

**Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas**

**Facultad de Ingeniería Eléctrica**

**Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica**



## **TRABAJO DE DIPLOMA**

**Propuesta de utilización de técnicas de multiplexación estadística aplicadas al flujo de transporte en la DTT en Cuba.**

**Autor: Lilisbet Vega Ledesma.**

**Tutor: Ing. Irina Siles Siles.**

**Santa Clara**

**2016**

**"Año 58 de la Revolución"**

**Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas**

**Facultad de Ingeniería Eléctrica**

**Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica**



## **TRABAJO DE DIPLOMA**

**Propuesta de utilización de técnicas de multiplexación estadística aplicadas al flujo de transporte en la DTT en Cuba.**

**Autor: Lilisbet Vega Ledesma.**

lvega@uclv.cu

**Tutor: Ing. Irina Siles Siles.**

irinass@uclv.edu.cu

**Santa Clara**

**2016**

**"Año 58 de la Revolución"**



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

---

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

---

Firma del Tutor

---

Firma del Jefe de Departamento  
donde se defiende el trabajo

---

Firma del Responsable de  
Información Científico-Técnica

## PENSAMIENTO

*“Conserva lo que tienes, olvida lo que te duele, lucha por lo que quieres, valora lo que posees, perdona a los que te hieren y disfruta a los que te aman. Nos pasamos la vida esperando que pase algo y lo único que pasa es la vida. No entendemos el valor de los momentos hasta que se han convertido en recuerdos, por eso haz lo que quieras hacer antes que se convierta en lo que te hubiese gustado haber hecho. No hagas de tu vida un borrador, tal vez no tengas tiempo de pasarlo en limpio. Nunca es tarde para empezar a ser felices.”*

*Bob Marley*

## DEDICATORIA

*A mis padres Carlos y Eunice, por su esfuerzo y apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida, por guiarme por el camino correcto, por creer en mí, por ser mi fuente de inspiración para realizar este sueño.*

*A mi hermana Lisbeth, por ser mi hermanita pequeña y para que sepa que con esfuerzo y dedicación los sueños sí se pueden hacer realidad.*

*A mi novio Jorgito, por estar siempre a mi lado cuando más lo necesito, por quererme y apoyarme en todo momento, por ser mi amigo más fiel y el mejor novio del mundo.*

*A mis suegros Jorge y Eloisa y a mi cuñadita Ana Laura, porque han sido mi segunda familia a lo largo de toda mi carrera.*

*A mis abuelos Eliseo, Amarilis, Ana y Carlito, porque siempre han estado orgullosos de mí.*

## AGRADECIMIENTOS

*A mis padres, por todo lo que han hecho y sacrificado por mí.*

*A mi tutora Irina , por ayudarme a realizar este trabajo y ser tan dulce y comprensiva con sus estudiantes.*

*A mi novio, por su comprensión y apoyo incondicional.*

*A mi hermana y a mi familia por toda la ayuda y confianza que siempre me han dado.*

*A la Ingeniera Rafaela , por la ayuda que me brindó en Radio Cuba para la realización de este trabajo.*

*A el profesor Erisbel, por su dedicación cuando mi tutora no estaba presente.*

*A todos los profesores de mi facultad por brindarme sus conocimientos para mi formación profesional.*

*A todas aquellas personas que de una forma u otra contribuyeron a la realización de este trabajo.*

*A todos Gracias!!!!*

## TAREA TÉCNICA

- Revisión bibliográfica sobre DTT y Multiplexación Estadística.
- Análisis de la eficiencia de la multiplexación estadística empleada en Cuba.
- Propuestas de alternativas que hagan uso más eficiente de la multiplexación estadística.

---

Firma del Autor

---

Firma del Tutor

## RESUMEN

El cúmulo de ventajas asociadas a la DTT ha atraído a proveedores y televidentes. Esta tecnología ha sido desplegada recientemente en el escenario nacional, por lo que constituye un desafío actual su gestión y operación. Para que dicha señal digital llegue a toda la población, es necesario el diseño de redes de difusión que permitan la transmisión de señales de audio, video y datos de forma eficiente. Luego de varios años en la etapa de coexistencia en Cuba entre la TV analógica y la digital se observan algunas deficiencias en la calidad del video y en la gestión y aprovechamiento de los recursos de transporte. Esta situación conlleva a proponer soluciones de mejoras para la gestión de los recursos de transporte en función del uso eficiente de la multiplexación estadística utilizada en la DTT en Cuba. De acuerdo a la evolución de la DTT y a la creciente necesidad de liberar el espectro radioeléctrico, en el presente trabajo se proponen alternativas viables para la red de radiodifusión nacional, centradas en el empleo eficiente de la codificación de fuente y de técnicas la multiplexación estadística. Todas las propuestas presentadas permiten elevar la eficiencia del uso de los recursos de transporte mejorando la calidad de video percibida por los usuarios y están avaladas por estudios recientes que marcan la tendencia actual de la DTT, aplicables al entorno nacional.

Palabras claves: DTT, Multiplexación Estadística

## TABLA DE CONTENIDOS

PENSAMIENTO .....	i
DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
TAREA TÉCNICA .....	iv
RESUMEN .....	v
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
1.1 Introducción a la Televisión Digital.....	4
1.1.1 Televisión Digital Terrestre.....	4
1.1.2 Ventajas de la DTT .....	6
1.1.3 Estándares, características y evolución de la DTT a nivel mundial .....	6
1.2 El estándar DTMB para Televisión Digital en Cuba. ....	8
1.3 Estructura General de una transmisión de DTT en Cuba.....	9
1.4 Formación del TS.....	11
1.4.1 Generación de los flujos de señal MPEG-2 .....	11
1.4.2 Información Específica de los Programas .....	14
1.5 Etapa de Multiplexación .....	15
1.5.1 Multiplexación Estadística.....	16
1.5.1.1 Codificación de video con <i>statmux</i> .....	17
1.5.1.2 Tipos de <i>statmux</i> .....	18
1.5.1.3 Modos de funcionamiento de la <i>statmux</i> .....	20
1.5.1.4 Ventajas de utilizar la <i>statmux</i> .....	21

1.6	Conclusiones del capítulo .....	22
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS.....		23
2.1	Descripción de los servicios DTT en Cuba en la etapa de simultaneidad. ....	23
2.2	Analizador de flujos de transporte BTA-P200.....	25
2.1.1	Características del BTA-P200 .....	25
2.1.2	Funcionalidades del BTA-P200.....	25
2.1.3	Módulos funcionales del BTA-P200 .....	27
2.3	Analizador de televisión S7000 .....	28
2.3.1	Características del S7000.....	28
2.3.2	Monitoreo y Análisis del TS.....	29
2.4	Mediciones realizadas .....	32
2.4.1	Mediciones realizadas al canal SDTV radiodifundido nacionalmente .....	33
2.4.2	Mediciones realizadas al canal HDTV radiodifundido nacionalmente .....	36
2.5	Método “Factor CBR-a-VBR” .....	37
2.6	Conclusiones del capítulo .....	39
CAPÍTULO 3. Análisis de resultados y propuestas de mejoras. ....		40
3.1	Consideraciones iniciales .....	40
3.2	Resultados obtenidos de las mediciones realizadas .....	41
3.3	Propuestas de mejoras para el Canal de la SDTV.....	45
3.3.1	Propuesta 1: Reutilización de la capacidad ofrecida por los paquetes nulos..	45
3.3.2	Propuesta 2: Combinación “inteligente” en función de la complejidad de cada canal virtual para la conformación de múltiples MPEG TS .....	46
3.3.3	Propuesta 3: Cambio de método de la transmisión de datos.....	46
3.3.4	Propuesta 3: Sustitución del estándar de codificación de video y audio .....	48
3.4	Propuestas de mejoras para el Canal de la HDTV .....	50

3.4.1	Propuesta 1: Inserción de otro programa .....	50
3.4.2	Propuesta 2: Cambio del esquema de modulación .....	50
3.5	Conclusiones del capítulo .....	51
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		53
Conclusiones .....		53
Recomendaciones .....		54
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		55
GLOSARIO DE TÉRMINOS .....		59
ANEXOS .....		55
Anexo I	Calidad de video de DTT vs Televisión Analógica. Fuente: Elaboración propia.	62
Anexo II	Inserte Optimización del Espectro Radioeléctrico. Fuente: (Zambrano)....	62
Anexo III	Diagrama de los bloques funcionales de DTMB. Fuente:(Zhang, 2014) .....	63

## INTRODUCCIÓN

El despliegue de la Televisión Digital Terrestre (DTT, *Digital Terrestrial Television*) en el mundo incorpora ventajas significativas en cuanto a calidad de audio y video, uso eficiente del espectro radioeléctrico, portabilidad y movilidad, aumento de la cantidad de programas nuevos servicios y aplicaciones interactivas que benefician a la sociedad de modo general (Martínez, 2015). Para que dicha señal digital llegue a toda la población, es necesario el diseño de redes de difusión que permitan la transmisión de forma eficiente (ITU-R, 2015, Co., 2015), pues el requisito fundamental para el exitoso desarrollo de la tecnología DTT es lograr una buena Calidad de Experiencia (QoE, *Quality of Experience*) percibida por los usuarios (Diego Durán, 2014).

Desde el principio de la evolución de las tecnologías en los años 60, se ha intentado buscar la forma más eficiente de transmitir diversas señales multiplexadas (Prieto, 2013). No fue hasta los años 90 que se comenzaron a implementar técnicas de multiplexación estadística para gestionar eficientemente el ancho de banda y la consecuente posibilidad de inserción de nuevos servicios (Pellen, 2013). Esta técnica se ha hecho muy popular e idónea y ha encontrado un campo de acción en la DTT para lograr alcanzar niveles de eficiencia mucho mayores. La anterior aseveración se ratifica en los trabajos de (Bou, 2010) y (Enterprises, 2015).

En Cuba el desarrollo de la DTT es un proyecto integral de creación de infraestructura social, con la finalidad de mejorar sustancialmente la calidad de imagen que se transmite y recibe actualmente y por consiguiente mejorar el nivel de vida del pueblo, introduciendo una tecnología de punta que favorece a toda la población. Esta es una evolución inevitable que cada país tiene que enfrentar y que se enmarca en el proceso de digitalización que ya ha

tenido lugar en muchas tecnologías, como la telefonía fija y móvil, el almacenamiento y la transmisión de datos, Internet, y las comunicaciones en general. El país que no implemente la televisión digital corre el riesgo de quedarse sin soporte técnico.

No obstante, el paso a la DTT en Cuba advierte una desventaja significativa que es el costo de la transición y la incompatibilidad de los televisores actuales, que necesitan acoplarse a un dispositivo que convierta la señal digital en analógica, denominado caja decodificadora, receptor de televisión digital terrestre o *set-top-box* (Martínez, 2015). Dicho dispositivo es relativamente caro en correspondencia con la economía de los cubanos. Es por eso que es necesario que el televidente perciba el video con la calidad requerida para que sienta satisfacción y esté complacido, después de realizar la inversión correspondiente para poder recepcionar la señal digital.

Actualmente en Cuba, el proceso de codificación de fuente y multiplexación para la conformación de la trama con contenidos audiovisuales y datos, o como también se le llama, Flujo de Transporte (TS, *Transport Stream*) se lleva a cabo en la Cabeza de Línea. La experiencia adquirida, a pesar del poco tiempo de explotación de la tecnología de DTT, ha permitido realizar varias investigaciones en esta materia. Algunas han estado enfocadas a realizar un análisis de las degradaciones en la calidad audiovisual en función de métricas objetivas y subjetivas, como es el caso de (Y.Núñez, 2015). Ninguna ha asociado estas degradaciones al uso ineficiente de los recursos de transporte que se pueden relacionar con el hecho de que la multiplexación que se está empleando no está siendo eficiente. La situación existente de ineficiencia o mala gestión puede ser eliminada, o mejorada considerablemente, teniendo en cuenta los métodos utilizados actualmente orientados al empleo óptimo de la multiplexación estadística.

Considerando que la televisión constituye el medio de mayor difusión masiva en Cuba se hace necesario buscar alternativas en pos de solucionar esta problemática y alcanzar los elevados estándares de calidad esperados en la tele y radiodifusión. Teniendo en cuenta los aspectos anteriores, se formula la siguiente interrogante ¿Cómo contribuir a que se realice un uso eficiente de los recursos de transporte a través de la incidencia de técnicas de multiplexación estadística?

Para dar solución a la problemática anterior, en el presente trabajo de diploma se planteó como **objetivo general** proponer soluciones de mejoras para la gestión de los recursos de transporte en función del uso eficiente de la multiplexación estadística utilizada en la DTT en Cuba.

De este objetivo general se derivan los siguientes **objetivos específicos**:

1. Estudiar las características de la señal de televisión digital transmitida en Cuba.
2. Caracterizar la técnica de multiplexación estadística.
3. Analizar la eficiencia de la multiplexación estadística empleada en Cuba.
4. Proponer alternativas que hagan uso más eficiente de la multiplexación estadística.

