDT debido a que toda la energía no deseada, tal como reflexiones, se traducen en pérdida de cobertura, mientras que la señal de energía no deseada en NTSC se traduce en pérdida de calidad del cuadro.

Las torres existentes, frecuentemente, están totalmente ocupadas, por lo tanto una solución para los radiodifusores es multiplexar dos canales dentro de una misma antena para evitar tener que construir nuevas torres. Este método permite ahorrar mucho dinero, asumiendo que dicha antena tiene el ancho de banda requerido. Muchas de las antenas VHF existentes están sintonizadas para operar en un canal específico, y no podrían ajustarse a una operación de multiplexación, pero los diseños de antenas tipo "batwing" y tipo "panel" se ajustan al funcionamiento de multiplexación si son apropiadamente diseñadas y probadas. Las antenas "batwing" tienen características únicas que las hacen ideales para operación $n + 1$ (TDT en el canal adyacente superior y NTSC en el canal n). Las antenas *batwing*, cuando son usadas con una línea de entrada dual y combinadores híbridos, pueden ser utilizadas para operación $n + 1$.

La Figura No 27, muestra el diagrama de un combinador para antena *batwing* operando de esta manera.

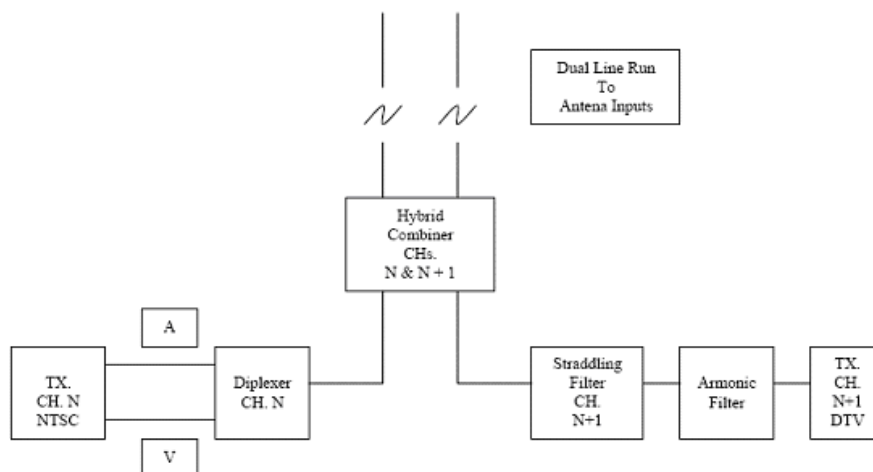


Figura No 27. Combinador TDT para antenas tipo batwing

Las antenas *batwing* también pueden trabajar en multiplexación con canales no adyacentes, por ejemplo, canal 7 y canal 9 en la misma antena. El funcionamiento de multiplexación en VHF es atractivo debido a que ayuda a mantener la carga de la torre al mínimo. Las antenas panel también pueden ser diseñadas para operación múltiple, pero no en canales $n + 1$, debido a que ellas no se adaptan a los combinadores híbridos. La operación múltiple $n + 1$ no es factible en este sistema debido a que los requerimientos de filtraje de los combinadores son demasiado rigurosos y podrían producir características de retraso de grupo indeseables. Muchas de las antenas UHF existentes de alta potencia son diseñadas para operar en un único canal. Sin embargo muchos fabricantes han desarrollado antenas tipo *slot* que pueden ser usadas para operar en canales n y $n - 1$. Arreglos de *slots* alimentados por ramas de baja potencia pueden ser diseñados para operar en varios canales.

Actualmente, en Colombia se utiliza arreglos de antenas tipo panel, las cuales son las únicas antenas UHF capaces de operar en banda ancha. Estas tienen la ventaja de ser versátiles en cuanto a los patrones de radiación; pero tienen la desventaja de tener muy alta carga de viento y un sistema de alimentación coaxial algo complejo.

A continuación se indican algunas de las ventajas y desventajas de compartir las antenas y líneas de transmisión.

Ventajas

- Baja carga de viento, dado que se comparten la antena y línea de transmisión.
- Centro de radiación y HAAT (altura de la antena sobre el terreno medio) comunes.
- Patrones similares de elevación y azimut para cada estación.
- Es más atractiva para las autoridades encargadas de la zonificación local (torres menos desordenadas).
- Reducidos costos iniciales.

Desventajas

- Los problemas que se den en las antenas y líneas de alimentación afectan a todas las estaciones (NTSC y DTV)
- Es necesario altos niveles de cooperación entre muchas estaciones.
- Un mantenimiento regular es crucial para un buen desempeño a largo plazo.

Hacer que los patrones de radiación diseñen de acuerdo a las necesidades de todos los consumidores no es fácil para las estaciones.

Por otro lado, durante el período de transición a la televisión digital, se afronta el reto de tener que mantener e instalar un segundo transmisor de TV de alta potencia. La primera y mayor tarea es la selección del transmisor con la tecnología apropiada para su aplicación particular. Existen dos tecnologías de transmisión principales empleadas en los transmisores TDT de alta potencia: la que utiliza amplificadores de tubo de vacío y la que emplea amplificadores de estado sólido. La determinación de la tecnología apropiada dependerá del nivel de potencia y la frecuencia de operación requerida. En los canales de VHF, debido a los niveles relativamente bajos de Potencia Radiada Aparente (PRA) requeridos (menos de 100 kW), virtualmente todos los transmisores TDT son de estado sólido. Estos transmisores típicamente utilizan módulos amplificadores MOSFET de estado sólido de 250 a 500 Watts que operan en paralelo para lograr niveles de potencia de 1 a 2 kW por gabinete. En los canales de UHF, los rangos de PRA de 50 kW a 1000 kW crean la necesidad para dos tipos de transmisores TDT: de tipo tubo y de estado sólido. Los transmisores a tubo de vacío típicamente utilizan un Tubo de Salida Inductiva (IOT). Los transmisores de estado sólido generalmente utilizan el MOSFET de difusión lateral o LDMOSFET. Cada tecnología de transmisión ofrece sus propios beneficios particulares. La tabla No 6, ofrece una breve comparación de los méritos relativos de cada tecnología.

Parámetro	Tubo IOT	Estado Sólido (LDMOS)
Potencia por gabinete de Amplificación de potencia (PA)	21 kW promedio	7.25 kW promedio
Modelos disponibles (Potencia Promedio)	15, 21, 30, 42, 63, 84 kW	1, 8, 3.6, 5.5, 7.25, 10.5, 14, 20.5, 27.5, 34.5 kW
Configuración	Un IOT por gabinete	16 módulos de 500W por gabinete
Redundancia	Requiere gabinetes adicionales	Requiere poca redundancia

Eficiencia RMS	20 a 25 %	18 a 20 %
Equipo periférico	Sistema RF, intercambiador de calor, módulo de bomba, transformador HV, regulador de voltaje	Sistema de RF, sistema de aire
Enfriamiento	Agua/glicol	Aire forzado
Fuente de energía principal (por gabinete)	1x36 kV a 3 Amp	8x32 V a 125 Amp
Tiempo de instalación	2 semanas/gabinete de amplificación de potencia *	1 semana /gabinete de amplificación de potencia *
Mantenimiento requerido	200 horas por año	20 horas por año *
Nivel de habilidad requerido para Mantenimiento	Ingeniero con 5 años de experiencia *	Ingeniero con 1 año de experiencia *
Precio de compra por watt (aproximadamente)	US \$ 20 - US \$ 25 por watt	US \$ 50 - US \$ 55 por watt
PAR de la emisora	200 a 1000 kW PAR	0 a 500 kW PAR

*Valores Estimados

Tabla No 6. Transmisores IOT v/s Transmisores de Estado Sólido

Generalmente, los costos de amplificación de estado sólido llegan a ser prohibitivos en potencias de salida superiores a 25 kW (promedio). Por lo tanto, el transmisor de estado sólido puede ser una opción viable para estaciones con una PRA baja, dependiendo de la ganancia de antena y la línea de transmisión utilizadas.

Uno de los principales inconvenientes encontrados con las nuevas instalaciones de transmisores de IOT es el de obtener capacidad suficiente de energía eléctrica de corriente alterna (CA). En un transmisor de IOT se requiere de una alimentación de voltaje primario de 480 V CA trifásico. En la mayoría de los casos, es necesaria la instalación de un nuevo servicio de 480 V CA para suministrar energía al nuevo transmisor IOT. Muchos de los sitios UHF existentes de televisión analógica no tienen capacidad de reserva de 480 V CA suficiente para instalar un segundo transmisor a plena potencia por otra parte, la mayoría de los sitios VHF no utilizan el voltaje de 480 V CA (208 o 240 V CA es el rango típico más común en transmisores VHF).

El siguiente desafío principal es la disponibilidad de espacio para el nuevo transmisor. Muchos de los sitios actuales de transmisión NTSC presentan dificultades de espacio en una de tres áreas: espacio de piso disponible para los gabinetes del transmisor, espacio en el techo de la sala para el sistema de radiofrecuencia (RF) o espacio disponible en el exterior para el sistema de enfriamiento y fuentes de alto voltaje.

Desde el punto de vista de instalación, los transmisores de estado sólido son más fáciles de ubicar debido a que no requieren una gran cantidad de equipo periférico y utilizan línea coaxial de RF en lugar de la guía de onda rectangular (requerida por un transmisor IOT). Por lo tanto, se adaptan con gran facilidad a la mayoría de los edificios de transmisores NTSC.

Existe una gran variedad de opciones de voltaje de entrada (desde 208 a 480 V CA) que permite la conexión a los sistemas de energía existentes con gran facilidad. La mayor dificultad planteada por un transmisor de estado sólido está generalmente relacionada con el sistema de enfriamiento.

4.5. Terminales

La señal de televisión digital llega a las terminales de todas las viviendas, pero la señal llega codificada en un formato que los receptores actuales de televisión analógica no entienden, por lo tanto para sintonizar las emisiones digitales en un televisor convencional hay que conectar un receptor digital externo (STB) o decodificador compatible con el estándar escogido (Figura No 28), que demodule la señal, interprete el flujo MPEG-2, extraiga el programa seleccionado, lo decodifique y lo envíe al receptor de televisión analógica, esto permitirá que "el actual televisor interprete la señal digital". No habrá pues que deshacerse de los 50 millones de televisores que hay en los hogares colombianos, aunque se podrán cambiar en el futuro por un televisor digital integrado que no precisa decodificador adicional.