En el desarrollo de la investigación se da respuesta a las siguientes **preguntas científicas**:

- ¿Qué características tiene la DTT en Cuba?
- ¿Qué características posee la técnica de multiplexación estadística?
- ¿Qué mediciones se pueden realizar para analizar la eficiencia de la multiplexación estadística?
- ¿Qué alternativas se proponen para hacer un uso eficiente de la multiplexación estadística de la señal digital nacional?

Con el propósito de satisfacer los objetivos planteados se estructura el trabajo en introducción, capitulario, conclusiones y referencias bibliográficas.

En la introducción se deja definida la importancia, actualidad y necesidad del tema que se aborda. En el Capítulo 1 se estudia la señal digital transmitida en Cuba y se caracteriza la técnica de multiplexación estadística por la incidencia que tiene en la calidad de video. En el Capítulo 2 se describen los materiales y métodos que se utilizaron para realizar mediciones que permitieron analizar la eficiencia de la multiplexación estadística. En el Capítulo 3 se analizan los resultados obtenidos y se proponen alternativas que incrementen la eficiencia de la multiplexación estadística. En las conclusiones se realiza una síntesis de los resultados alcanzados en la investigación.

## **CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

En el presente capítulo se realiza una revisión bibliográfica para conocer las características de los sistemas DTT, su desarrollo y las tendencias mundiales en el despliegue de los mismos. Se abordan las peculiaridades del TS irradiado en el entorno nacional, se hace énfasis en la etapa de multiplexación, y particularmente en la técnica de multiplexación estadística por las ventajas que traería consigo su aplicación a los recursos de transporte en la DTT en Cuba.

### **1.1 Introducción a la Televisión Digital**

La televisión digital es el conjunto de tecnologías de transmisión y recepción de imágenes a través de señales digitales. A diferencia de la televisión analógica, la televisión digital codifica sus señales de forma binaria, habilitando así la posibilidad de crear vías de retorno entre consumidor y productor de contenidos, haciendo posible la creación de aplicaciones interactivas. Además permite obtener imágenes más claras, mejor sonido y con mayor diversidad de canales (Reyes 2011).

#### **1.1.1 Televisión Digital Terrestre**

La DTT permite corregir en gran medida los problemas derivados de las propias técnicas de modulación utilizadas en las transmisiones analógicas, que incluyen interferencias multitrayecto, causadas por las reflexiones, interferencias destructivas, con transmisores que se solapan, zonas de silencio y una utilización del espectro muy limitado. Esta, es el resultado de la aplicación de las tecnologías digitales del procesamiento de la información a la señal de televisión abierta, que se transmite sin necesidad de cables o satélites (Albornoz, 2012).

Esta difusión se hace en las bandas III (VHF, Very High Frequency), IV y V (UHF, Ultra High Frequency) desde 174 MHz hasta 826 MHz, utilizando, según el país, diferentes estándares.

La DTT mejora en la calidad de la recepción y aumenta la disponibilidad de servicios tanto de canales como en versatilidad del sistema: emisión con sonido multicanal, múltiples señales de audio, teletexto, Guía Electrónica de Programas(EPG, *Electronic Program Guide*), canales de radio, servicios interactivos e imagen panorámica(Briceño, 2012).

La estructura general de una plataforma de DTT según (Whitaker, 2006, Jhon Arnold, 2007) se compone básicamente de tres elementos, véase Figura 1.1.

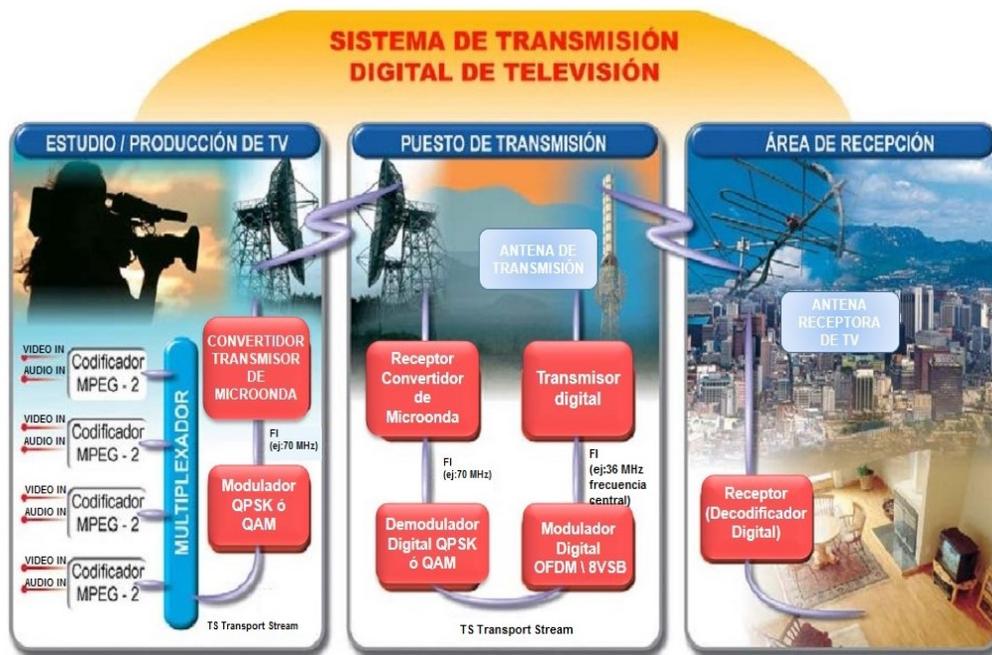


Figura 1.1. Representación general de un sistema de DTT. Fuente:(Jhon Arnold, 2007)

El primer elemento es la Cabecera o Cabeza de Línea (*Head End*), donde se sitúa el equipamiento necesario para realizar la codificación de fuente y la compresión de las señales audiovisuales mediante el uso de métodos para la reducción de la razón de bits. El segundo elemento es la etapa de Multiplexación y Transporte, encargada de la multiplexación de los canales virtuales en un único flujo mediante el uso e implementación de las técnicas adecuadas para la identificación de cada servicio, la coexistencia de los mismos en un canal con ancho de banda limitado y con determinados requerimientos para el uso de mecanismos de transporte eficiente. Por último, el tercer elemento es la etapa de RF que está ligada a la

modulación y la codificación del canal, asociada entonces con un estándar de TVD (Televisión Digital).

### 1.1.2 Ventajas de la DTT

Según varios autores (Prado, 2003, Moreno, 2011, Albornoz, 2012, Briceño, 2012, Mariño, 2010, Genovese N. , 2006) entre las principales ventajas de los sistemas de transmisión de DTT se encuentran las siguientes:

- ✓ Aumenta sensiblemente la calidad de sonido e imagen, tanto en su definición como en su robustez, frente a los efectos de las interferencias. (Veáse Anexo1)
- ✓ Un mejor aprovechamiento del espectro radioeléctrico. (Véase Anexo2)
- ✓ Posibilita servicios interactivos.
- ✓ Mejor aspecto de pantalla (de un ratio 4:3 se pasa al cinematográfico16:9).
- ✓ Permite con el programa en curso, transmitir datos y audio adicionales (como son subtítulos, radio digital, alarmas y traducción).
- ✓ Los equipos pueden trasladarse de un sitio a otro a diferencia de las instalaciones de televisión satelital que son fijas.
- ✓ Mejor recepción (señal libre de ruido).
- ✓ Menor costo de transmisión por programa.
- ✓ El ancho de banda liberado puede destinarse a la emisión de otros programas, emisiones de televisión de alta definición o a la transmisión de datos y nuevos servicios interactivos.
- ✓ Permite un consumo asincrónico a través del almacenado de programas en discos duros de decodificadores.
- ✓ Permite utilizar SFN.

### 1.1.3 Estándares, características y evolución de la DTT a nivel mundial

Actualmente los estándares que más representación tienen a nivel global son el europeo DVB (*Digital Video Broadcasting*), el americano ATSC (*Advanced Television System Committee*), el japonés ISDB-T (*Integrated Services Digital Broadcasting*) y el chino DTMB (*Digital Terrestrial Multimedia Broadcasting*). Dichos estándares se han desarrollado con el tiempo (Figura 1.3) dando lugar al surgimiento de nuevas variantes con el propósito de mejorar las deficiencias que presentaban los iniciales.

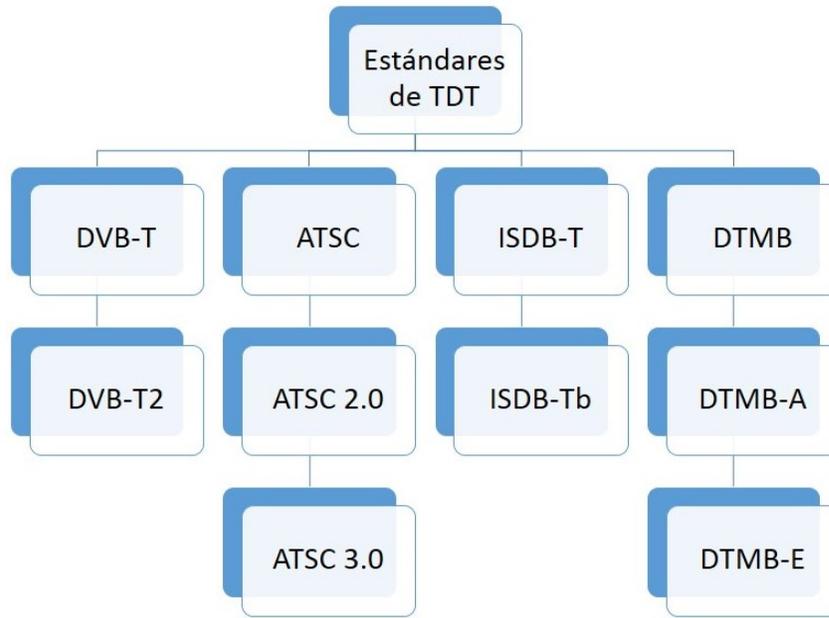


Figura 1.2. Desarrollo de los estándares de DTT (Fuente: Elaboración propia)

Estos sistemas tienen sus propias características técnicas que hacen que requieran equipos de recepción particulares. En la práctica, esto se traduce en que si se quiere que la televisión sea recibida por todos, tanto el canal de televisión como los televidentes deben contar con el mismo estándar de televisión digital, en la transmisión y en la recepción. En la tabla 1.1 se presentan a modo de resumen los aspectos principales que presentan cada uno de los estándares de DTT (DTMB, 2006, Jacomé, 2009, Nakonechny, 2010, Sotelo R. , 2011, Zhang, 2014, Takada, 2006, Rennes, 2010, Pisciotta, 2010, Iñaki Eizmendi, 2014, L. Fay, 2016, L. Michael y David Gómez-Barquero, 2015).

Tabla 1.1. Aspectos principales de los diferentes Estándares de DTT.

Estándares	Canalizaciones	Razón de Datos	Codificación de Canal y Corrección de errores	Codificación de Video	Codificación de Audio	Técnica de Modulación	Fortalezas
DVB-T	6 MHz y 8 MHz	3,73 - 23,75 Mbps para 6 MHz 4,98 - 31,67 Mbps para 8 MHz	Reed-Solomon + Convolutiva + corrector de errores de Viterbi	MPEG-2 o MPEG-4 (H.264)	MPEG-1, AAC o AC-3	COFDM. Constelaciones de 4-QAM, 16-QAM o 64-QAM	Interactividad, desarrollo de aplicaciones multimedia.
DVB-T2	1.7 MHz, 5 MHz, 6 MHz, 7 MHz, 8 MHz y 10 MHz	Hasta 50 Mbps	BCH+LDPC(16K,64K) 1/2,3/5,2/3,3/4,4/5,5/6	MPEG-4 (H.264) y HVEC(H.265)	AAC	COFDM Constelaciones hasta 256 QAM	Alta, Ultra Alta definición y TV en 3D. Más flexibilidad, hasta 256 servicios independientes con recepción portable.

Tabla 1.1. Continuación

Estándares	Canalizaciones	Razón de Datos	Codificación de Canal y Corrección de errores	Codificación de Video	Codificación de Audio	Técnica de Modulación	Fortalezas
ATSC	6MHz	hasta 19,39 Mbps	Reed- Solomon(207, 187, T=10)	MPEG-2	AC-3	Banda Lateral Vestigial (VSB) Opera en 8-VSB o 16-VSB de 8 o 16 niveles respectivamente.	Alta definición, HD en puntos fijos.
ATSC 2.0	6MHz	19.4 Mbps	Reed- Solomon(207, 187, T=10)	AVC/MPEG-4	MPEG-4 HE AAC v2	Banda Lateral Vestigial (VSB) Opera en 8-VSB o 16-VSB de 8 o 16 niveles respectivamente.	Video de alta definición y sonido multicanal.
ATSC 3.0	6 MHz, 7 MHz y 8 MHz.	26.4 Mbps	LDPC 2/15 a 13/15 CRC	HVEC(H.265)	Dolby, MPEG-D Spatial Audio Object Coding (SAOC)	OFDM 16QAM to 4096QAM y QPSK	Servicios de TV de UHD, y recepción robusta en interiores.
ISDB-T	Diseñado para 6MHz, puede utilizarse en 7MHz y 8MHz	23,23Mbps para 6MHz	Reed-Solomon y Convolutacional	MPEG-2	MPEG-2 AAC	Band Segmented Transmission (BST) OFDM. Constelaciones QPSK, DQPSK, 16-QAM o 64 QAM	Portabilidad y movilidad
ISDB-Tb	6 MHz, 7 MHz y 8 MHz	23,23Mbps para 6MHz	Reed-Solomon y Convolutacional	MPEG-4 (H.264)	MPEG-4 HE-AAC	OFDM Constelaciones QPSK, DQPSK, 16-QAM o 64 QAM	TV de baja definición (LDTV) para teléfonos móviles.
DTMB	6 MHz y 8 MHz	4.813 - 32.486Mbps	BCH+LDPC(7K) 0.4,0.6,0.8	MPEG-2 y MPEG-4	MPEG-2 y AVS	TDS (Time Domain Synchronous) OFDM para SDTV. 8 VSB para HDTV QPSK,16QAM, 64QAM	Alta definición, portabilidad y movilidad
DTMB-A	1.7, 6, 7, 8, 10MHz	5.00 - 49.31Mbps	BCH+LDPC(15K,61K) 1/2, 2/3,9/10	MPEG-2 y MPEG-4	MPEG-2 y AVS	TDS-OFDM Gray-APSK LDPC 4APSK,16APSK'6 4APSK,256APSK	UHDTV, mejor estructura de recepción móvil.