Figura No 28. Diagrama general para la recepción de TDT en un televisor convencional.

La otra opción consiste en adquirir un televisor con sintonizador para televisión digital, cuyo precio en la actualidad es desorbitado, y desde luego muy superior al de un decodificador externo. Otra posibilidad alternativa es adicionar a un computador una tarjeta receptora⁵² en formato PCI o incluso PCMCIA.

Requisito de decodificación de todos los formatos

Uno de los requisitos que debe considerarse es que todos los receptores TDT puedan recibir y decodificar todos los formatos de video posibles del sistema escogido por la CNTV, que pudiera enviar un radiodifusor. La decodificación de todos los formatos es esencial para permitir luego la incorporación de la televisión de alta definición (HDTV).

Este requisito es de suma importancia a la hora de iniciar la transmisión de TDT ya que el no proporcionar la decodificación de todos los formatos podría llevar en un futuro a la necesidad ineficiente de tener que enviar dos señales digitales, una para HDTV y otra para SDTV (televisión digital con definición normalizada); conllevando finalmente a nuevas inversiones por parte de los radiodifusores.

4.6. Antenas Colectivas

Las emisiones de TDT tendrán lugar en la misma banda UHF que la televisión analógica, sin embargo para sintonizar esta nueva señal suele ser necesario modificar la instalación de antena colectiva del edificio (o la propia de la vivienda). Ver Figura No 29.

La TDT se recibe a través de la antena convencional, sea individual o colectiva. Pero aunque no hace falta instalar una antena nueva, sí hay que modificar las existentes según los requisitos técnicos de la TDT. En las viviendas que disponen de antena colectiva habrá que adaptar la instalación original para

⁵² Esta tarjeta es totalmente dependiente del estándar de transmisión escogido.

captar y distribuir la señal de TDT hasta el interior de cada hogar (desde 1998, por imperativo legal, los edificios de nueva construcción incorporan un amplificador en la antena colectiva para recibir la televisión digital). El cableado del edificio sólo habrá que cambiarlo donde hoy ya se vea mal la televisión analógica. En el caso de las viviendas unifamiliares bastará con adquirir un descodificador, pues en la mayoría de los casos la antena será suficiente para recibir la señal digital.

En principio, sólo será preciso el desembolso inicial para recibir la televisión digital (descodificador y adaptación de la antena). Un descodificador cuesta entre \$180000 y \$580000 pesos y el coste de la adaptación de la antena colectiva dependerá del estado de la instalación y del número de vecinos por edificio

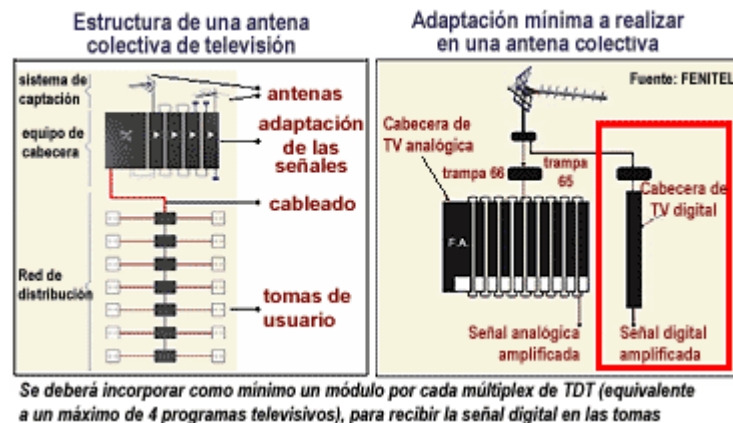


Figura No 29. Estructura de una antena colectiva y su adaptación para recepción de TDT

Habrà que incorporar a la cabecera de la antena colectiva unos módulos por cada canal para que la señal que capta se interprete y se distribuya por los cables del edificio a cada usuario", y el desembolso por vecino oscilará entre \$180000 y \$750000 pesos (en el peor de los casos, si es preciso cambiar el cableado).

Al igual que ahora es posible recibir la señal analógica de televisión en el ordenador, mediante una tarjeta sintonizadora y un cable de antena conectado a la CPU, también será sencillo recibir la programación digital en el PC. Con la tarjeta instalada, además de convertir el monitor en una pantalla de televisión, será posible grabar y almacenar en el disco duro cualquier programa emitido por la TDT, ya que la emisión se realiza en MPEG2, un estándar que el ordenador "entiende" sin necesidad de procesarlo.

4.7. Pruebas Televisión Digital Terrestre

Este es uno de los aspectos a considerar, debido a que en la práctica es donde se ven realmente los resultados plasmados en la teoría. La Comisión Nacional de Televisión adelanta los estudios y pruebas en desarrollo del Plan para la Implementación de la Televisión Digital en Colombia. [45]

Mediante acta 1215 de enero 17 de 2006, la Junta Directiva de la CNTV autorizó al Consorcio de Canales Privados CCNP, para utilizar las frecuencias 60, 62, 64 y 66 para la Ciudad de Bogotá con el fin de iniciar las pruebas técnicas de televisión digital en los sistemas ATSC y DVB radiodifundidos desde la estación de Suba (Calatrava). Para esto, el CCNP solicitó al Ministerio de Comunicaciones licencia para los enlaces de microondas entre el Centro de Emisión y Suba.

Posteriormente el 5 de julio de 2006, la CNTV organizó el I Foro de Televisión Digital, con la participación de expertos internacionales de los estándares americano y europeo. En el marco de ese foro se realizó la primera transmisión de Televisión Digital Terrestre, tanto en formato estándar (SDTV) como en formato de alta definición (HDTV), a través de dos transmisores de los estándares ATSC y DVB T instalados en la estación de cerro suba. Desde ese momento, los transmisores han venido operando y en la actualidad se encuentran transmitiendo señales con contenidos en alta definición para los dos estándares en los canales 60 y 62. Figura No 30.

Para el Estándar ATSC, se utilizó un transmisor de estado sólido marca HARRIS modelo RANGER el cual tiene una potencia nominal de 1kW y se encuentra operando a 500W. Este transmisor cuenta con un sistema de monitoreo de señal. Para el sistema DVB fue implementado un transmisor de estado sólido marca BTSA de potencia nominal de 1kW operando a 500W. El sistema radiante está compuesto por una torre auto soportada con una altura de 120 metros en la cual se encuentra instalado el sistema de antenas. Las antenas están ubicadas a 119 metros, son de tipo panel de 4 dipolos para operar en la banda V (UHF) y están distribuidas en un arreglo 1-1-2-1 en donde el acimut entre caras es el siguiente 0°, 90°, 180° y 270°. Cada elemento unitario tiene una ganancia de 11.35 dB y en conjunto es de 13.37 dB. Para interconectar el sistema se utiliza cable tipo HF 1-5/8" dieléctrico de aire y la guía de onda tiene una longitud de 128m. Este es un sistema duplexado. En la siguiente imagen se puede apreciar los transmisores y antenas instaladas para las pruebas.

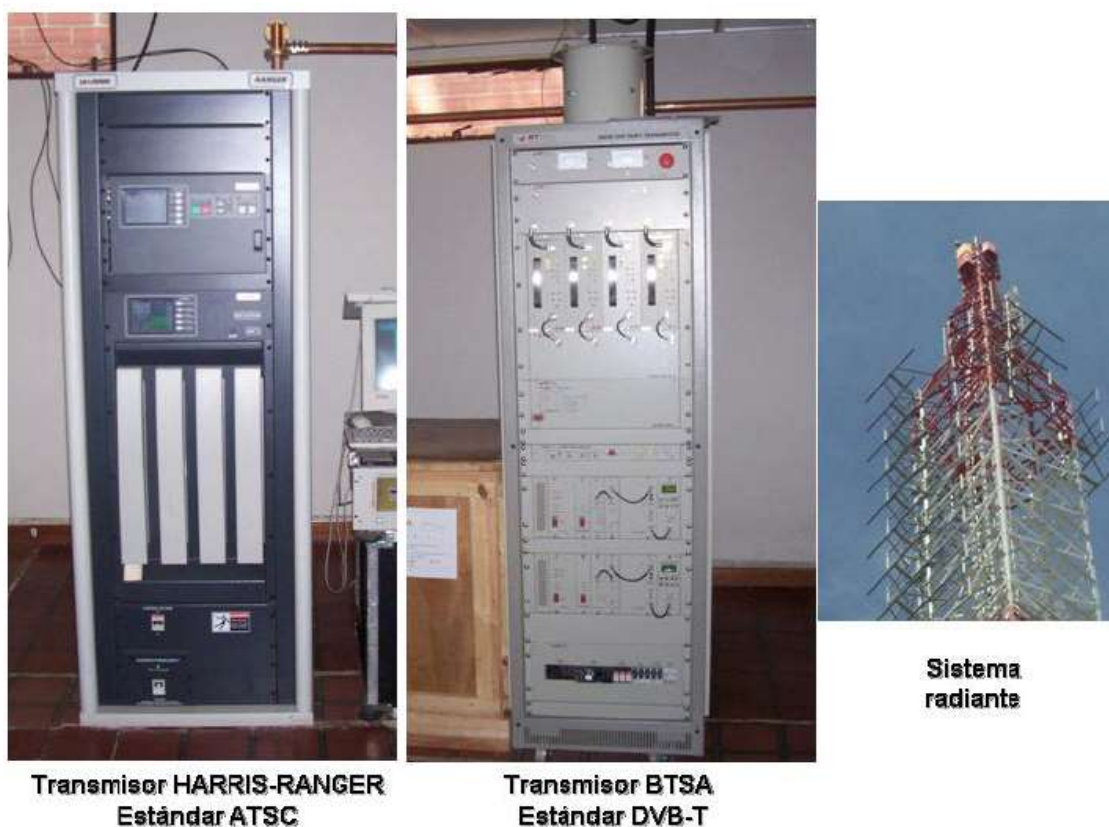


Figura No 30. Transmisores y sistema radiante utilizado para pruebas en Bogotá-Colombia

Ambos estándares utilizan un sistema de compresión y multiplexación de video que manejan dos formatos de calidad, uno de alta definición y otro de definición estándar los cuales son entregados al transmisor.