## 1.2 El estándar DTMB para Televisión Digital en Cuba.

El Estándar Chino (DMB-T, 2006) es la aplicación de la combinación de varias tecnologías e incluye derivaciones de los demás estándares, permitiendo la transmisión de varios canales por una misma frecuencia. DTMB posee un gran alcance de cobertura debido a su codificación de canal, es de 10 km más largo que con DVB-T, aunque no especifican con qué modo de configuración(DMB-T, 2006, Fei).

Los dos tipos de modulación que utiliza, mencionados anteriormente, son capaces de transmitir calidades aceptables de señal para receptores en vehículos en movimientos a velocidades de hasta 350 Km/h, por lo que se apuesta por los servicios de movilidad (Rubalcaba, 2009).

Puede trabajar en distintas redes de difusión de la señal de televisión digital terrestre, como Red Multi-Frecuencia (MFN, *Multi-Frequency Network*) y Red de una sola frecuencia (SFN, *Simple-Frequency Network*), o ambos modos mezclados. DTMB permite también la modulación de única portadora ( $C = 1$ ) y de múltiples portadoras ( $C = 3780$ ).

Adicionalmente DTMB soporta múltiples razones de FEC (*Forward Error Correction*), esquemas de modulación, encabezados de trama, sub-portadoras, dando como resultado 330 modelos de trabajo diferentes (Tapia, 1999).

Este estándar usa muchas tecnologías de avanzada que mejoran su rendimiento como secuencias PN (secuencia binaria pseudoaleatoria), intervalos de guarda que suministran una sincronización más rápida del sistema y estimación de canal más precisa. Utiliza una codificación de errores diferente al de los otros estándares internacionales de transmisión de DTT, ya que el FEC de este sistema incluye dos partes: la codificación exterior y la codificación interior. En el estándar el código exterior adoptado es *BCH* (*Bose-Chaudhuri-Hocquenghem*) y el código interior es *LDPC* (*Low Density Parity Check*). Por lo general se basan en paridad para detección y corrección de errores. Mientras que la técnica de modulación *TDS - OFDM* (*Time Domain Synchronous – Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) combina el procesamiento digital de la señal en el dominio del tiempo y de la frecuencia, y la sincronización de la estructura de trama en tiempo real, soportando transmisión multimedia y servicios personalizados y plataformas de seguridad para proteger la información de sistema.

### **1.3 Estructura General de una transmisión de DTT en Cuba**

El Instituto Cubano de Radio y Televisión (ICRT) es el que posibilita la conformación de una trama totalmente digitalizada y codificada, pues es el lugar donde se lleva a cabo la edición de los diversos programas a transmitir, allí se realiza la etapa de codificación de fuente con la aplicación de los correspondientes métodos para la reducción de bits con el

objetivo de comprimir los flujos de audio, video y datos auxiliares necesarios para representar la información que será transmitida. Para la elaboración y edición del *Playlist* se implementa una aplicación que contiene el listado de eventos que tienen asociados unos atributos que definen cómo y cuándo se reproducirán los contenidos que componen la programación de un canal.

Posteriormente en la etapa de Multiplexación se multiplexan los N flujos de transporte provenientes de cada programa (del programa 1 al programa N) y se le agregan dos tramas de transporte que contienen información sobre la cartelera de programación y un servicio de interactividad con el televidente, formando un flujo de transporte múltiple (MPTS). A este MPTS se le realiza un proceso de adaptación según la red en que se vaya a transmitir, como se muestra en la Figura 1.3

La Empresa de Telecomunicaciones de Cuba (ETECSA) es la que brinda el soporte para la transmisión de datos desde los estudios de televisión, redes contribuyentes o desde el lugar en el que se producen los eventos audio visuales, y finalmente la empresa Radio Cuba es quien propicia la radiodifusión de las señales, desde los centros emisores hacia los receptores de televisión (Darias, 2015).

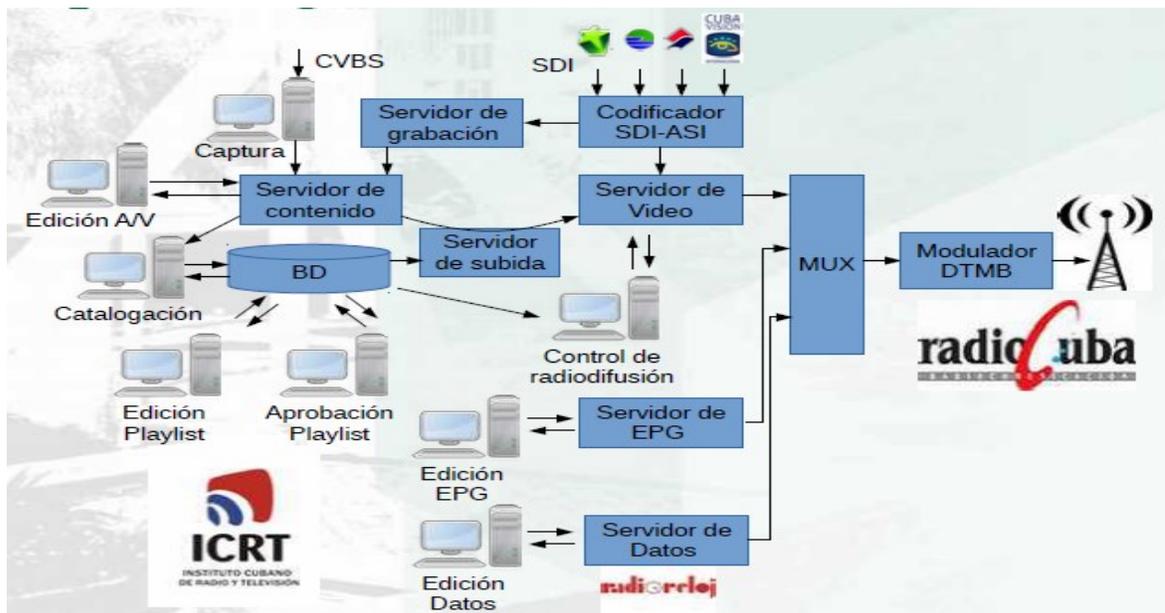


Figura 1.3. Esquema General de la Transmisión DTT en Cuba. Fuente:(Amargós, 2015)

## 1.4 Formación del TS

La codificación de audio, video y datos es una característica importante para el desarrollo de la televisión digital. Existen diferentes mecanismos de codificación (H.264, *AVS*, *MPEG2*) cuya finalidad es conseguir una mayor optimización del espectro radioeléctrico, así como también una mejor calidad en la recepción.

La codificación se encarga de gestionar por separado al video, al audio y los datos, es decir, se forman paquetes de tamaño variable que dependen de la calidad de los mismos, de tal manera que tanto el video como el audio se compriman independientemente formando cada uno de ellos un flujo de bits, este flujo de bits se conoce como *ES(Elementary Stream)*(Childers, 2008)

Luego se divide a estos flujos en paquetes *PES (Packetized Elementary Stream)* con información elemental de cabecera, y con una estructura de paquete de longitud variable. La capa PES proporciona las funciones necesarias para identificación y sincronización en los procesos de decodificación y presentación de la aplicación individual. A partir de estos paquetes se crea el flujo de transporte TS (Fischer, 2010).

### 1.4.1 Generación de los flujos de señal MPEG-2

En la Figura 1.4 se muestra de manera esquemática la secuencia de operaciones que da lugar a los flujos de programa y de transporte MPEG-2 según(Gutiérrez, 2001).Dicha secuencia de operaciones puede dividirse en dos grandes bloques, denominados *Capa de Compresión* y *Capa de Sistema*:

En la “*Capa de Compresión*” se realizan las operaciones propiamente dichas de codificación MPEG, recurriendo a los procedimientos generales de compresión de datos, y aprovechando además, para las imágenes, su redundancia espacial (áreas uniformes) y temporal (imágenes sucesivas), la correlación entre puntos cercanos y la menor sensibilidad del ojo a los detalles finos de las imágenes fijas.

En cuanto al audio, se utilizan modelos psicoacústicos del oído humano, que tienen en cuenta la curva de sensibilidad en frecuencia (máxima entre 1 y 5 kHz), los efectos de enmascaramiento frecuencial (señales simultáneas a diferentes frecuencias) y enmascaramiento temporal (un sonido de elevada amplitud enmascara sonidos más débiles

anteriores o posteriores), para reducir la cantidad de datos que hay que transmitir, sin deteriorar de forma perceptible la calidad de la señal de audio.

## FORMACIÓN DE LOS FLUJOS DE SEÑAL MPEG-2

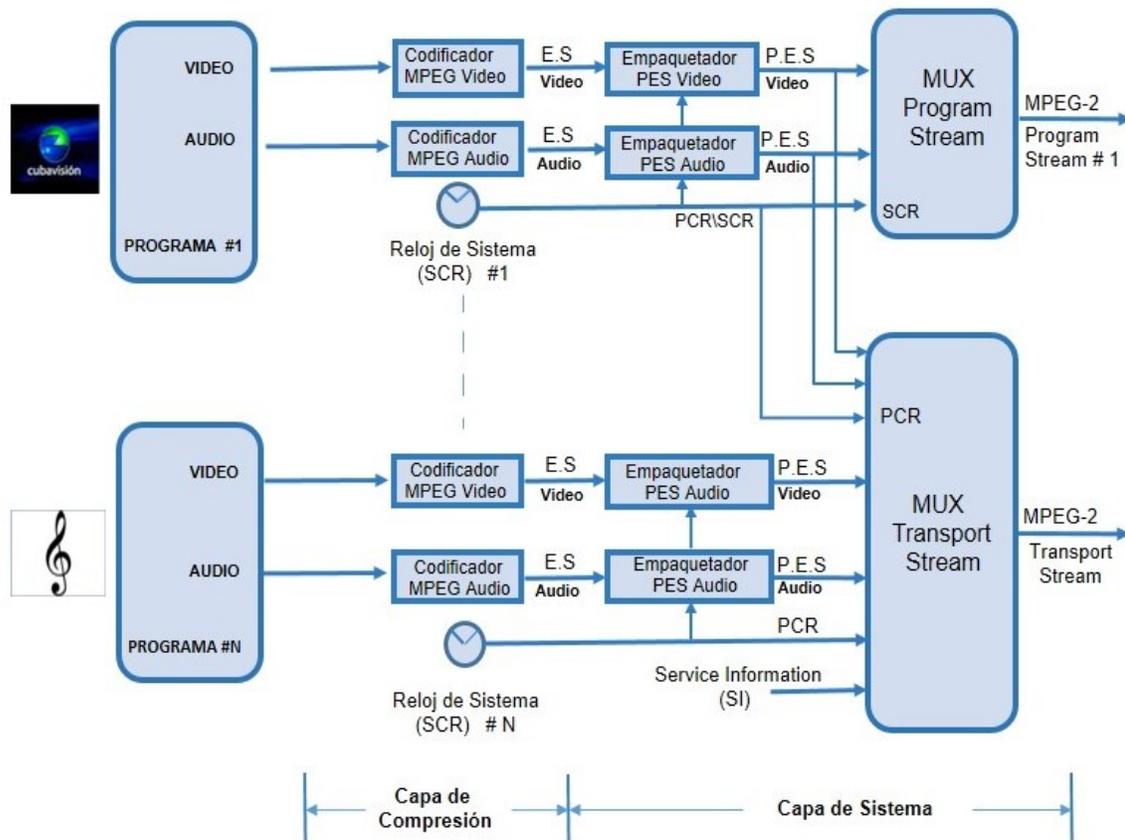


Figura 1.4. Flujos de Programa y de Transporte MPEG-2. Fuente: (Gutiérrez, 2001) modificado por el autor.

Por otra parte, en la “Capa de Sistema” se realizan las operaciones que conducen a la obtención de los flujos de señales MPEG-2, consistentes en la organización en “paquetes”, de los datos comprimidos y el posterior multiplexado de todas las señales asociadas al programa (vídeo, audio y datos).