Pruebas RTVC

La Junta Directiva de la CNTV mediante acta 1287 de noviembre 9 de 2006, aprueba el proyecto “Pruebas de Televisión Digital Terrestre empleando equipos transmisores en formato ATSC y DVB-T” para que RTVC realice pruebas con un transmisor ubicado en la estación Cerro Suba con cubrimiento para Bogotá.

Para este proyecto TELEFONICA TELECOM adquirió la instrumentación necesaria para la realización de estas pruebas, equipos que ya fueron entregados a RTVC. Para el caso de las pruebas con RTVC, se utilizaron los equipos instalados en la estación de Calatrava que se encuentra ubicada al noroccidente de Bogotá y tiene como tarea reforzar los servicios de televisión en el norte y occidente de la ciudad.

En el salón de equipos de la estación Calatrava, se encuentran los transmisores con los que se están realizando las pruebas que fueron instalados en calidad de préstamo por los representantes de las marcas PLISH y DMT. Cada uno está al servicio de un estándar determinado y sus características de potencia y video son similares. Cuentan con 500 vatios de video y la distribución de las antenas una sola, con el fin de garantizar condiciones equivalentes de los estándares. El sistema de antenas se encuentra ubicado en la parte superior de la torre auto-soportada de 50 metros de altura con una configuración 2 – 2 – 2, lo cual garantiza una potencia uniforme en los 360°. Las antenas son de tipo panel UHF, el cable utilizado es de 1 5/8” y la ganancia unitaria por antena es de 11.35 dB.



Transmisor PLISH Y DMT



Encoder



Sistema Radiante

Pruebas Cartagena DVB-H.

Durante los días 25, 26 y 27 de octubre de 2006, la CNTV autorizó a la Empresa HARRIS CORPORATION para realizar pruebas técnicas de Televisión con capacidad para ser recibida en dispositivos portátiles usando el estándar internacional DVB-H con cubrimiento limitado al Centro de Convenciones de la Ciudad de Cartagena en desarrollo del XXI Congreso Nacional y XII Andino de Telecomunicaciones – ANDICOM.

Pruebas Cartagena DVB-T

En desarrollo de la Cumbre de TV Digital realizada en la Ciudad de Cartagena los días 3 y 4 de mayo, la Comisión Nacional de Televisión autorizó la realización de transmisiones de prueba de señales digitales de Televisión desde el cerro La Popa en el estándar DVB-T.

Pruebas Estándar Japonés. La Comisión Nacional de Televisión suscribió varias comunicaciones a la Embajada del Japón, y agencias internacionales de cooperación con el fin de lograr la participación de un experto japonés en televisión digital en el Congreso Internacional de Telecomunicaciones a celebrarse los días 10 al 12 de julio/06, con el fin de conocer más de cerca el funcionamiento, costos, ventajas y desventajas de cada uno de los sistemas de difusión y así, poder iniciar una agenda interna que tenga el objeto de determinar cuál es el más conveniente para el país.

Adicionalmente se solicitó a la Embajada del Japón informar a las empresas con las que se puede tener contacto para realizar pruebas del estándar japonés en Colombia, recomendando contactar a NHK. La CNTV suscribió a las empresas NHK, NEC y TELEVISION y VIDEO DIGITAL con el fin de solicitar colaboración para instalar equipos del estándar japonés en la Ciudad de Bogotá.

La CNTV ha establecido contacto con la Embajada del Brasil y con representantes del estándar japonés con quienes se han adelantado varias reuniones en Colombia, USA y Perú, para llevar a cabo las citadas pruebas en Colombia.

En estos momentos, se ha logrado finalmente a través de las Embajadas de Brasil y de Japón contar con un transmisor del estándar ISDB el cual será instalado en los próximos días en la estación de Calatrava.

4.8. Recomendaciones de la UIT para la Televisión Digital

Recomendación UIT-R-BT-601-5: Parámetros de codificación de la televisión digital para estudios.

Recomendación UIT-R-BT-798/94: Radiodifusión terrenal de TV digital en las bandas de ondas métricas y decimétricas.

Recomienda acomodar la TDT en canales de 6, 7 y 8 MHz sin causar mayor interferencia que la analógica. Que tenga suficiente inmunidad contra interferencias para coexistir con la analógica.

Recomendación UIT-R-BT-1125/94: Objetivos básicos para la planificación y realización de sistemas de radiodifusión terrenal de televisión digital.

Recomendación UIT-R-BT-1129/98: Evaluación subjetiva de sistemas de televisión digital con definición normalizada (SDTV).

Recomendación UIT-R-BT-1299/97: Elementos básicos de una familia mundial común de radiodifusión de televisión digital terrestre.

Recomendación UIT-R BT-1386-6: Criterios para la planificación del servicio de televisión digital terrestre (TDT) en las bandas métricas (VHF) y decimétricas (UHF).

Recomienda los valores de las relaciones de protección y de intensidad de campo mínima e información adicional se utilicen en la planificación de frecuencias de los servicios de TDT.

Recomendación UIT-R-BT-1735/05: Método de evaluación objetivo de la calidad de la cobertura de las señales de radiodifusión de televisión digital terrenal del sistema B especificado en la Recomendación UIT-R BT-1306

5. ASPECTOS LEGALES PARA EL ACCESO DE TDT EN COLOMBIA

5.1. Historia sobre la Normatividad Actual

El servicio público de televisión fue inaugurado en Colombia el 13 de junio de 1954 por el Presidente de la República, General Gustavo Rojas Pinilla, como un servicio prestado directamente por el Estado. Durante el primer año los espacios en televisión habían sido educativos y culturales y pertenecían exclusivamente al estado. El año siguiente el Gobierno Nacional decide abrir espacios comerciales, se creó la Televisora Nacional y se le encargó el funcionamiento y operación del nuevo medio; en ese mismo año se encargó a una empresa privada la comercialización de los espacios.

A mediados de la década de los sesenta, las finanzas de la Televisión entraron en crisis y se impuso un sistema mixto en el cual el Estado conservaba la propiedad del medio pero entregaba a la empresa privada la programación y explotación de los espacios. La Televisora Nacional se convirtió en el Instituto Nacional de Radio y Televisión (Inravisión) cuya Junta Directiva era nombrada directamente por el Gobierno de turno.

Por casi veinte años funcionó de ese modo, pero a mediados de los ochenta la Junta Directiva de Inravisión se convirtió en el Consejo Nacional de Televisión donde además de los delegados del Gobierno, tenían asiento por primera vez, representantes de la comunidad. Por esa misma época comenzó la distribución de las señales incidentales (antenas parabólicas), se crearon los Canales Regionales y se adjudicaron las primeras concesiones para prestar el servicio de televisión por suscripción.

En la Asamblea Nacional Constituyente de 1991, los Constituyentes buscaron un cambio radical en el manejo de la Televisión y a través de los artículos 76 y 77 de la Nueva Constitución determinaron que la intervención estatal en el Espectro Electromagnético utilizado para los servicios de Televisión estaría a cargo de un organismo de derecho público con autonomía administrativa, patrimonial y técnica, sujeto a un régimen legal propio. En desarrollo de los citados artículos constitucionales, el Congreso de la República promulgó la Ley 182 de 1995 con la Cual creó la Comisión Nacional de Televisión. Ver anexo 1.

Artículo 76

“Art. 76 – La intervención estatal en el espectro electromagnético utilizada para los servicios de televisión, estará a cargo de un organismo de derecho público con personería jurídica, autonomía administrativa, patrimonial y técnica, sujeto a un régimen legal propio. Dicho organismo desarrollará y ejecutará los planes y programas del Estado en el servicio a que hace referencia el inciso anterior.”

Artículo 77

“Art. 77 – La dirección de la política que en materia de televisión determine la ley sin menoscabo de las libertades consagradas en esta Constitución, estará a cargo del organismo mencionado. La televisión será regulada por una entidad autónoma del orden nacional, sujeta a un régimen propio. La dirección y ejecución de las funciones de la entidad estarán a cargo de una junta directiva integrada por cinco (5) miembros, la cual nombrará al director. Los miembros de la junta tendrán periodo fijo. El gobierno nacional designará dos de ellos. Otro será escogido entre los representantes legales de los canales regionales de televisión. La ley dispondrá lo relativo al nombramiento de los demás miembros y regulará la organización y funcionamiento de la entidad.
Parágrafo. – Se garantizarán y respetarán la estabilidad y los derechos de los trabajadores de Inravisión ”

LEY 182 DE 1995

(ENERO 20)

Por la cual se reglamenta el servicio de televisión y se formulan políticas para su desarrollo, se democratiza el acceso a éste, se conforma la Comisión Nacional de Televisión, se promueven la industria y actividades de televisión, se establecen normas para la contratación de los servicios, se reestructuran entidades del sector y se dictan otras disposiciones en materia de comunicaciones.

La búsqueda de un grado significativo de autonomía funcional justificó la creación de esta entidad, encargada de dirigir la televisión. La necesidad de la independencia en el manejo de este medio de comunicación es proporcional a la importancia y trascendencia del mismo en la sociedad moderna; la televisión ocupa un lugar central en el proceso comunicativo social, que encuentra sus bases en la libertad de expresión y el derecho a informar y ser informado en una escala masiva; así, se convierte en el mas importante difundidor de ideas a la opinión pública, que desde luego no es ajena a las ideas e intereses que se movilizan a través de la televisión.

De ese modo, el tamaño, desarrollo y fortaleza de un sistema democrático, dependen de la libertad de acceso y del pluralismo que caracterice a la televisión, la democracia resulta ser una mentira cuando el medio se convierte en canal propagandístico de la mayoría política o, más grave aún, de los grupos económicos dominantes.

El hecho de que con el paso de los años la televisión sea el medio con mas penetración social, al punto de ser llamado el cuarto poder, despliega efectos positivos o negativos, según sea su manejo, para la conservación y difusión de las diferentes culturas que convergen en una sociedad compleja. Es por ello que los efectos de las políticas y regulaciones en esta materia, exigen que su manejo se guíe en todo momento por el más alto interés público y que ningún sector o grupo por sí sólo, así disponga de la mayoría electoral, pueda controlarlo directa o indirectamente.

En la misma vía y siempre que el desarrollo democrático es la base fundamental de un Estado Social de Derecho como lo es el nuestro, la Comisión Nacional de Televisión pone en manos de los lectores esta recopilación normativa y jurisprudencial del tema de la Televisión. El conocimiento de la normativa es muy importante para el desarrollo de las sociedades, en reciente estudio el Banco Mundial consideró como una garantía democrática la seguridad jurídica, la que no se concibe mas que con el conocimiento general de la legislación.

La Comisión Nacional de Televisión brinda a sus funcionarios y a sus usuarios esta herramienta de trabajo. La compilación incluye en su parte principal las leyes de televisión con anotaciones de constitucionalidad e índice temático y en anexo, la Ley 14 de 1991, el listado de Decretos reglamentarios, el de Acuerdos promulgados por la Entidad, concordados con las sentencias que sobre ellos ha promulgado el Consejo de Estado, un breve resumen de los fallos de Constitucionalidad de las leyes de televisión y finalmente un listado de las normas adicionales relacionadas.

LEY 335 DE 1996⁵³. (20 DE DICIEMBRE): Por la cual se modifica parcialmente la ley 14 de 1991 y la ley 182 de 1995, se crea la televisión privada en Colombia y se dictan otras disposiciones

LEY 680 DE 2001. (8 DE AGOSTO): Por la cual se reforman las leyes 14 de 1991, 182 de 1995, 335 de 1996 y se dictan otras disposiciones

LEY 14 DE 1991. (Enero 29): Por la cual se dictan normas sobre el servicio de televisión y radiodifusión oficial

⁵³ En [Sentencia C-456/98](#), la Corte Constitucional se declaró inhibida para decidir de fondo frente a una demanda de inconstitucionalidad de toda la ley 335/96, por no existir cargos concretos en relación con las normas de la mencionada ley. (Frente al art. 10 de la ley 335, ver artículo correspondiente en la ley 182/96)

5.2. Implicaciones Legales para Implementar TDT

Dada la penetración y la importancia de la televisión analógica terrestre en Colombia, la introducción de la TDT tendrá un gran impacto en la población en la medida en que le permitirá acceder a nuevos servicios y aplicaciones y contribuirá a masificar el uso de las TIC. Adicionalmente, se modificará la cadena de valor de la industria y será necesario adecuar el marco regulatorio y la gestión del espectro a las nuevas condiciones.

Para hablar de regulación en televisión es importante hacer énfasis en las concesiones las cuales en Colombia se clasifican en pública, por suscripción, privada abierta, local con ánimo de lucro y satelital. Es significativa la participación de la televisión abierta. El 83% de los recursos de la CNTV proviene de las concesiones. Entre las fuentes restantes se destacan las compensaciones que pagan la televisión satelital y por suscripción.

Analizando las concesiones de la televisión, se observa que en la asignación de los riesgos contractuales entre la CNTV y los concesionarios ha faltado claridad. Además, han fallado los mecanismos de control y seguimiento de los ingresos y de la estructura de costos de los concesionarios. Los laudos arbitrales contra la CNTV han mostrado que el sector privado no está dispuesto a asumir los riesgos que le corresponden. Las demandas de los concesionarios en contra de la CNTV, tienen su fundamento en el llamado desequilibrio económico. Entre las causas del desequilibrio se menciona el ciclo recesivo de los negocios. Los concesionarios afirman que este riesgo debe ser asumido por el Estado y no por ellos mismos.

En la Tabla No 7, se muestra los riesgos inherentes a la concesión en televisión y se precisa la responsabilidad de cada una de las partes.

TIPO DE RIESGO	CONCESIONARIO PRIVADO	CNTV
Riesgo comercial	X	
Riesgo de operación	X	
Riesgo de financiación	X	
Riesgo regulatorio de tarifas		X
Riesgo tributario	X	
Riesgo de fuerza mayor (asegurable)	X	

Tabla No 7. Riesgos inherentes a la concesión en televisión [46].

Lo ideal sería que en los contratos se precisara el tipo de riesgo y la responsabilidad. No se ha hecho así, y los concesionarios (Caracol, RCN, Casa Editorial El Tiempo) han demandado aduciendo que no se han cumplido las proyecciones de la CNTV y de los propios operadores sobre el comportamiento de la economía. Este argumento deja ver claramente que no están dispuestos a asumir el riesgo inherente a todo negocio.

Por necesitar la televisión abierta del espectro radioeléctrico, su regulación comparte el carácter especial de la regulación de este bien nacional de uso público. Su uso no está entregado a la regulación común y general del derecho privado, sino que, como todo bien nacional de uso público, su uso es objeto de una concesión que otorga el Estado.

5.2.1. Excepcionalidad y convergencia

Una expresión evidente de la excepcionalidad de este régimen regulatorio se ve en la existencia de un regulador especial para la televisión: la CNTV. Esto ha generado un diseño institucional para la regulación que es refractario a un fenómeno asociado a la tecnología digital: la “convergencia”. La tecnología digital permite traducir todo el contenido simbólico, todos los códigos, a un mismo código binario de ceros y unos. Las aplicaciones de banda ancha son un buen ejemplo de la convergencia: en el mismo aparato y de la misma manera en que se usa internet, puede sostenerse una conversación telefónica y, también, verse televisión. Una vez convertidos al mismo código binario, todas estas tres cosas distintas se transforman en una misma unidad de información, haciéndose indistinguibles entre sí. Podrán “pesar” distinto (un programa de televisión será más “pesado” que una simple página HTML), pero en lo demás son iguales. De acuerdo a la regulación vigente, sin embargo, se trata de tres “servicios” distintos: uno es un servicio “complementario” (internet), otro es un servicio “público telefónico” y el último un servicio “limitado de televisión”.

Los posibles efectos de la convergencia, como esta posibilidad de distribuir televisión por banda ancha, pondrán en nuevos aprietos a la CNTV. Con la multiplicación de señales televisivas que trajo el cable ya no se puede hacerles un monitoreo permanente, sino que se debe conformarse con muestras aleatorias de programación entre las distintas empresas de cable. Es casi seguro que la televisión digital abierta y la televisión por banda ancha multiplicarán aún más las señales televisivas disponibles. Esto aumentará proporcionalmente las dificultades de la CNTV para cumplir su tarea de regular contenidos, la tarea principal que tiene.

5.2.2. Concesiones y eficiencia

El derecho que tienen es la posibilidad asegurada en el tiempo de seguir ejerciendo su concesión, esto es, la posibilidad de seguir transmitiendo una señal televisiva de libre recepción. Sobre esta posibilidad, las concesionarias tienen un derecho de propiedad que, como tal, está amparado constitucionalmente. Esto debe respetarse: deben poder seguir transmitiendo una señal abierta, cualquiera sea el rumbo que tome el desarrollo tecnológico.

En general, las concesiones son autorizaciones de uso o de operación sobre un recurso respecto del cual no se han establecido derechos de propiedad, como, por ejemplo, las playas de mar, las calles o el espectro radioeléctrico. Al conceder, sin embargo, una concesión sobre ese recurso, se constituye un derecho de propiedad: el derecho a la propiedad de la concesión. Hasta ahí llega el derecho de propiedad, ya que no se extiende al recurso concesionado. Si se extendiera, no habría necesidad de montar un régimen concesional: bastaría con el derecho de propiedad. Por ejemplo, así lo entiende hace siglo y medio el Código Civil: Sobre las obras que con permiso de la autoridad competente se construyan en sitios de propiedad nacional, no tienen los particulares que han obtenido este permiso, sino el uso y goce de ellas, y no la propiedad del suelo. Abandonadas las obras, o terminado el tiempo por el cual se concedió el permiso, se restituyen ellas y el suelo por el ministerio de la ley al uso y goce privativo del Estado, o al uso y goce general de los habitantes, según prescriba la autoridad soberana.

Las concesiones televisivas excepcionales no dan ningún derecho de propiedad sobre el espectro radioeléctrico (el bien “corporal” de la concesión). Tampoco, obviamente, lo dan las concesiones televisivas sujetas al régimen común. La única propiedad que hay envuelta es sobre la concesión (el bien “incorporal”). Este derecho les permite utilizar el espectro necesario para transmitir una señal de libre recepción, cual es el fin de la concesión.

A la luz de lo anterior, es errado afirmar que las concesiones en vigor darían derecho a sus titulares a los 6 MHz que hoy usan para transmitir. El único derecho que otorgan, otra vez, es a transmitir una señal abierta, con total independencia del hecho de que esto se haga usando 6 MHz, 3 MHz o 1 MHz.

Si el estado de la tecnología exige 6 Mhz para ejercer la concesión, deben usarse estos 6 MHz. Pero si la tecnología evoluciona y permite ejercer la concesión usando menos espectro, la CNTV es competente para modificar el ancho de banda. En la medida en que les permita a los concesionarios seguir cumpliendo el fin de su concesión, esto es, transmitir una señal televisiva abierta, estos concesionarios no podrían oponerse a la decisión administrativa de reducir el ancho de banda, pues no tienen propiedad sobre el espectro. Sí la tienen, sabemos, sobre la concesión, lo que debe ser respetado por la autoridad administrativa. ¿Cómo? Permitiéndoles seguir emitiendo la señal abierta a que tienen derecho hoy y asignándoles, consecuentemente, el espectro radioeléctrico que sea tecnológicamente necesario para hacerlo.

Junto a estas consideraciones jurídicas, hay también consideraciones de orden económico asociadas a la conveniencia de maximizar la eficiencia con que se asignan los recursos. Lo cual significa que si se produce un cambio tecnológico que permita maximizar el uso de un recurso como el espectro, sin violar derechos adquiridos, la autoridad debería tratar de aprovecharlo. Esto porque permite liberar espectro, que puede ser luego reasignado entre quienes lo valoren más. El actual régimen de concesiones televisivas VHF es bastante refractario a estas consideraciones. Esto significa que una parte del espectro radioeléctrico —el recurso sobre el que estas concesiones recaen— está “casado” irremediamente con ellas, es decir, no se va a poder reasignar. ¿Cuánto es este espectro casado? El que sea estrictamente necesario para que las concesiones puedan ser ejercidas. Esta interpretación parece ser la única que permitiría aprovechar la digitalización para acercar el régimen concesional televisivo a ciertos principios que, según la jurisprudencia antimonopolios, subyacen a los mercados competitivos:

En principio, y desde el punto de vista de la libre competencia, puede sostenerse que el Estado y sus organismos, cada vez que es preciso cerrar o restringir el acceso a una actividad económica por razones técnicas, de eficiencia económica, de seguridad, de resguardo del bien común o de otro orden semejante, deben llamar a licitación pública para que se presenten a ella todos los que se interesen por desarrollar esa actividad, sin privilegios de ninguna especie ni discriminaciones de ninguna naturaleza, debiendo elegirse a quienes ofrezcan las mejores o más convenientes condiciones para la colectividad.