En el caso de Flujos de Programa MPEG-2, se multiplexan todos los componentes del programa (vídeo, audio y datos) y se incorpora el reloj del sistema, pero solamente se transmite la información correspondiente a un único programa audiovisual.

Mientras que en el caso del múltiplex tipo *Transport Stream*, este está compuesto íntegramente por paquetes que tienen siempre una longitud fija de 188 bytes. Cada paquete

tiene una Cabecera (*Header*) y una Carga útil (*Payload*). En determinadas ocasiones es posible que se añada entre la cabecera y el *payload* un campo de adaptación (*Adaptation Field*) que se utiliza para rellenar el espacio sobrante sin carga útil, o simplemente para aportar información adicional sobre el contenido del paquete de transporte, como puede ser la existencia o no de PCR (*Program Clock Reference*) (Gutiérrez, 2001, Prieto, 2013).

La aplicación más importante del formato TS es la transmisión de televisión digital en los estándares DVB, ATSC, DTMB, entre otros. Una condición fundamental que se debe cumplir en el proceso de multiplexación es que cada ES tiene asignado un único PID (*Packet Identifier*).

Los TS están formados por uno o varios programas que son agrupaciones lógicas de tramas elementales. A partir de los PES *packets* de cada ES existente (audio, vídeo, datos) se obtienen los paquetes de transporte.

No existen condiciones en cuanto al orden en que los paquetes de transporte deben aparecer en el múltiplex tipo TS; tan sólo debe respetarse el orden cronológico de los paquetes de transporte pertenecientes a un mismo ES.

Es importante destacar que en el TS, además de los paquetes de transporte asociados a los flujos elementales de señal, es necesario incorporar paquetes de transporte que contienen información sobre el servicio, así como paquetes de transporte “nulos” que se emplean para absorber eventuales reservas de capacidad del múltiplex o que se insertan hasta completar la capacidad del múltiplex, en el caso de necesitar entregar una razón de bit constante.

El PID de dichos paquetes nulos es 0x1FFF y el *payload* de estos no contiene ningún tipo de datos, por lo que los receptores ignoran su contenido (Prieto, 2013).

La figura 1.5 ilustra de forma simplificada el proceso de conformación del múltiplex “MPEG-2 TS” para un solo programa (SPTS, *Simple Program Transport Stream*).

Además, en el caso de los TS MPEG-2, se añaden en el múltiplex diversas informaciones relativas al servicio como son la Tabla de Asociación de Programas (PAT, *Program Association Table*), Tabla de Acceso Condicional (CAT, *Conditional Access Table*) y la Tabla de Mapa de cada Programa (PMT, *Program Map Table*) (Gutiérrez, 2001).

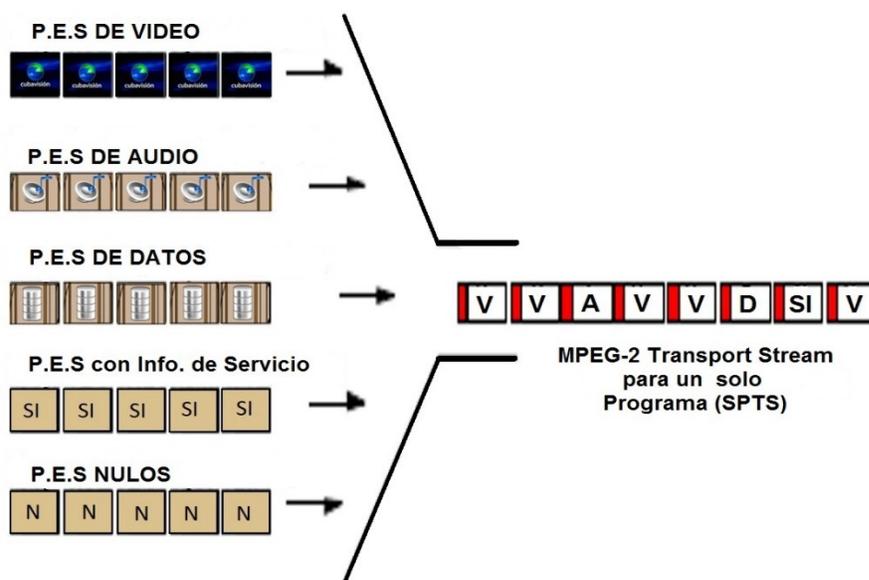


Figura 1.5 Conformación de un SPTS. Fuente:(Gutiérrez, 2001) modificada por el autor.

#### 1.4.2 Información Específica de los Programas

Según se ha visto, el Múltiplex MPEG-2 TS puede contener varios programas audiovisuales, cada uno de los cuales está compuesto por uno o varios flujos elementales PES distribuidos en paquetes de transporte. Estos paquetes a su vez están marcados con un PID que identifica a qué flujo elemental pertenecen.

Sin embargo, para que el decodificador pueda recuperar completamente un programa a través de los valores de los PID de los paquetes correspondientes, es necesario incluir información adicional dentro del flujo de transporte que relacione estos PID con los programas a que pertenecen. Tal información se denomina PSI (*Program Specific Information*)(Gutiérrez, 2001, Prieto, 2013, Vega, 2004).

En el tren de datos se introduce la información de servicio para ayudar al usuario a elegir el programa requerido entre los que estén disponibles. El servicio PSI, que se añade a cada TS, describe la composición del TS en sí y contiene información sobre los canales de video, audio y datos. Gracias al PSI el decodificador consigue llevar a cabo sus funciones, en particular, gracias a sus tablas PAT y PMT, estas permiten al decodificador efectuar correctamente la demultiplexación. Por tanto el PSI presenta múltiples funciones que permiten al decodificador manipular el tren en entrada, extraer las distintas partes y recomponerlas de

forma apropiada. En la Figura 1.6 se indican los 4 tipos de tablas que se incluyen dentro del flujo de transporte.(Genovese N. , 2006)

<b>PAT Programme Association Table</b>	Incluye la localización de todos los datos que comprende el TS y asocia cada número de programa a un número en la PMT
<b>PMT Programme Map Table</b>	Transporta al TS la información que individualizan los paquetes relativos a los programas, comprende el nombre del programa y otra información
<b>NIT Network Information Table</b>	Comprende los parámetros físicos de la red como la posición orbital, el número de transpondedor, la frecuencia, etc.
<b>CAT Conditional Access Table</b>	Comprende los datos relativos al Conditional Access.

Figura 1.6. Lista de las principales tablas PSI. Fuente: (Genovese N. , 2006)

## 1.5 Etapa de Multiplexación

La multiplexación es el conjunto de técnicas que permite la transmisión simultánea de varias señales a través de un único canal de datos. El uso óptimo del ancho de banda disponible se consigue mediante técnicas de multiplexación. El equipamiento encargado de realizar dicha tarea se conoce como multiplexor y utilizan varias técnicas básicas(Prieto, 2013).

Ascendiendo un nivel en la descripción de la organización general, los flujos elementales que comparten una misma base de tiempo se multiplexan, junto con información de control, en programas. Debe notarse que la designación de *programa* en un sistema de televisión digital es análoga a un canal o programa en televisión analógica, en el sentido de que contiene video, audio e información adicional, necesaria para formar un programa completo de televisión. Estos *programas*, junto con la información de control global del sistema se multiplexan de modo asíncrono y constituyen el sistema multiplexado(Vega, 2004).

El TS puede llevar uno o varios programas usando diferentes esquemas de compresión no correlacionados entre sí (ej. diferentes relaciones de compresión) y razón de bits variables. Además según (Rao, 2012) la multiplexación es un proceso donde los paquetes TS son generados y transmitidos de tal manera que los buffers de datos en el decodificador (de-

multiplexor) no se desborden o sub-desborden. El desbordamiento o sub-desbordamiento del buffer en los E.S de audio y video puede causar saltos o errores de *freeze /mute* en la reproducción de audio y video.

### 1.5.1 Multiplexación Estadística

La Multiplexación Estadística, o *statmux*, fue inventada a mediados de los años noventa con la aparición de los servicios de DTH (*Direct to Home*) por satélite. La tecnología *statmux* se refinó más tarde a mediados de los años '00 con el apoyo de las arquitecturas distribuidas. Posteriormente, no hubo grandes innovaciones hasta la actualidad(Pellen, 2013).

La *statmux* asigna la razón de bits apropiada necesaria para cada componente de video en un múltiplex con el fin de lograr un objetivo de calidad de video predefinida y haciendo mejor uso del ancho de banda disponible de transmisión. Por lo tanto, la razón de bits total disponible para video en el múltiplex es compartida entre los diferentes programas dependiendo de la complejidad de vídeo de cada canal virtual de televisión. A servicios con escenas simples para codificar tales como las de un locutor leyendo noticias, que tienen resolución temporal relativamente baja, se asigna menor razón de bits que a los que tienen las escenas de vídeo más complejas, como programas de deporte. El resultado es mucho más consistente en calidad de video, ya que a través de todo el múltiplex se establecen todos los codificadores para alcanzar el mismo objetivo de calidad de vídeo constante(Pellen, 2013, Prieto, 2013).

La *statmux* se basa en que los multiplexores de cabecera dialogan constantemente acerca del ancho de banda requerido para el video que están comprimiendo en un momento determinado con un procesador central. Este procesador central conoce algunas reglas básicas como la cantidad de espacio necesaria para alojar servicios de razón fija.

El resultado es que la utilización del ancho de banda de un canal en particular puede ser de 6 Mbps un segundo y 2 Mbps el siguiente dependiendo de cuanto ancho de banda necesite el canal en ese momento. De esta forma se consigue aumentar el número de canales que se pueden transmitir aunque lógicamente hay un límite superior que no puede ser rebasado.

Según estudio realizado en (Pellen, 2013) la eficiencia de la *statmux* depende del número del conjunto de codificadores ,como se muestra en la Figura 1.7. Ya sea que se use el estándar de compresión MPEG-2 o MPEG-4, o la resolución SD (*Standard Definition*) o HD (*High*

*Definition*), los beneficios de la *statmux* son similares y están directamente determinados por la naturaleza estadística de la complejidad del video. Entonces mientras más canales virtuales hay en el conjunto *statmux*, más son las posibilidades de lograr una buena mezcla estadística del contenido.

Además la ganancia de *statmux* en razón de bits de video se convierte en más canales de TV por transponder(Enterprises, 2015, Harmonic, 2002) .

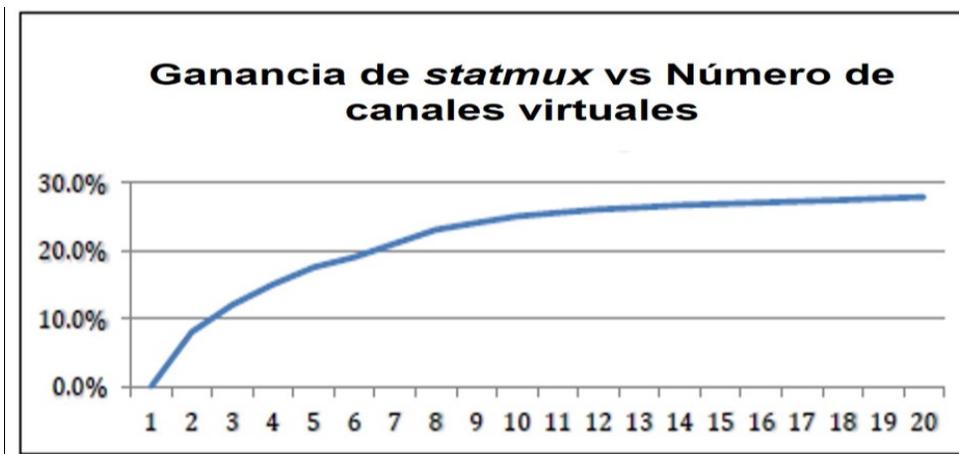


Figura 1.7. Representación de la Ganancia de *statmux* vs Número de canales virtuales. Fuente:(Harmonic, 2002)

### 1.5.1.1 Codificación de video con *statmux*

Hace algunos años, la demanda de cada vez más servicios de video a través de un ancho de banda limitado y costoso comenzó la evolución de secuencias de flujos de video con Razón de Bit Constante (CBR, *Constant Bit Rate*) a flujos de video con Razón de Bit Variable (VBR, *Variable Bit Rate*), juntos estadísticamente multiplexados.

La transmisión CBR, como se muestra en la Figura 1.8, requiere que a cada codificador se le asigne una razón de bits fija, por lo que da un ancho de banda predecible. Debido a que dicha razón de bits no varía según la complejidad del video, ciertas escenas complejas pueden tener poca calidad, mientras que las escenas menos complejas desperdiciarán bits, lo que trae consigo que la calidad de video no sea constante y además derroche de ancho de banda, ya que siempre es mucho o muy poco(Jhon Arnold, 2007, Arsinte, 2013, Antone, 2013, Cannella, 2008).