Sería, además, una interpretación que conduce a un cambio eficiente en términos paretianos⁵⁴, ya que habría un aumento del bienestar general al poder disponerse de más espectro, sin que nadie vea menoscabada su posición original (todos los canales quedarían en la misma posición que tenían: autorizados para transmitir una señal televisiva de libre recepción).

⁵⁴ En esencia, el Principio de Pareto dice que la mayoría de los resultados (o de los recursos) los produce (o los posee) una minoría. “Mayoría” suele traducirse por 80% y “minoría” por 20%.

6. CONSIDERACIONES LEGALES PARA LA INTRODUCCIÓN DE TDT EN COLOMBIA

La propuesta de este capítulo es, básicamente, independiente del estándar técnico que se adopte en Colombia, entre el europeo DVB-T, el japonés ISDB-T o el norteamericano ATSC. El capítulo propone multiplexar las concesiones existentes. La multiplexión es una técnica que permite transmitir dos o más señales mediante un solo canal de comunicación, lo que posibilita maximizar la eficiencia de los anchos de banda. Aquí se propone, en consecuencia, agrupar entre tres y cinco señales de los concesionarios existentes en el ancho de banda que actualmente usa cada uno de ellos. Luego se propone darles la opción de abandonar el multiplex y concursar por más espectro para transmitir en alta definición, más señales de calidad normal o para otras aplicaciones. Los tres estándares mencionados permiten multiplexar y también permiten alguna forma de alta definición. Esta propuesta, por tanto, no supone un determinado estándar técnico, sino que sugiere un camino a seguir una vez elegido el estándar. La elección de este estándar debe atender a otras consideraciones, como, por ejemplo, costos de los set top boxes, movilidad, portabilidad, interactividad y compatibilidad con nuestras condiciones geográficas.

Este capítulo propone un camino regulatorio para digitalizar la televisión y aprovechar estas oportunidades. Para esto, revisa la forma en que se ha regulado la radiodifusión en general y la radiodifusión televisiva en particular.

Como se observó anteriormente, en Colombia la legislación sobre televisión se rige de acuerdo a una serie de leyes y decretos los cuales están compilados al año de 2002 en una base normativa y jurisprudencial, la cual se puede encontrar en la página de la comisión nacional de Televisión en formato pdf.

Con la entrada de la televisión digital terrestre se debe revisar el marco regulatorio existente que permita establecer las reglas claras para los operadores existentes y nuevos operadores del servicio de televisión.

La Comisión Nacional de Televisión en cuanto a regulación sobre TDT, propone analizar varios aspectos como son: Condiciones de elegibilidad de licencias de televisión digital terrestre; procedimientos para la adjudicación de licencias de televisión digital terrestre y distribución de canales para este servicio y políticas de competencia; términos y condiciones para el otorgamiento de licencias de Televisión digital terrestre; condiciones de distribución de programación y control de contenidos; requisitos técnicos mínimos para decodificadores de todos los formatos, posibles requisitos de desempeño de los receptores, compatibilidad con otros medios de transmisión (como cable, satélite y MMDS); calendarios de transición, plazos para la construcción de estaciones, reserva de frecuencias a favor de los operadores actuales de televisión analógica, período de finalización de la radiodifusión de televisión analógica y de recaptura y reutilización del espectro, plazos de adjudicaciones y asignaciones de canales de Televisión digital Terrestre [47].

Hay que tener en cuenta que para la implantación de esta tecnología no se debe hacer solamente mediante la creación de leyes y decretos sino que debe tener en cuenta el mercado y el previo estudio del mismo. Este problema se presentó en España donde el Gobierno español exigió la implantación de esta nueva tecnología sin tener en cuenta la situación del mercado español televisivo.

6.1. Guía para la normatividad de Televisión Digital Terrestre

Esta guía fue adoptada por toda la comunidad americana para establecer una normatividad sobre televisión digital terrestre, la cual contiene varios aspectos a analizar que pueden variar de acuerdo a cada país; los aspectos son los mismos que propone la Comisión Nacional de Televisión, y que se describen a continuación.

- Condiciones de elegibilidad de licencias de televisión digital terrestre

Este aspecto es muy importante, ya que aquí se va a determinar que entidades de las que operan en la actualidad con un canal analógico pueden, y están aptas para operar un segundo canal (un canal TDT), así como entidades que no operan un canal analógico, pero están en condiciones de operar un canal TDT.

- Procedimientos para la adjudicación de licencias de televisión digital terrestre y distribución de canales para este servicio y políticas de competencia

De acuerdo al estándar que se escoja sobre TDT (DVB-T, ISDB-T, ATSC), se hará la asignación para cada operador de un canal de 6-8 MHz, con lo cual se logra aumentar la cobertura que se ofrece con los canales analógicos, la relación puede ser prácticamente de 4 a 1. A este canal se le conoce con el nombre de Multiplex.

Debido a que el apagón analógico no va a suceder inmediatamente, tiene que haber un periodo de transición, y convivir por un tiempo las dos tecnologías (analógica y digital), tiempo en el cual los consumidores puedan conseguir receptores digitales, o en su defecto conversores analógicos/digitales.

Debe tenerse en cuenta que cuando termine el tiempo de la transición, cesarán las transmisiones analógicas, por lo que a partir de ese momento se exigirán licencias digitales, y la construcción de estaciones digitales.

- Términos y condiciones para el otorgamiento de licencias de Televisión digital terrestre

Se debe pensar que con la existencia de los operadores analógicos, y debido a que esta tecnología no va a desaparecer de forma inmediata, el otorgamiento de licencias para TDT puede hacerse para estos operadores de forma provisional, con un permiso de construcción de estaciones digitales para poderles otorgar una licencia final; así como también el otorgamiento de licencias provisionales para nuevos operadores que cumplan con los requisitos para poder hacerse cargo de un canal de TDT.

La adjudicación de las licencias debe ser por un tiempo determinado, y se debe estipular si es renovable o no, teniendo en cuenta que esta licencia pueda ser cancelada cuando el operador incurra en violaciones, las cuales deben estar estipuladas en el contrato.

- Condiciones de distribución de programación y control de contenidos

El contenido de los programas a transmitirse sobre un canal TDT debe estar sujeto a control, así como la exigencia de la transmisión diaria de un mínimo de horas.

Dado el caso que en el canal TDT se ofreciera unos servicios por los cuales el usuario debiera pagar, el operador tendría que pagar un porcentaje del lucro recibido.

- Requisitos técnicos mínimos para decodificadores de todos los formatos, posibles requisitos de desempeño de los receptores, compatibilidad con otros medios de transmisión (como cable, satélite y MMDS)

Lo ideal sería que todos los receptores TDT pudieran recibir y decodificar todos los formatos que pudiera enviar un radiodifusor. La decodificación de todos los formatos es esencial para luego permitir la incorporación de alta definición.

Los fabricantes de receptores pueden incluir capacidad de recepción TDT y de decodificación en los receptores con más de 13 pulgadas de diámetro luego de un período de ajuste gradual.

Las industrias de transmisión por cable y productos electrónicos de consumo han adoptado requisitos para asegurar la compatibilidad de conexión activa que permita que los servicios TVAD en un solo sentido y otros servicios por cable sean recibidos directamente en los receptores de los consumidores sin necesidad de contar con una unidad de adaptación multimedia separada.

- Calendarios de transición, plazos para la construcción de estaciones, reserva de frecuencias a favor de los operadores actuales de televisión analógica, período de finalización de la radiodifusión de televisión analógica y de recaptura y reutilización del espectro, plazos de adjudicaciones y asignaciones de canales de Televisión digital Terrestre

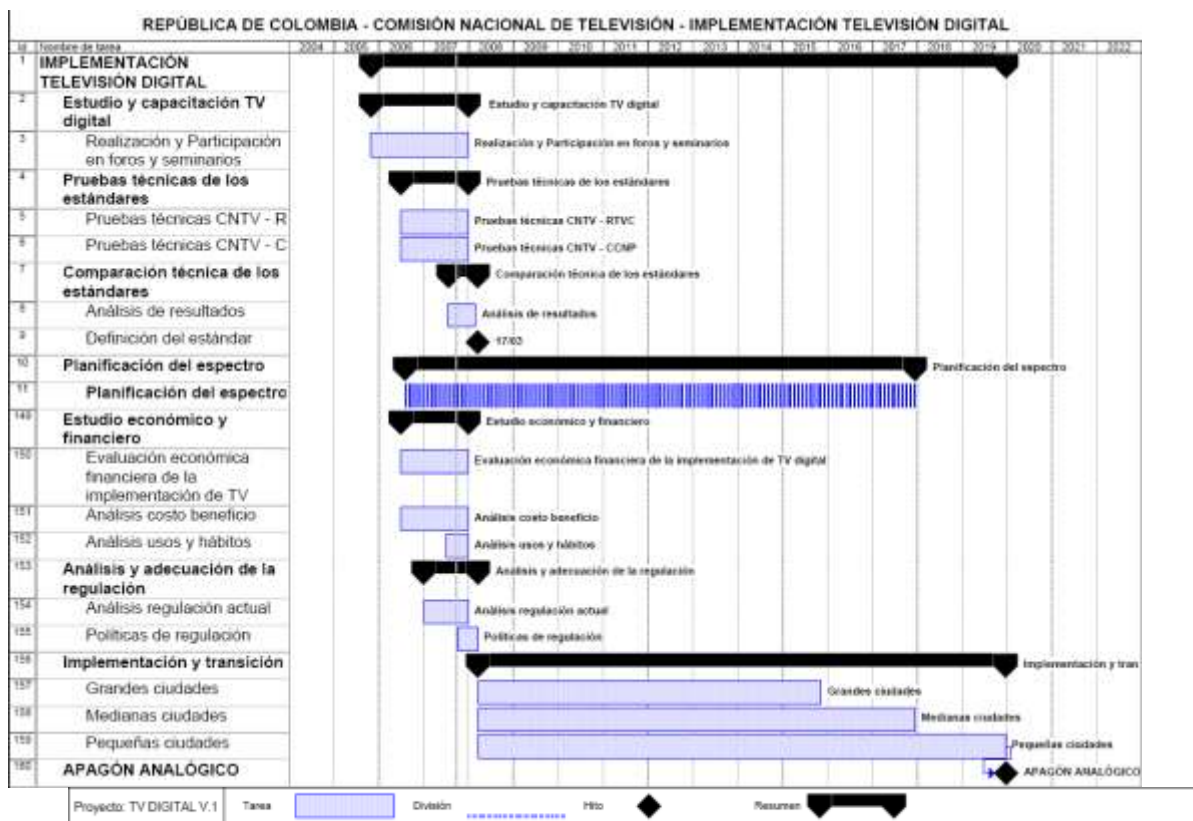


Figura No 31. Calendario propuesto por Colombia para la implementación de la TDT

En cuanto a la construcción de estaciones digitales, lo adecuado será dar un límite de tiempo el cual puede coincidir con la fecha programada para el apagón analógico.

La reserva de frecuencia a favor de los operadores actuales de televisión analógica se debe dar siempre y cuando estos tengan las capacidades para afrontar los cambios que se necesitan para la implementación de la nueva tecnología (TDT). Así mismo se tiene que tener en cuenta los nuevos operadores que tengan estas capacidades.

Si nos enfocamos en el estudio del espectro, con la llegada de la TDT, en un principio se va a hacer un sobredimensionamiento de este, debido a que se va a transmitir tanto en forma analógica como digital, la liberación de este se va a ver reflejado a medida que vaya desapareciendo la tecnología analógica.

6.2. Consideraciones Legales

- Se debe determinar si es necesario establecer una fecha límite para el apagón analógico, o si por el contrario se deja la transición de forma voluntaria de acuerdo al mercado televisivo, como es el caso de Canadá. Si la transición se hace de forma voluntaria, lo mas lógico es que el apagón analógico se vaya dando por regiones, debido a muchos factores como son la diversidad de nuestro suelo, condiciones económicas, etc. Se recomienda que el cese de toda emisión analógica se haga en una fecha límite, y para evitar que llegado el momento del apagón analógico muchas familias que no puedan tener el acceso a la televisión por cable, ni satelital, tampoco puedan acceder a la TDT por factores económicos, se sugiere la aprobación de un subsidio para aquellas familias que pertenezcan a los estratos uno y dos para la adquisición del equipo decodificador que permita recibir la señal digital (SET-TOP BOX), cuyas principales características son:
 - Permitir el acceso a la TDT mediante los receptores actuales.
 - Permite la interactividad entre el usuario y el proveedor.
 - Dos canales de transmisión (envío y recepción).
 - Es el equipo fundamental en el proceso de transición y adaptación a la televisión digital.
 - No necesita de intervención técnica.
 - iTV: televisores con receptores de televisión digital incorporados.

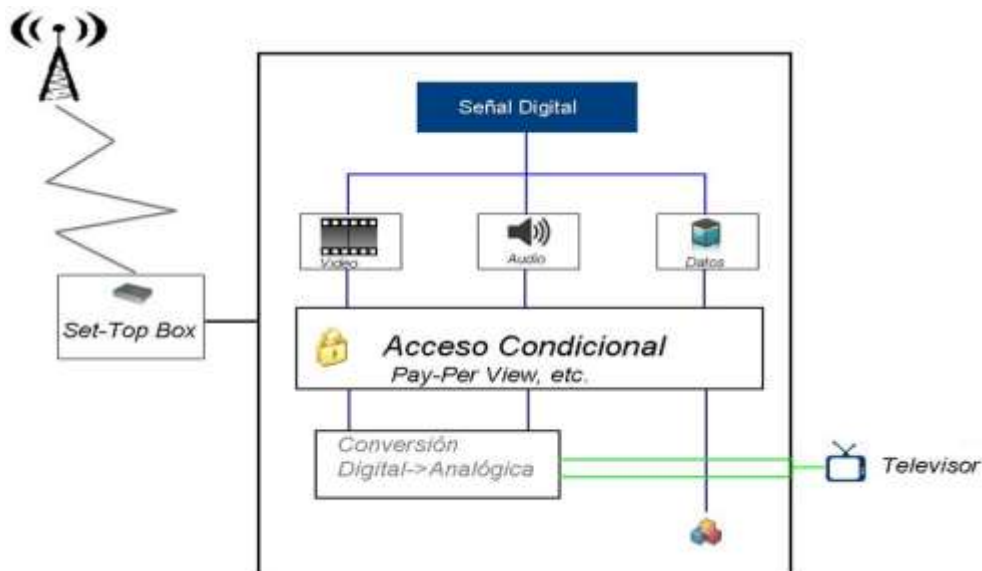


Figura No 32. Diagrama del funcionamiento de un *Set Top Box*.

- La legislación colombiana debe asegurar la transmisión simultánea de televisión analógica y digital (simulcast) hasta el apagón analógico.
- En el caso que se apruebe una fecha límite para el apagón analógico, esta se debe determinar a través de un estudio riguroso donde se contemple todos los pormenores de los agentes de televisión digital, y la situación del mercado televisivo; y llegada la hora del apagón se debe

cumplir con el cese total de las emisiones analógicas; lo que implicará que los usuarios tendrán que tener receptores digitales, o en su defecto STB.

- La Comisión Nacional de Televisión deberá entregar un canal adjunto al que poseen en la actualidad los operadores de televisión analógica, para la transmisión de TDT; siempre y cuando hayan cumplido con todos los requisitos para tener derecho a una prórroga de su licencia, en el caso de los canales privados como CARACOL Y RCN esta prórroga tendrá un valor, y para los canales públicos será subsidiada por la CNTV, debe tenerse en cuenta que esta prórroga no es obligatoria, y si un canal quiere declinar a ella no deberá presentársele ningún inconveniente; el canal analógico actual deberá devolverse cuando llegue el momento del apagón analógico, para que el espectro liberado pueda ser reasignado. En el caso que los operadores actuales de televisión analógica no estén en condiciones para el cambio a TDT, se les debe respetar sus licencias y permitirles transmitir solo en analógico hasta el momento del apagón analógico.

A continuación se presenta la situación de la Televisión en Colombia en lo que respecta a los canales ofrecidos.

TELEVISIÓN ABIERTA.

Canales privados 3:

2 nacionales, CARACOL Y RCN.
1 local, CityTV en Bogotá.

Canales públicos 11:

- ◆ 3 nacionales, canal Uno, Señal Colombia, Institucional.
- ◆ 8 regionales.

TELEVISIÓN CERRADA. 64 Operadores.

- ◆ 7 nacionales (+ 2 en trámite)

- La CNTV debe establecer la ubicación de las frecuencias para la TDT. La capacidad de espectro (ancho de banda) que necesita la TDT, es mucho menor que la actual analógica, lo que permite que su utilización sea mucho más eficiente y el resultado más visible para los espectadores es un incremento en la oferta del número de canales disponible. En el mismo espacio que ocupa un canal analógico, se pueden ofrecer 4 canales digitales.
- Se debe establecer un máximo número de licencias para los operadores privados, con el fin de garantizar una competencia leal, estas licencias deben tener un límite de tiempo, y se debe estipular si hay derecho a renovación, y en caso afirmativo cual sería su duración.
- En las regulaciones sobre la gestión del espectro radioeléctrico, se deben realizar políticas sobre el diseño de los programas de asignación; los procedimientos para adjudicar este recurso; y las cesiones de los derechos sobre concesiones y permisos. La transición de la televisión analógica a la digital debe estar enmarcada en la necesidad de un mejor uso del espectro.
- Dedicar el espectro recuperado a diversas aplicaciones públicas y privadas.
- Asignar el espectro radioeléctrico de manera eficiente, para ello se deben tomar medidas que promuevan la neutralidad regulatoria; favorezcan la asignación del espectro disponible para los usos más valiosos para la sociedad, y evitar intereses que vayan en contra de la sociedad.

- Se debe crear un mecanismo para la medición de audiencia en la TDT, así como para el control de contenidos. Es importante lo de la medición de audiencia puesto que de ello dependen los operadores de televisión en abierto.
- Los emisores públicos deberían desarrollar contenidos y servicios que garanticen una implantación eficaz y universal de la televisión digital como punto básico de acceso de los ciudadanos a la Sociedad de la Información
- La implementación de mecanismos para impedir la introducción de equipos que no sirvan para el estándar de TDT adoptado por Colombia, y que puedan perjudicar al usuario final por motivos de engaños o ignorancia.
- En el desarrollo de la Televisión Digital Terrestre en Colombia se debe tener en cuenta que la radiodifusión se tiene que hacer en tres niveles: nacional, regional y el local. La elaboración de su normatividad debe hacerse para cada uno de estos niveles, y los reglamentos de prestación del servicio deberá ser competencia de la administración central.
- Definir el canal Múltiple de TDT, en el se tiene que tener en cuenta el número de programas digitales que se van a transmitir sobre el (por lo general 4), su explotación en horas por día. Implica un gestor del múltiplex: las entidades que explotan un mismo canal múltiple podrán asociarse entre sí para la mejor explotación de todo lo que afecte al canal múltiple y establecer las reglas al respecto.
- Se debe determinar la modalidad de la transmisión de TDT, ya sea en abierto o en acceso condicional, dándole una condición de obligatoriedad a la transmisión de cierto tiempo por día a la transmisión en abierto.
- Concesión TDT en acceso condicional: incluye la facultad de prestar servicios de difusión de emisiones audiovisuales en los que el usuario se comunica a través de la red para acceder en el momento prefijado por el operador al programa deseado.
- Determinar una Normatividad sobre servicios digitales adicionales de televisión: servicios que incorporan tecnología digital y que pueden incluir interactividad (audio digital, servicios de Internet, telecompra, tele educación, intranets, etc.); se puede determinar la obligatoriedad o no de la inclusión de estos servicios en las ofertas, y que estén sujetos a las leyes que rijan a la TDT.
- Se deben establecer reglas claras para determinar como van a ser las financiaciones de los canales, puesto que el número de estos van a ir en aumento, y debe considerarse si van a competir por la publicidad existente actualmente y de las implicaciones que esto trae, ya que los recursos de publicidad no van a ir en aumento como el número de canales.