Figura 1.8. Multiplexación tipo CBR. Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, la codificación de vídeo VBR es un enfoque más sofisticado y más eficiente. La *statmux* se basa en la suposición de que si un número de flujos de vídeo se examinan en cualquier momento dado, algunos serán más fáciles de codificar (es decir, necesitan menos ancho de banda) y algunos serán más difíciles. La *statmux* funciona porque la entropía horizontal, vertical, y temporal de un grupo de videos rara vez alcanzan el máximo de forma simultánea. Dicha codificación VBR, como se muestra en la Figura 1.9 requiere que a cada codificador se le asigne una razón de bits variable, entonces la razón de bits de salida de video es asignada automáticamente de acuerdo a la complejidad de la imagen que viene llegando, lo que garantiza una calidad de video constante, permite dar prioridades a los programas según la calidad y también al ser utilizada eficientemente, en el ancho de banda extra permite insertar nuevos programas.

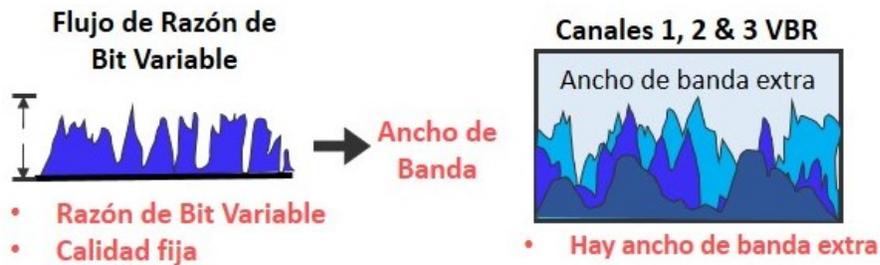


Figura 1.9. Multiplexación tipo VBR. Fuente: Elaboración propia

### 1.5.1.2 Tipos de *statmux*

El proceso de multiplexación estadística varía la razón de bits asignado a cada flujo mediante la utilización del ancho de banda que no sea necesario en el video simple y distribuirlo al video más complejo. Esto normalmente se realiza sobre una base de cuadro por cuadro.

Los métodos técnicos para lograr la multiplexación optimizada y la adaptación a la razón son diferentes. A continuación se describen los dos enfoques según (A. R. Montejó, 2015) y (Harmonic, 2002):

- La multiplexación estadística con retroalimentación (*Closed Loop*)

En un sistema con retroalimentación como se muestra en la Figura 1.10, el multiplexor puede dirigir el futuro comportamiento del codificador basado en el presente, ya que los codificadores transmiten directamente la información sobre la complejidad de cada secuencia de video al sistema de multiplexación estadística, el cual asigna bits a cada codificador según se requiera, dependiendo de la dificultad de dicho video. Tal esquema se utiliza a menudo en el *Head End*, donde todos los codificadores están en el mismo lugar. La presencia de retroalimentación permite que el ancho de banda pueda ser utilizado de manera más eficiente.

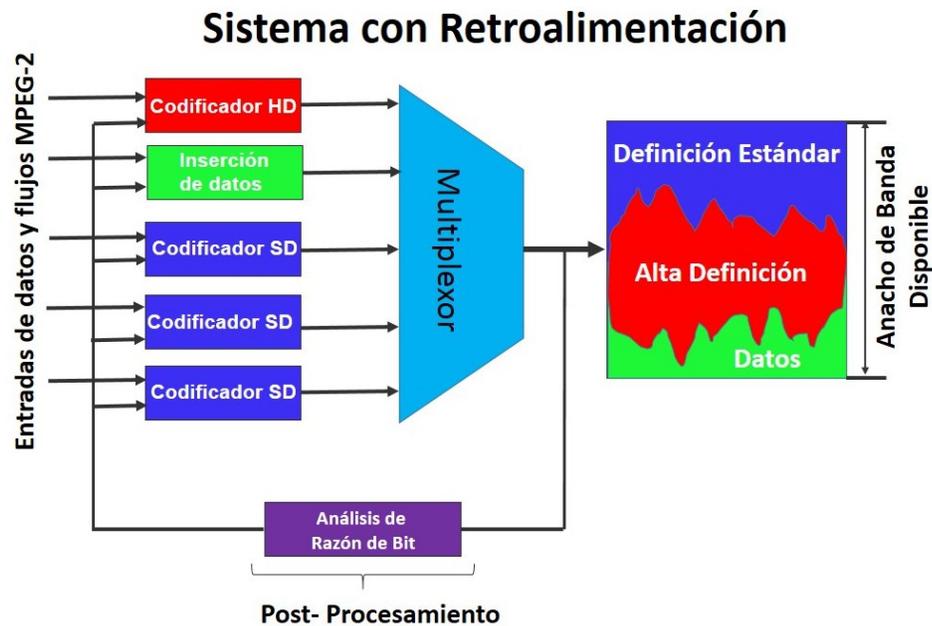


Figura 1.10. Sistema de Multiplexación Estadística con Retroalimentación. Fuente: (Xilinx, 2014), modificado por el autor.

- La multiplexación estadística sin retroalimentación (*Open Loop*)

Si el intercambio inicial de información entre el sistema de codificador y multiplexor no está presente, como se muestra en la Figura 1.11, el sistema es sin retroalimentación. Esta variante se denomina a veces remodelación de *statmux*. Se basa esencialmente en la distribución

inherente de la complejidad dentro de múltiples señales de vídeo. Esto es ineficiente, ya que puede haber grandes diferencias entre los valores máximos y mínimos instantáneos incluso con múltiples señales.

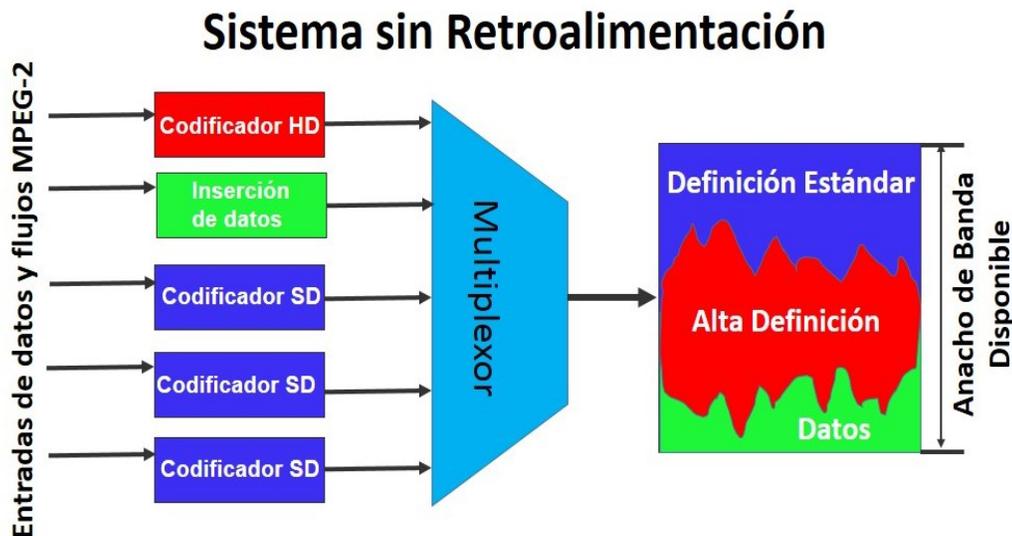


Figura 1.13. Sistema de Multiplexación Estadística sin Retroalimentación. Fuente: (Xilinx, 2014) modificado por el autor.

Según (Arsinte, 2013) los tele y radio difusores, los operadores de la red que dirigen la difusión satelital y otros proveedores de servicios de video digital están tratando de aumentar el número de servicios transmitidos en un canal de ancho de banda fijo, mientras se mantenga una alta calidad de video. Hoy, con este propósito, se está usado el sistema de *statmux* con una retroalimentación entre el multiplexor y los codificadores, pero sin embargo según (Harmonic, 2002) aunque la *statmux* con retroalimentación (*Closed Loop*) es más eficiente que la *statmux* sin retroalimentación (*Open Loop*), esta solución sigue siendo imprecisa debido a que el multiplexor sólo puede reaccionar después de que el video se comprime. Por lo tanto, su reacción será siempre fuera de sintonía con las necesidades reales.

### 1.5.1.3 Modos de funcionamiento de la *statmux*

Según (Networks) dos modos de funcionamiento están disponibles para el proceso de *statmux*, así como una combinación de ambos. Dichos modos son los siguientes:

- Dando calidad con diferentes prioridades: Una calidad deseada para cada canal puede ser especificada para asegurar la calidad de imagen de los programas de razón de bits alta. La razón de bits de cada canal se modifica dinámicamente para mantener la

calidad especificada. La razón de los recursos se distribuyen entre los codificadores de acuerdo con sus prioridades. Si la calidad requerida no se puede lograr en todos los canales en la razón de salida total dada, la calidad de cada codificador se reduce de acuerdo con la prioridad asociada del codificador.

- Dando prioridades: La asignación de la razón de bits se logra basado en las prioridades predefinidas del programa.

El empleo de estos modos de funcionamiento puede ser muy útil cuando se tiene una razón de bits reducida en comparación con la que se necesitaría para que la calidad de imagen de todos los canales sea uniforme sin importar la diferencia de complejidad de las escenas.

#### **1.5.1.4 Ventajas de utilizar la *statmux***

Según (Alexandru Florin Antone, 2012, Enterprises, 2015, Manfred Kühn, 2000, Reininger, 1993, Xilinx, 2014, Alexandru Florin Antone, 2013, John Hartung, 2008, Schertz, 1999) la ganancia obtenida mediante el uso de multiplexación estadística en la televisión de video digital puede ser utilizada para mejorar la calidad de vídeo de los servicios disponibles, manteniendo su número constante, lo que garantiza una mejor QoE visual; o de lo contrario se pueden transmitir más servicios de video de la misma calidad en el mismo ancho de banda de transmisión de la red disponible.

La *statmux* proporciona eficacia significativa en términos de funcionamiento y uso de los recursos de transporte, así como una reducción significativa de los costos. Ofrece los siguientes beneficios:

- Cualquier servicio puede ser incluido en cualquier paquete, ya que proporciona flexibilidad y escalabilidad;
- Simplificación de la agregación de contenidos mediante la eliminación de las limitaciones de distancia;
- Una etapa de *statmux* conduce a un uso más eficiente de los recursos de transporte, optimiza el esquema de agregación de contenidos y hace posible equilibrar la carga del sistema primario y secundario (de respaldo).

Además según (Enterprises, 2015) una ventaja clave de utilizar la *statmux* es que es más eficiente que CBR, ésta influencia el hecho de que el índice de compresión de los programas

tienda a no estar correlacionado para una extensión mayor. Cuando un programa podría requerir una razón de bits mayor que el común para mantener la calidad del video, es probable que otro programa simultáneamente necesite una razón de bits menor que el promedio para mantener el mismo nivel de calidad del video, entonces asigna más ancho de banda al programa que más lo necesita y menos para el programa que menos lo necesita.

### **1.6 Conclusiones del capítulo**

Como resultado de la revisión bibliográfica realizada en el presente capítulo, se concluye que la utilización e implementación de los sistemas DTT es muy provechosa por sus ventajas y prestaciones. En los artículos consultados se evidencia cómo en función de la complejidad de video a transmitir, las técnicas de codificación de fuente combinadas con la *statmux* logran una disminución de la razón de bits y una buena calidad de video. Además, se realiza un análisis detallado de los sistemas de *statmux* más utilizados en la actualidad en los sistemas DTT que sirve como punto de partida para el posterior análisis de la eficiencia de la *statmux* empleada actualmente en Cuba.

## **CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS.**

En el presente capítulo se describen los servicios DTT en Cuba en la etapa de simultaneidad. Posteriormente se puntualizan los equipos que se utilizan para realizar mediciones que permitan hacer un análisis de la eficiencia del sistema DTT nacional sobre la base de la cantidad de paquetes nulos transmitidos en el TS y se muestran algunas de dichas mediciones. Además se incluye un método que demuestra la influencia positiva que tiene el incremento de la cantidad de programas en el conjunto *statmux*.

### **2.1 Descripción de los servicios DTT en Cuba en la etapa de simultaneidad.**

En Cuba, la DTT se transmite por diferentes frecuencias de radio en función del plan de asignación de frecuencias de la red MFN nacional. Se utiliza una frecuencia para el canal de la SDTV que multiplexa varios canales virtuales SD y otra para el HDTV. En Santa Clara, por ejemplo, se transmiten los canales virtuales de la SDTV por el canal 13 a la frecuencia de 213 MHz, mientras que la HDTV se transmite por el canal 32 a la frecuencia de 581 MHz. De acuerdo a la arquitectura de regionalización distribuida diseñada se transmite la misma programación en todo el país.

El canal de la SDTV consta de 9 servicios de Radio (entre los que se encuentran Radio Rebelde, Radio Progreso, Radio Taíno, Radio Enciclopedia, CMBF, Radio Reloj, RHC, Habana Radio, Rebelde AM); conjuntamente posee 8 programas de televisión con su respectivo logotipo como se muestra en la Figura 2.1. Como que cada canal virtual no se encuentra ligado permanente a algún tipo de programación en específico la complejidad temporal de los servicios varía dinámicamente. Por otra parte el canal de la HDTV contiene 1 solo programa, que de lunes a viernes brinda la misma programación que Multivisión y el fin de semana tiene una programación especial variada.



Figura 2.1. Programas de Televisión del Canal SD. Fuente: Elaboración propia

Como se analizó en el Capítulo 1, el proceso de *statmux* proporciona un mecanismo que mantiene una razón de bits constante (necesario para el modulador de canal) en la salida del multiplexor, mientras que logra una calidad de imagen casi constante de cada codificador cuando cada uno opera en el modo VBR. La razón de bits de cada codificador se asigna dinámicamente de forma que se provean los recursos necesarios a escenas que son difíciles de comprimir (gran cantidad de detalles y de alto movimiento) y menos recursos para programas que son más fáciles de comprimir (baja dinámica, escenas estáticas o escenas sin altas frecuencias espaciales).

El algoritmo de *statmux* utiliza un mecanismo por cuadro con el fin de controlar y optimizar el proceso de asignación de razón de bits (Networks). Con el apoyo de una interfaz gráfica fácil de usar para el monitoreo y control, este proceso permite la utilización eficiente del ancho de banda y brinda una mejor QoE percibida por los usuarios, lo que constituye un requisito fundamental para el exitoso despliegue de la DTT, ya que si no la aceptación por parte del público a esta nueva tecnología pudiera verse comprometida (Diego Durán, 2014).

En el epígrafe 1.5 se realizó un análisis exhaustivo de las características, modos de operación y un cúmulo de ventajas en relación con la *statmux* en ambientes de multiplexación de flujos de video de señales digitales. Por otra parte, está la aseveración expuesta en (Harmonic, 2002), donde se expone que cualquier codificación y solución de *statmux* que genere más de un 1% de paquetes nulos se considera como no eficiente, pues la cantidad de paquetes nulos generados es inversamente proporcional a la eficiencia de codificación del sistema y por tanto a la calidad de video. Tomando como punto de partida las dos ideas anteriores se podría pensar en hacer un análisis para computar la cuantía del total de paquetes nulos generados y transmitidos en el proceso de conformación de los TS empleados actualmente en Cuba. Con tal fin, se torna apropiado el uso para dicho trabajo con el equipo BTA-P200, el cual es un

Analizador de TS y también del S7000, que es un Analizador de TV. Dicho equipamiento forma parte de los equipos donados por China en el comienzo de la etapa de transición a la DTT.

## 2.2 Analizador de flujos de transporte BTA-P200

### 2.1.1 Características del BTA-P200

Para el análisis de TS de DVB/MPEG-2 se han de utilizar *software* o instrumentos profesionales. La misión del BTA-P200 (Figura 2.2) es detectar errores en tiempo real y analizar las características de los TS desde cada sector de SDTV y HDTV. Es un instrumento ideal para el análisis, para fabricantes de equipos y desarrolladores de *software*, y puede registrar todo tipo de flujos de transporte del estándar MPEG-2 (ISO/IECC, 2000).

BTA-P200 utiliza tecnología Bluetop, es un mini portable analizador de TS que se conecta a una PC por vía USB, el cual soporta Entradas\Salidas ASI (*Asynchronous Serial Interface*), también opciones de entrada de demodulación DVB. La entrada de señal soporta el estándar MPEG-TS como señal de prueba.



Figura 2.2. BTA-P200 Analizador de TS. Fuente: (Bluetop Technology, 2014)

### 2.1.2 Funcionalidades del BTA-P200

Según (Bluetop Technology, 2014) entre las funcionalidades que presenta el equipo se encuentran:

- Análisis del flujo de entrada tiempo real.
- Análisis de flujo de transporte DVB\MPEG-2:
  - ✓ Resumen de Información del TS.

- ✓ Conformación de chequeo contra el estándar DVB usando prioridad 1, 2 y 3 en las mediciones definidas en TR 101 290; Estimación de errores.
  - ✓ Interpretación de la Información de Programa, PES, Información de Audio\Video.
  - ✓ Muestra la ocupación de ancho de banda de cada PID y programa.
  - ✓ Devuelve los descriptores de las Tablas PSI\SI.
  - ✓ Análisis PCR.
  - ✓ Análisis de sintaxis de Sección, PID y PES.
  - ✓ Captura de encabezado de grupos de TS, Sección y PES.
  - ✓ Análisis de Buffer.
  - ✓ Muestra y busca información de la EPG.
  - ✓ Análisis de la transmisión de datos.
  - ✓ Soporta análisis tanto en tiempo real como fuera de línea.
  - ✓ Soporta guardar los resultados de las pruebas, grabarlos, recuperarlos, revisarlos e imprimirlos.
- Funciones de monitoreo: Alarma de voz, activa registro de TS.
  - Decodificador Integrado: soporta dos decodificaciones SD simultáneamente, soporta decodificación HD y formatos MPEG-2, H.264, MPEG-4, AC3, AAC, AVS.
  - Grabador y reproductor de TS integrado, hasta una razón de bits máxima de 120 Mbps;
  - Soporta Entrada\Salida RF y ASI;
  - Funciones de demodulación y medición de canales;
  - Interfaz RF de entrada: DTMB;

### 2.1.3 Módulos funcionales del BTA-P200

Existen 14 módulos funcionales dentro del TS Analyzer. Dichos módulos permiten el análisis del TS (ASI y RF) e implementa las funcionalidades descritas en el Epígrafe 2.1.2. A continuación se detalla una pequeña descripción de cada uno de las interfaces de comunicación de los módulos.



Muestra parámetros detallados del TS como son las razones de bits, la longitud del paquete, ancho de banda A/V, Estructura del Multiplex (encriptación, PCR\_PID), lista de todos los programas, monitoreo 290, PIDs e información de red.



Muestra mediciones de prioridad 1, 2 y 3 definidas en TR 101 290 y estimación de errores.



Muestra información del proveedor y los tipos de programa, estructura del múltiplex e información de audio y video.



Tabla o gráfica de pastel que muestra todos los PID de anchos de banda, porcentaje y estadísticas.



Esquema que muestra las tablas PSI\SI de DVB, descriptores, intervalo de sección.



Curva o histograma que muestra el intervalo PCR y la precisión PCR.



Representación hexadecimal del paquete TS con código de colores para diferenciar el encabezado del campo de adaptación y la información de carga útil.



Muestra gráficos de la capacidad de los buffer sobre el tiempo.



Muestra parámetros de mediciones RF.



Muestra la información EPG de cada programa.



Transmisor de TS.



Muestra información de servicio del flujo de transmisión de datos.



Muestra los resultados desde cualquier módulo.

En función de los objetivos trazados en esta investigación, el trabajo estará enfocado a interactuar en mayor grado con el módulo *Band*, ya que aporta la información específica que se necesita para el análisis de la cantidad de paquetes nulos expresada en porcentaje. En la Figura 2.3 se muestra una captura del *software* con el trabajo de dicho módulo.

BlueTop TS Analyzer

Analyse(A) Setting(S) Record(R) Transmitting(T) Log(F) Print(P) Skins(K) Help(H)

Valor en %

PID	Packet Qu...	Percent	Rate(Mbps)	Max Rate(Mbps)	Min Rate(Mbps)	PID Type	Encryption
0x0(0)	4997	0.08%	0.014929	0.016422	0.014929	PAT	Unencrypted
0x1(1)	4997	0.08%	0.014929	0.016422	0.013436	CAT	Unencrypted
0x10(16)	0	0.00%	0.000000	0.000000	0.000000	NIT	Unencrypted
0x11(17)	459	0.01%	0.001492	0.002985	0.000000	SDT_BAT	Unencrypted
0x12(18)	459	0.01%	0.001492	0.002985	0.000000	EIT	Unencrypted
0x14(20)	0	0.00%	0.000000	0.000000	0.000000	TDT/TOT	Unencrypted
0x100(256)	2517600	45.08%	8.238049	8.239542	8.233570	H.264 Video(PCR included) (Service...	Unencrypted
0x101(257)	4997	0.08%	0.014929	0.016422	0.014929	PMT (Service0xc9 Prueba HD)	Unencrypted
0x102(258)	80451	1.45%	0.264250	0.265743	0.261264	11172 Audio (Service0xc9 Prueba HD)	Unencrypted
0x212(530)	1	0.00%	0.000000	0.001492	0.000000	Unknown	Unencrypted
0x2e4(748)	1	0.00%	0.000000	0.001492	0.000000	Unknown	Unencrypted
0x1fff(8191)	2972758	53.21%	9.723525	9.729497	9.720540	NULL_Packet	Unencrypted

Paquetes Nulos

Figura 2.3. Captura del *Software* en el módulo *Band*. Fuente: Elaboración propia.

## 2.3 Analizador de televisión S7000

### 2.3.1 Características del S7000

El S7000 (véase Figura 2.4) es un analizador de televisión que permite al usuario ver y/o ajustar la configuración de la medición de acuerdo al tipo de transmisión (TV Analógica, DVB-C/T/T2/S/S2, DTMB, y FM Analógica), grabación de vídeo, análisis de TS y análisis del espectro, tanto de señales por cable como terrestres y satelitales.



Figura 2.4. Analizador de televisión S7000. Fuente: (Deviser, 2013).

La función de los íconos del menú principal , según (Deviser, 2013), es definida y detallada a continuación:



Medición de canales.



Representación y medición del diagrama de la Constelación.



Análisis del espectro.



Medición de la inclinación.



Medición de todos los parámetros relacionados con la búsqueda de los canales.

Entre los módulos de trabajo del S7000 están:

- Pruebas a señales terrestres, cable y satelitales.
- Monitoreo y análisis del TS.
- Análisis de IPTV.
- Manejo de Archivos (imágenes y datos).

A pesar de las potencialidades de estos módulos, para la presente investigación solo será objeto de estudio el módulo de Monitoreo y análisis del TS.

### 2.3.2 Monitoreo y Análisis del TS

El módulo de analizador de TS soporta los estándares DVB, ATSC y DTMB. Incluye también el análisis de TS tanto en tiempo real como fuera de línea (*Off line*) y datos IPTV.

Las sub-funciones son las siguientes:

- Decodificador en tiempo real: Decodifica los programas de acuerdo a si la fuente de entrada es RF, ASI o IPTV. La información del programa se muestra en una lista, incluyendo el número del programa, acceso condicional, nombre del servicio, proveedor, tipo de servicio, tipo del flujo de video y resolución de video.
- Edición de canal: Permite editar el canal que se quiere visualizar, para ello es necesario especificar el nombre del canal, la frecuencia y el ancho de banda.
- Grabador de TS: Se introduce un nombre al archivo que se quiere grabar, además es necesario tener conectado un dispositivo USB, el archivo se graba en formato \*.ts.
- Reproductor: La lista de los archivos a reproducir no puede exceder los 200 archivos (el tamaño del archivo tiene que ser menor de 3GB) con formato \*.ts o \*.trp. Muestra el nombre y tamaño del archivo, número del programa, acceso condicional, nombre

del servicio, proveedor, tipo de servicio, tipo de video, resolución, PID de video, razón de bits de video, PID de audio y razón de bits de audio.

- Información Básica: Muestra la información básica del TS mediante un conjunto de parámetros los cuales se listan a continuación:
  - *TS Rate*: Describe la razón del flujo de transporte en segundos (Mb/s).
  - *TS Structure*: Describe los componentes del TS y la razón de cada componente.
  - *Lenght*: Muestra la longitud del TS en *bytes*.
  - *Prog Count*: Muestra el total de programas o servicios multiplexados.
  - *TS ID*: Identificador del TS.
  - *PID Count*: Computa la suma de los PID del flujo.
  - *NET ID*: Identifica el PID de la NIT indicado por la PAT, si no está indicado, se muestra '---'.
  - *NET Name*: Ilustra el nombre del proveedor o la red de radiodifusión, se muestra '---' si no está presente en el TS.
- TR101 290 / *Event Info*: Muestra tres tablas. La primera tabla lista un conjunto de parámetros los cuales se consideran necesarios para estar seguros de que el TS puede ser decodificado. La segunda tabla lista parámetros adicionales que son recomendados para continuar el monitoreo. La tercera tabla lista parámetros adicionales opcionales que pueden ser de interés para ciertas aplicaciones.
- *PID Viewer*: Describe la información a través del despliegue de varias columnas que devuelven información de la Sección, Información simplificada, Valor de la ocupación del TS, el PID de cada elemento de la sección y el CR de cada PID del TS. El Valor de la ocupación del TS y el CR son representados cada 1 segundo.
  1. Section: Tipo de PID.
  2. PID: El valor del PID.
  3. CR: La razón de bits del PID.
- *Program Information*: Analiza la información desde el ES de audio y video. Soporta formatos de video MPEG-1/2/4, H.264 y formato de audio AAC. Más de dos informaciones de audio pueden ser mostradas.

- PCR: Se visualiza la exactitud del PCR y el intervalo PCR de los programas seleccionados. Muestra información detallada del PCR, incluyendo el PID del PCR, exactitud mínima y máxima, e intervalo mínimo y máximo. Si el PCR no existe, se muestra '---'.
- *Program List*: Lista la información de programas en el orden ascendente de la frecuencia de la red de transporte actual. Si es el sistema terrestre, pone en una lista la cantidad de programa, la frecuencia, el acceso condicional, nombre del servicio, proveedor, tipo de servicio, el tipo / FFT / Guarda de modulación.
- PSI/SI: Muestra la información PSI/SI del TS. A la izquierda se observa una lista de tablas como son la PAT, PMT, CAT y a la derecha la lista de información detallada de la tabla seleccionada.
- *Data Capture*: Se capturan los datos de acuerdo al PID seleccionado y se muestran dichos datos a la derecha.
- *Parameters Setting*: Para establecer los parámetros de alarma.