La transición de la tecnología de Televisión Terrestre Analógica hacia la Televisión Terrestre Digital, se debe realizar de una manera gradual, tomando en cuenta los avances y desarrollos de las tecnologías asociadas.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los capítulos anteriores muestran cómo la digitalización de la TV terrestre permitirá ofrecer servicios avanzados que hasta ahora estaban reservados para otras tecnologías, al disponer de un número considerablemente mayor de canales que el que ofrece la TV analógica, al incrementar la calidad de la emisión y disminuyendo los costos del servicio, permitiendo la interactividad con el usuario, pudiendo tener servicios de valor añadido. El modelo de negocio que podría utilizar Colombia en TDT es el abierto, con pago por servicios concretos. Los modelos de pago no parecen ser suficientemente atractivos, ya que, por un lado, el mercado para estos servicios es limitado, y por otro ya existen plataformas adaptadas que están cubriendo estas necesidades.

7.1. Conclusiones

1. Para identificar el formato de transmisión digital técnicamente más adecuado a Colombia, se ha propuesto un resumen comparativo basado en el análisis hecho en el capítulo 3 de este documento; la Tabla No 8 presenta éste resumen entre los tres estándares, en términos de las fortalezas y debilidades en cada uno de los aspectos analizados, además se indica la importancia relativa de cada criterio.

La nomenclatura utilizada es:

Gran fortaleza:	↑↑
Fortaleza:	↑
Neutral:	↔
Debilidad:	↓
Gran debilidad:	↓↓

Criterio	ATSC	DVB-T	ISDB-T	Importancia
Fuentes de Información	↔	↔	↔	Media
Sistema de transporte y múltiplex	↔	↑	↑	Media
Sistema de Audio	↔	↔	↔	Media
Televisión de alta definición (HDTV)	↔	↔	↔	Media
Compatibilidad con el equipamiento NTSC	↔	↔	↔	Baja
Tasas de Transmisión de Datos y Cobertura	↔	↑	↔	Alta
Tasas de Datos	↔	↑	↔	Alta
Ruido de Impulso	↑	↓	↑↑	Baja
Cobertura de Zonas Oscuras	↔	↔	↔	Baja
Multitrayectoria y Movilidad	↓	↑↑	↑	Alta
Robustez ante Propagación de Multitrayectoria	↓	↑↑	↑	Alta
Recepción bajo Condiciones de Movilidad	↓↓	↑↑	↑↑	Media
Ancho de Banda y Eficiencia Espectral	↔	↑	↓	Media
Utilización del Espectro y Eficiencia Espectral	↔	↑	↓	Media
Posibilidad de Funcionamiento con Bandas de 8 MHz	↓	↑↑	↓	Media
Coexistencia con Transmisiones Analógicas	↔	↔	↔	Baja
Costo y Disponibilidad de Equipos	↔	↑↑	↓↓	Alta

Tabla No 8. Resumen Comparativo de los tres estándares

Teniendo en cuenta que:

- En cuanto a resoluciones de video posibles, los tres estándares no presentan diferencias importantes, pudiendo todos operar en definición estándar y alta definición;
- Las diferencias entre los tres estándares en cuanto a calidad de las señales de audio posibles no son sustanciales.
- La gran flexibilidad del sistema DVB-T para configurar las transmisiones en función de tasas de datos deseadas y cobertura requerida, permite suavizar la transición desde TV analógica de definición estándar a TV Digital en alta definición. Dicha flexibilidad permite, además, que cada operador configure, en cada momento, sus transmisiones de acuerdo a su propio plan de negocios.
- Los sistemas ISDB-T y DVB-T permiten organizar las transmisiones en flujos jerárquicos, mientras que el sistema ATSC no lo permite.
- Las pruebas de campo realizadas en diferentes países, no son concluyentes en cuanto a que ATSC logra mejor cobertura que DVB-T, y que la cobertura de ISDB-T a tasas de datos comparables es levemente menor;
- El sistema que tiene la mejor inmunidad a propagación de multitrayectoria es DVB-T, y que este aspecto es crítico en un entorno geográfico como el colombiano.
- Dicha inmunidad por parte de ATSC requiere complejidad en los diseños de los receptores, y que este aspecto es regulado por mercados de contextos geográficos y socioeconómicos externos al colombiano.
- La eficiencia espectral de los tres estándares funcionando en bandas de 6 MHz es similar.
- DVB-T presenta mayor eficiencia espectral que los otros dos estándares cuando opera en bandas de 8 MHz.
- La disponibilidad inmediata de espectro en Colombia es escasa.
- El tamaño del mercado mundial de equipos DVB-T es superior al de ATSC, y muy superior al de ISDB-T, garantizando gran variedad de dispositivos a costos competitivos;
- El sistema ISDB-T, además de tener un mercado mundial pequeño, necesita de dispositivos (*set top boxes* y televisores) comparativamente más complejos que DVB-T;

Se concluye que:

Al menos por ahora, DVB-T y ATSC aparecen como las dos normas posibles a considerar, debido a que sería conveniente tomar en cuenta únicamente aquellas que aparezcan con las mejores probabilidades de sobrevivir en el largo plazo y que, además, ofrezcan potencialidades de servicios y negocios que sean aplicables en nuestro medio. Por ésta razón se desaconseja considerar una norma cuya existencia es conocida, pero que ha sido desarrollada por y para países del Lejano Oriente, ella es ISDB-T. Por este motivo y porque aún no están disponibles para el público y la industria, las discusiones se han centrado siempre en la comparación de sólo dos normas: ATSC (norteamericana) y DVB-T (europea).

Finalmente después de considerar los dos estándares restantes y según las consideraciones hechas anteriormente se puede afirmar que en teoría DVB-T es el técnicamente mas adecuado para la implementación de TDT abierta en Colombia.

2. La infraestructura de red existente para Televisión Analógica puede ser reutilizada para la radiodifusión de TDT, aunque debe ser adecuada reemplazando algunos equipos y repotenciando otros. Sin embargo esta es una gran posibilidad debido a que permite reducir costos a la hora de hacer el cambio tecnológico.
3. La tecnología digital exige reorganizar la utilización de un bien público escaso como el espacio radioeléctrico destinado a la televisión, asignando espacios para los canales que emitan usando esta tecnología, manteniendo, al mismo tiempo la transmisión en forma analógica para aquellos usuarios que no cuenten con receptores adecuados para recibir la nueva señal, mientras ocurre el apagón analógico.
4. El éxito global de la norma que se adopte resultará importante para garantizar la disponibilidad de receptores de televisión a bajos precios y por largo tiempo. No se debe pasar por alto que, a pesar de existir infinidad de servicios y negocios por desarrollar y que hoy aún no imaginamos siquiera, el motor que impulsará a los televidentes a cambiar sus receptores, determinando el éxito del cambio, serán los servicios de televisión en su forma tradicional (mejorados al ser transmitidos digitalmente, en alta definición).
5. La decisión en cuanto a la norma de televisión digital terrestre que adoptará Colombia, debiera ser resuelta a corto plazo, para permitir que los canales de televisión abierta tengan un horizonte digital claro, que les permita planificar las importantes inversiones que serán necesarias y la renovación tecnológica de sus instalaciones.
6. La introducción de TDT en Colombia debe generar un esquema regulatorio dictado por el interés público que involucra un régimen más restrictivo que el de otros medios como la prensa o radio. Por ejemplo, pluralismo, violencia, protección de menores, etc. Además debe establecerse las condiciones de prestación del servicio, aclarar las exigencias para la participación de los radiodifusores en el mercado, determinar las exigencias relativas a los contenidos, y fijar los mecanismos de garantía de la pluralidad y la independencia.

7.2. Recomendaciones

Resta una gran labor en el análisis sobre la implantación de TDT en Colombia y nuevas líneas de investigación se abren en el futuro. El constante avance tecnológico hace necesario la interacción de distintas profesiones y especialidades, invitando y obligando a todos los consejos profesionales así como organizaciones y empresas a brindar su opinión.

Cabe mencionar como ejemplo algunas recomendaciones para trabajos futuros.

- Una vez escogido el sistema de transmisión digital a utilizar debe hacerse un exhaustivo trabajo sobre pruebas reales de campo hechas sobre las diversas regiones de la geografía colombiana.
- Puede hacerse un trabajo sobre la inclusión de la sociedad en programas de teleeducación a través de la televisión.
- Se recomienda realizar trabajos encaminados a la producción de nuevas aplicaciones y servicios con el fin de sacar el mayor provecho de la tecnología digital.
- Es necesario estudiar exhaustivamente la factibilidad de introducir la TV Digital en canales de 8 MHz de ancho de banda, y establecer un plan regulatorio de acuerdo a ello.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **WIKIPEDIA. Relación de aspecto.** (Julio 2002). [En línea]. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Relaci%C3%B3n_de_aspecto
- [2] **Fundamentos básicos de televisión** (Marzo 2000). Descargado el 1 de Noviembre de 2007. [En línea]. Disponible en: http://www.diac.upm.es/acceso_profesores/paginas_personales/erendon/fbtv02.pdf
- [3] **TARRÉS Ruiz, Francesc.** Sistemas Audiovisuales. Televisión Analógica y Digital. Primera Edición. Junio de 2000. [En línea]. Disponible en: <http://www.edicionsupc.es/ftppublic/pdfmostra/TL02200C.pdf>
- [4] **Trabajo Integrador** (Agosto de 2007). Descargado el 1 de Diciembre de 2007. [En línea]. Disponible en: <http://www.itba.edu.ar/capis/epg-tesis-y-tf/trigal-tfe.pdf>
- [5] **GUSTIN Arteaga, Edgar Mario. Principios Básicos de Televisión.** 2002. Disponible en: Biblioteca Central Unicauca
- [6] **Transmissió i Emmagatzament d'imatge TEI.** Descargado el 1 de Noviembre de 2007. [En línea]. Disponible en: <http://147.83.50.50/imatge/Main/TEI/television.pdf>
- [7] **WIKIPEDIA. NTSC.** (Septiembre 2003). [En línea]. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/NTSC>. Acceso 14 de Noviembre de 2007
- [8] **CNTV. Plan de Utilización de Frecuencias de Televisión Canal Regional – Telecafé.** [En línea]. Disponible en: http://www.cntv.org.co/cntv_bop/servicio_cober/espectro/frecuencia_telecafe.pdf
- [9] **ADVANCED TELEVISION SYSTEMS COMMITTEE, INC. Historia del Estándar ATSC.** [En línea]. Disponible en: <http://www.atsc.org/history.html>
- [10] **ATSC Standard: Use of ATSC A/65A PSIP Standard in Taiwan.** Documento A/68, 11 Julio 2001. [En línea]. Disponible en: http://www.atsc.org/standards/a_68.pdf
- [11] **ATSC Standard: Synchronization Standard for Distributed Transmission, Revision A.** Documento A/110A, 19 Julio 2005. [En línea]. Disponible en: http://www.atsc.org/standards/a_110a.pdf
- [12] **ATSC Recommended Practice: Guide to the Use of the ATSC Digital Televisión Standard.** Documento A/54A, 4 Diciembre 2003. [En línea]. Disponible en: http://www.atsc.org/standards/a_54a.pdf
- [13] **ISO/IEC IS 13818-1 (E), International Standard, Information technology. Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems.** Segunda Edición, 1 Diciembre 2000. [En línea]. Disponible en: <http://neuron2.net/library/mpeg2/iso13818-1.pdf>
- [14] **ISO/IEC IS 13818-2, International Standard, Information technology. Generic coding of moving pictures and associated audio information: Video.** 1996 [En línea]. Disponible en: <http://le-hacker.org/hacks/mpeg-drafts/is138182.pdf>