Pero en este caso se ahonda particularmente en la subfunción *PID VIEW*, ya que aporta la información específica que se necesita en este caso (la cantidad de paquetes nulos representada en %). En la Figura 2.5 se muestra una captura del *software* en dicho módulo.

Valor en %



Section	Simplified Info	Value (%)	PID	CR (Mbps)
PMT-0x000D		0.082	0x100D	0.015
PMT-0x000E		0.082	0x100E	0.015
PMT-0x000F		0.083	0x100F	0.015
PMT-0x0010		0.082	0x1010	0.015
PMT-0x0011		0.082	0x1011	0.015
PMT-0x0012		0.083	0x1012	0.015
CAT		0.082	0x0001	0.015
CA SYSTEM	CA Info	0.000	---	0.000
	Fill	4.469	0x1FFF	0.817
Prog-0x0001		8.510	---	1.555
	PCR	7.763	0x0101	1.419
	H.264	7.763	0x0101	1.419
	MPEG1 Audio	0.724	0x0201	0.132
	Private Data	0.023	0x0021	0.004
Prog-0x0002		14.267	---	2.607

Paquetes Nulos

Figura 2.5. Captura del *Software* en el módulo PID VIEW. Fuente :Elaboración propia

## 2.4 Mediciones realizadas

Primeramente se parte del análisis de la configuración de los programas que se transmiten en la SDTV, para ello se empleó el equipo BTA-P200, cuyas características se especificaron en el Epígrafe 2.2. Dicho análisis ratificó que están disponibles 8 programas de Televisión y 9 programas de Radio.

Los Programas de Televisión se transmiten bajo la norma NTSC con una resolución de 720x480, y codificados en H.264, perfil de codificación MP@ML3 con razón de bits variable, excepto el programa Educativo 1 el cual es constante, en estos programas el valor PCR está tomado del TS de video, mientras que el audio asociado esta codificado en MPEG1 capa 2 a razón de bits constante y en modalidad estéreo para el programa Clave y Cubavisión Internacional, modalidad *join* estéreo para Multivisión y los demás en modalidad mono, todos a la frecuencia de muestreo de 48kHz. Cubavisión es el único que posee un componente de subtítulos como datos privados.

Los programas de Radio están codificados en MPEG1 capa 2 a razón de bits constante y modalidad estéreo, excepto Rebelde AM el cual se transmite en modalidad mono todos a una razón de bit de 128kbps, el valor PCR es tomado del TS de audio.

Por otra parte el canal de la HDTV tiene un único programa disponible con una resolución de 1920x1080, codificación de video H.264 y codificación de audio en MPEG1 capa 2

Como resultado de este análisis se observa que se emplea *statmux* en la mayoría de los servicios de televisión, ya que las razones binarias varían para todos los programas excepto para el programa Canal Educativo, mientras que los servicios de radio están codificados a razón de bit constante. No obstante, con respecto a la cantidad de paquetes nulos que se transmiten es necesario verificar que tan eficiente es dicha *statmux*.

Con el fin de determinar el número del total de paquetes nulos generados y transmitidos en el proceso de conformación de los TS, se realizaron mediciones durante 5 días en diferentes instantes de tiempo, para comprobar que tan eficiente resulta el uso de la *statmux* empleada en Cuba actualmente. Se eligieron horarios en los que los programas a transmitir tuvieran diferente complejidad en las escenas a codificar. Para realizar dichas mediciones se utilizaron indistintamente los equipos mencionados anteriormente en los Epígrafes 2.1 y 2.2 respectivamente.

### 2.4.1 Mediciones realizadas al canal SDTV radiodifundido nacionalmente

La Figura 2.6 que a continuación se muestra, constituye una representación típica de un TS y se observa la información básica del TS. Se nota que la razón máxima del TS es de 18.2741Mbps y la mínima es de 18.2736Mbps. Por otra parte el ancho de banda disponible del TS está dividido en este caso en un 74.41% para video, un 13.50% para el audio, un 3.65% para la información PSI/SI, un 5.13% con paquetes nulos y un 3.29% para otros datos.

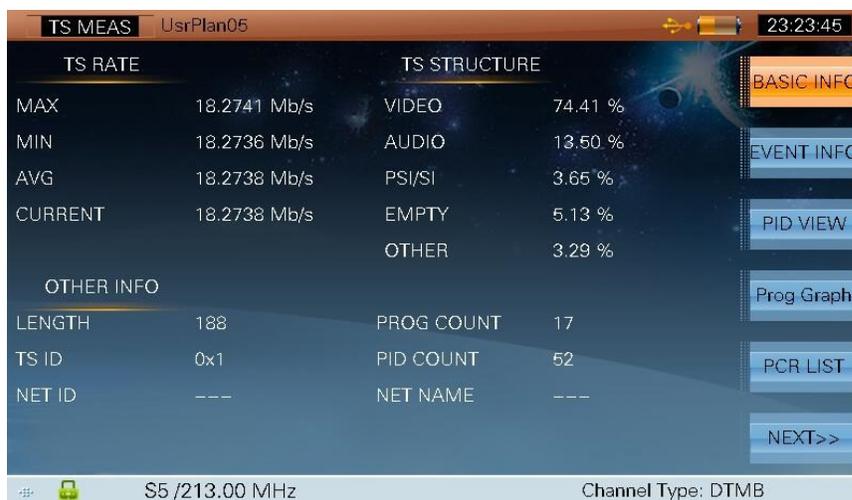


Figura 2.6. Información básica del TS en medición al Canal 13. Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, en la Figura 2.7 se muestra, encerrado en un recuadro rojo, un ejemplo de la cantidad de paquetes nulos en un instante de tiempo determinado para una de las mediciones arbitrarias realizadas.

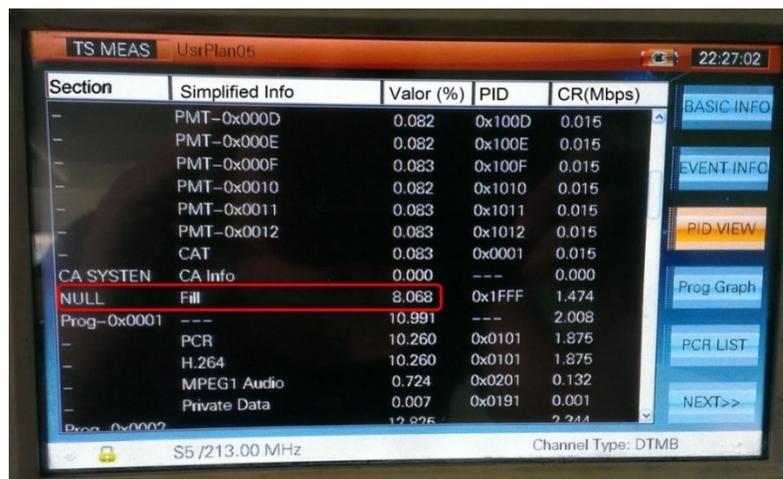


Figura 2.7 Cantidad de paquetes nulos expresada en % en medición realizada al canal 13. Fuente: Elaboración propia

Como otro de los intereses es conocer la Información Específica de Programas (PSI) dentro del TS, se hace uso de la sub-función PSI/SI, la cual fue especificada en el Epígrafe 2.2. En las Figuras 2.8 y 2.9 se muestra un ejemplo de las tablas PAT y PMT respectivamente, las cuales fueron puntualizadas en el Epígrafe 1.4.3.

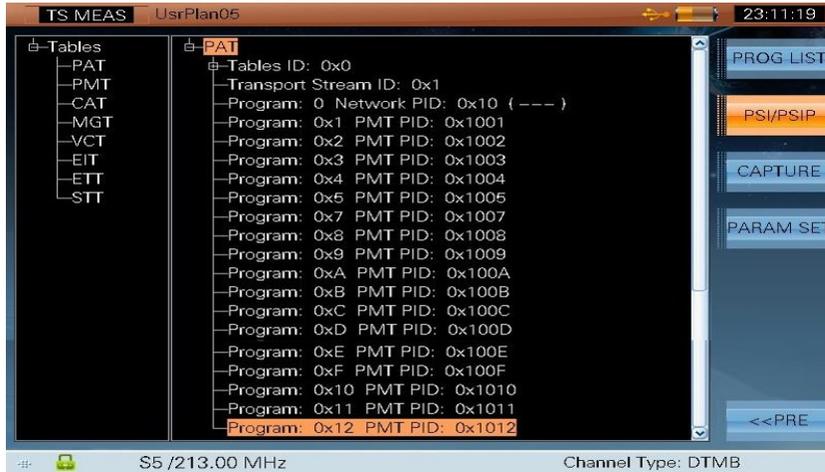
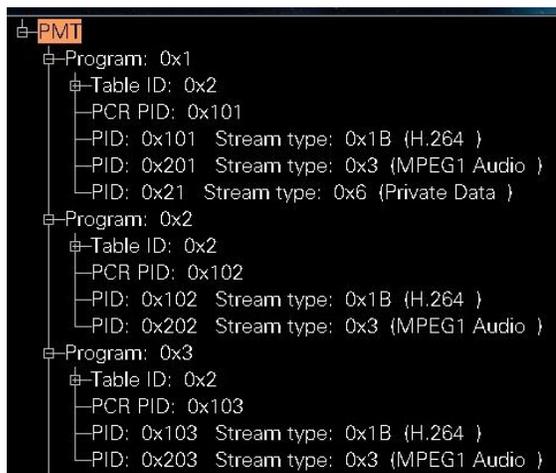
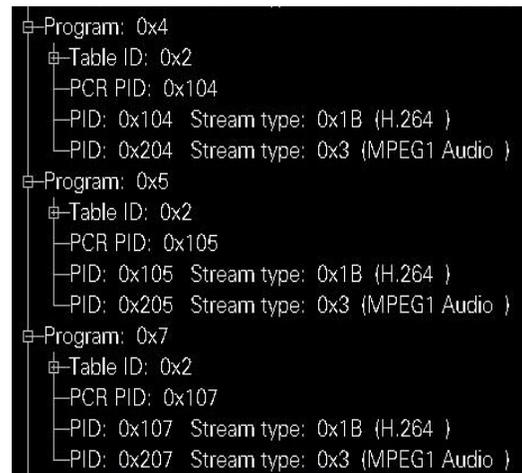


Figura 2.8. Tabla PAT del canal 13.

La tabla PAT de la figura anterior proporciona la información de los programas existentes en el múltiplex digital, que en este caso son 17 en total, entre los servicios de radio y los de video. Además muestra la localización de las tablas PMT asociadas a cada uno de los programas. Esta tabla es de vital importancia, pues si por algún motivo, el receptor no es capaz de recibirla e interpretarla, no será posible recuperar el resto de información correspondiente a los programas presentes en el múltiplex digital.



a)



b)