- [15] **ISO/IEC CD 13818-4, International Standard, Information technology. Generic coding of moving pictures and associated audio information: Compliance testing.** 1 Diciembre 1998. [En Línea].
Disponible en: <http://neuron2.net/library/mpeg2/iso138184.pdf>
- [16] **ATSC Standard: Digital Television Standard, Part 1.** Documento A/53, 3 Enero 2007. [En línea]. Disponible en: http://www.atsc.org/standards/a_53-Part-1-2007.pdf
- [17] **ATSC Standard: Digital Television Standard, Part 1.** Documento A/53, 3 Enero 2007. [En línea]. Disponible en: http://www.atsc.org/standards/a_53-Part-1-2007.pdf
- [18] **WIKIPEDIA. Display Resolution.** [En línea]. Disponible en:
http://en.wikipedia.org/wiki/Display_resolution
- [19] **ATSC Standard: Digital Audio Compression Standard (AC-3, E-AC-3), Revisión B.** Documento A/52B, 14 Junio 2005. [En línea].
Disponible en: http://www.atsc.org/standards/a_52b.pdf
- [20] **ATSC Standard: Digital Audio Compression Standard (AC-3, E-AC-3), Revisión B.** Documento A/52B, 14 Junio 2005. [En línea].
Disponible en: http://www.atsc.org/standards/a_52b.pdf
- [21] **ISO/IEC IS 13818-1 (E), International Standard, Information technology. Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems.** Segunda Edición, 1 Diciembre 2000. [En línea].
Disponible en: <http://neuron2.net/library/mpeg2/iso13818-1.pdf>
- [22] **ISO/IEC IS 13818-2, International Standard, Information technology. Generic coding of moving pictures and associated audio information: Video.** 1996
[En Línea]. Disponible en: <http://le-hacker.org/hacks/mpeg-drafts/is138182.pdf>
- [23] **ISO/IEC CD 13818-4, International Standard, Information technology. Generic coding of moving pictures and associated audio information: Compliance testing.** 1 Diciembre 1998. [En Línea].
Disponible en: <http://neuron2.net/library/mpeg2/iso138184.pdf>
- [24] **ATSC Standard: ATSC Digital Television Standard (A/53) Revision E, with Amendment No. 1,** Documento A/53E, 18 Abril 2006. [En línea]. Disponible en:
<http://www.action.com.tw/tech/atsc/a53e-atsc-system.pdf>
- [25] **ATSC Standard: Synchronization Standard for Distributed Transmission, Revision A.** Documento A/110A, 19 Julio 2005. [En línea].
Disponible en: http://www.atsc.org/standards/a_110a.pdf
- [26] **ATSC Recommended Practice: Design Of Synchronized Multiple Transmitter Networks.** Documento A/111, 3 Septiembre 2004. [En línea].
Disponible en: http://www.atsc.org/standards/a_111.pdf
- [27] **ISO/IEC IS 13818-1 (E), International Standard, Information technology. Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems.** Segunda Edición, 1 Diciembre 2000. [En línea].
Disponible en: <http://neuron2.net/library/mpeg2/iso13818-1.pdf>

- [28] **ISO/IEC IS 13818-2, International Standard, Information technology. Generic coding of moving pictures and associated audio information: Video.** 1996
[En Línea]. Disponible en: <http://le-hacker.org/hacks/mpeg-drafts/is138182.pdf>
- [29] **ISO/IEC CD 13818-4, International Standard, Information technology. Generic coding of moving pictures and associated audio information: Compliance testing.** 1 Diciembre 1998.
[En Línea].
Disponible en: <http://neuron2.net/library/mpeg2/iso138184.pdf>
- [30] **ETSI. ETR 154: Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for the use of MPEG-2 Systems, Video and Audio in satellite, cable and terrestrial broadcasting applications.** Tercera Edición, Septiembre 1997. [En línea].
Disponible en:
http://www.bjpace.com.cn/data/tec/tec-DVB/DVB%20BlueBooks%20Standards/Specifications%20and%20Standards/mpeg/dvb-mpeg/Etr154_e3.pdf
- [31] **prEN 300 468: "Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for Service Information (SI) in DVB systems".** Diciembre 2005. [En línea].
Disponible en: http://webapp.etsi.org/action/OP/OP20060428/en_300468v010701o.pdf
- [32] **ETSI EN 300 744 V1.5.1 (2004-11), Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television.** Junio 2004. [En línea].
Disponible en:
http://broadcasting.ru/pdf-standard-specifications/transmission/dvb-t/den300744.v1.5.1.oap20041029_040630-041029.pdf
- [33] **ETSI TS 101 191: " Digital Video Broadcasting (DVB); DVB mega-frame for Single Frequency Network (SFN) synchronization".** Junio 2004. [En línea]. Disponible en:
<http://broadcasting.ru/pdf-standard-specifications/transmission/dvb-t/ts101191.v1.4.1.pdf>
- [34] **ARIB Standard B31, Transmission System for Digital Terrestrial Television Broadcasting.** 30 Noviembre 2005. [En línea]. Disponible en:
http://www.arib.or.jp/english/html/overview/doc/6-STD-B31v1_6-E2.pdf
- [35] **ARIB Standard B31, Transmission System for Digital Terrestrial Television Broadcasting.** 30 Noviembre 2005. [En línea]. Disponible en:
http://www.arib.or.jp/english/html/overview/doc/6-STD-B31v1_6-E2.pdf
- [36] **ATSC Recommended Practice: Guide to the Use of the ATSC Digital Televisión Standard.** Documento A/54A, 4 Diciembre 2003. [En línea]. Disponible en:
http://www.atsc.org/standards/a_54a.pdf
- [37] **ETSI TS 101 190 Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for DVB terrestrial services; Transmission aspects.** Julio 2004. [En línea]. Disponible en:
http://broadcasting.ru/pdf-standard-specifications/transmission/dvb-t/dtr101190.v1.2.1.jtc_vote.pdf
- [38] **ETSI EN 300 744 V1.5.1 (2004-11), Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television.** Junio 2004. [En línea].
Disponible en:
http://broadcasting.ru/pdf-standard-specifications/transmission/dvb-t/den300744.v1.5.1.oap20041029_040630-041029.pdf

- [39] **A.P. Robinson, C.R. Nokes, Results of RF measurements with DVB-T chip-set and comparison with ATSC performance.** BBC Research & Development. May 1999. [En línea]. Disponible en:
<http://citeseer.ist.psu.edu/robinson99results.html>
- [40] **YIYAN Wu. Performance Comparison of ATSC 8-VSB and DVB-T COFDM Transmission Systems for Digital Television Terrestrial Broadcasting.** [En línea]. Disponible en:
<http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/login.jsp?url=/iel5/6362/17019/00785229.pdf?temp=x>
- [41] **CHI-FANG Huang, The Nan Chang and Chau-Yun Hsu, Field evaluations in Taiwan of the DVB-T COFDM and ATSC 8-VSB digital TV systems.** EBU TECHNICAL REVIEW, Julio 2003. [En línea]. Disponible en:
http://www.ebu.ch/en/technical/trev/trev_295-huang.pdf
- [42] **ITU Radiocommunication Study Groups, Question ITU-R 205/11, Transmisión Performance of ISDB-T, documento 11A/Jxx-E.** 30 Marzo 1999. [En línea]. Disponible en:
http://www.dibeg.org/techp/Documents/ISDB-T_Jxx.PDF
- [43] **Federal Communications Commission. Advanced Television Systems and Their Impact Upon the Existing Television Broadcast Service.** 6th Report And Order on MM Docket No. 87-268 FCC 97-115. 23 Febrero 1998. [En línea]. Disponible en:
http://www.fcc.gov/Bureaus/Engineering_Technology/Orders/1997/fc97115a.pdf
- [44] **Federal Communications Commission. OET Bulletin No. 69.** Longley-Rice Methodology for Evaluating TV Coverage and Interference. 6 Febrero 2004. [En línea]. Disponible en:
http://www.fcc.gov/Bureaus/Engineering_Technology/Documents/bulletins/oet69/oet69.pdf
- [45] **Comision Nacional de Televisión. Pruebas Televisión Digital Terrestre – TDT.** [En línea]. Disponible en:
http://www.cntv.org.co/cntv_bop/tv_digital/documentos/pruebas.pdf
- [46] **BONILLA Sebá, Edna Cristina.** González Borrero, Jorge Iván. **Regulación y Concesiones en la Televisión Colombiana.** [En línea]. Disponible en:
<http://www.uexternado.edu.co/facecono/facultad/Obs.%20colombiano%20de%20energ%C3%ADa/PDF/JORGE%20IVAN%20GONZALEZ%20-%20EDNA%20BONILLA.pdf>
- [47] **Comisión Interamericana de Telecomunicaciones. Guía de Implementación de Radiodifusión de Televisión Terrenal Digital.** Octubre 2005. [En línea]. Disponible en:
http://www.citel.oas.org/sp/ccp2-radio/TV%20Digital/P2!R-0811p1r2_e.pdf