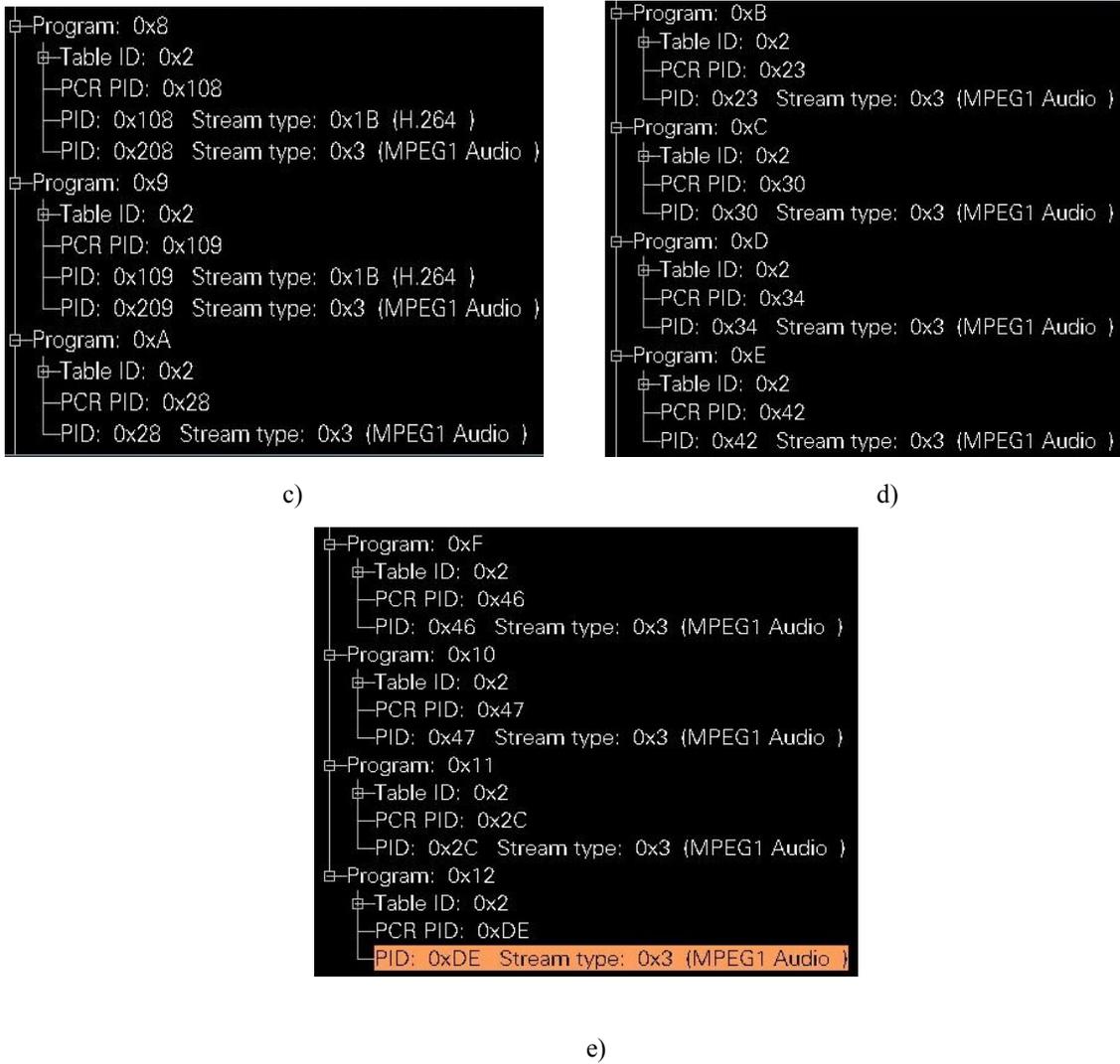


Figura 2.9. Tabla PMT

Por otra parte la tabla PMT mostrada anteriormente proporciona información de la composición cada uno de los programas. Es decir, de los ES que componen cada programa o servicio. Por ejemplo, en el caso del programa 1, que es Cubavisión, Figura 2.9 a), este tiene un PID para el PCR, PID para el video, PID para el audio, y un PID para datos privados de ese programa. Con los demás programas, sucede lo mismo, se especifica el PID del PCR, del audio y del video, mientras que los servicios de radio solo tienen PID para PCR y para el audio. Esta tabla permite a los receptores/decodificadores identificar los ES que han de decodificar y presentar en pantalla.

Es decir, si un programa está compuesto por un vídeo, un audio en inglés, un audio en español, teletexto, y subtítulos, vendrá especificado en la PMT, por lo que cuando el usuario decida escuchar el audio en inglés, el receptor/descodificador examinará su PMT para localizar los paquetes que componen dicho audio en inglés.

#### 2.4.2 Mediciones realizadas al canal HDTV radiodifundido nacionalmente

Con el *software* TS Analyzer se puede corroborar que en ese TS que se irradia a una razón de 18.274 Mbps se está transmitiendo un solo programa, como se observa en la Figura 2.10, en una de las mediciones realizadas, sólo se emplean alrededor de 8.514Mbps en la información del programa, y alrededor de 9.727 Mbps se envían con paquetes nulos.



Figura 2.10. Fragmento de una captura del *software* en el módulo *Summary* en medición al canal 32. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 2.11 a continuación se muestra un fragmento de una captura al *software*, en el módulo “*Band*”, donde se observa la cantidad de paquetes nulos expresada en % en un instante de tiempo, en este caso de 53.21%.

PID	Packet Qu..	Percent	Rate(Mbps)	Max Rate(Mbps)	Min Rate(Mbps)	PID Type	Encryption
0x0(0)	4597	0.08%	0.014929	0.016422	0.014929	PAT	Unencrypted
0x1(1)	4597	0.08%	0.014929	0.016422	0.013436	CAT	Unencrypted
0x10(16)	0	0.00%	0.000000	0.000000	0.000000	NIT	Unencrypted
0x11(17)	459	0.01%	0.001492	0.002985	0.000000	SDT/BAT	Unencrypted
0x12(18)	459	0.01%	0.001492	0.002985	0.000000	EIT	Unencrypted
0x14(20)	0	0.00%	0.000000	0.000000	0.000000	TDT/TOT	Unencrypted
0x100(256)	2517600	45.08%	8.238049	8.239542	8.233570	H.264 Video(PCR included) (Service0...	Unencrypted
0x101(257)	4597	0.08%	0.014929	0.016422	0.014929	PMT (Service0xc9 Prueba HD)	Unencrypted
0x102(258)	80451	1.45%	0.264250	0.265743	0.261264	11172 Audio (Service0xc9 Prueba HD)	Unencrypted
0x212(530)	1	0.00%	0.000000	0.001492	0.000000	Unknown	Unencrypted
0x2ed(749)	1	0.00%	0.000000	0.001492	0.000000	Unknown	Unencrypted
0x1fff(8191)	2972758	53.21%	9.723525	9.729497	9.720540	NULL_Packet	Unencrypted

Figura 2.11. Cantidad de paquetes nulos expresada en % en medición al canal 32. Fuente: Elaboración propia

## 2.5 Método “Factor CBR-a-VBR”

Partiendo de las peculiaridades de la codificación que se emplea en los servicios de video, expuestas en el Epígrafe 2.4 y tomando en cuenta las consideraciones de (Enterprises, 2015) y su término “Factor CBR -a-VBR” en aplicaciones de *statmux*, se puede hacer el siguiente análisis: De alguna manera, la conformación de los MPTS mediante *statmux* se pudiese considerar como una analogía de los SPTS codificados CBR como se muestra a continuación en la Figura 2.12. La suma de las razones de bit necesarias por cada programa que formará parte del *statmux* será equivalente a la distribución de la razón de bits para la estructura de un SPTS, orientado a lograr ahora una calidad de video constante. Además, el conjunto *statmux* se puede considerar para obtener un Factor de Peso análogo al Factor de Peso de Control de la Tasa analizado para CBR en (Enterprises, 2015), de esta forma la *statmux* asigna un ancho de banda individual a los programas en el tiempo para compartir un ancho de banda total constante.

El enfoque de (Enterprises, 2015) pudiese tomarse en consideración para el entorno nacional donde no existe ningún canal virtual o servicio de programación con un tipo de programación específica (Deportes, noticiario, películas, programación infantil, etc.). Estadísticamente, las necesidades totales acumuladas de los programas en el conjunto *statmux* varían con el tiempo

como se ilustra en la Figura 2.12. Consecuentemente, la función de peso total del *statmux* varía en el tiempo y la variabilidad depende del número total de programas.

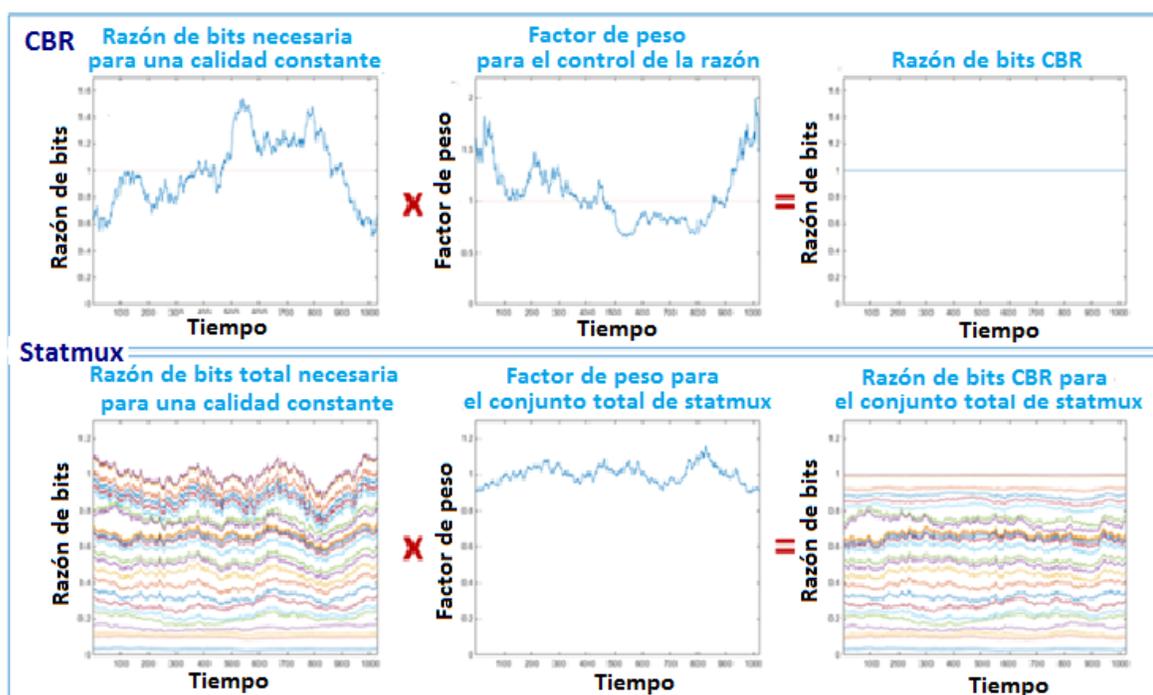


Figura 2.12. Representación de la analogía entre CBR y *statmux*. Fuente: (Enterprises, 2015).

Otro elemento importante analizado en (Enterprises, 2015) es la codificación de los servicios de video en modo VBR con la presencia de *statmux* y experimentando un incremento en el número de canales virtuales, el impacto de la densidad de programas se ilustra en la Figura 2.12. Obsérvese la representación de la distribución de probabilidad acumulativa para el Factor de Peso total de la *statmux*, para cantidades de programas de 1, 3, 30, 100 y 300 respectivamente, notándose que a medida que el número de programas en el conjunto *statmux* se incrementa, la curva de probabilidad acumulativa se estrecha y se torna más abrupta.

La figura 2.13 provee los resultados cuantitativos sobre el impacto significativo que tiene el “Factor CBR-a-VBR” para el conjunto de programas que comparten la *statmux*; es decir, cuánta razón de bit total del *statmux* se requeriría para satisfacer la razón de bit necesaria del VBR total para el conjunto de los programas integrantes del *statmux*. Los datos tabulados muestran como el “Factor CBR-a-VBR” de la *statmux* depende del objetivo de la probabilidad de la calidad de video operacional que se adopta como un servicio del proveedor.

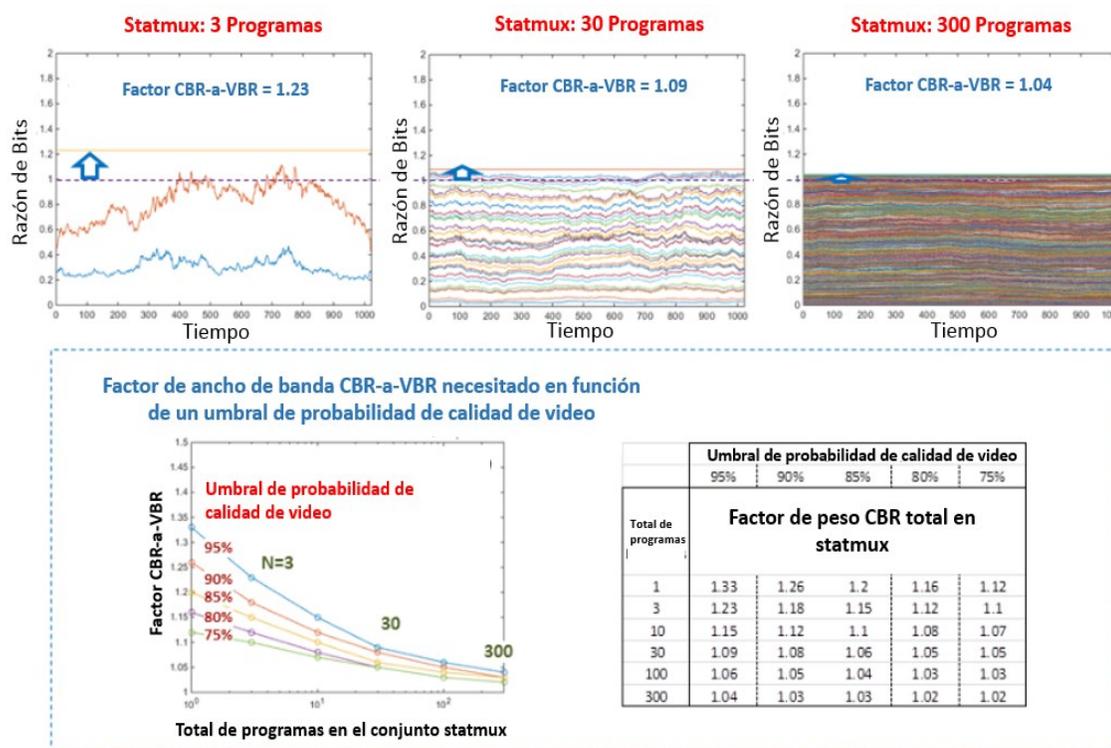


Figura 2.13. Representación del “Factor CBR-a-VBR” para la *statmux* en función tanto de la densidad de programas como el objetivo de la probabilidad de la calidad de video. Fuente:(Enterprises, 2015).

## 2.6 Conclusiones del capítulo

Después de la culminación del capítulo se concluye que los equipos empleados para realizar las mediciones son muy útiles por todas las prestaciones que ofrecen para el análisis del TS. Las mediciones realizadas permitieron computar la cuantía de los paquetes nulos que se envían en el TS irradiado, lo que contribuye al posterior análisis de dichos resultados y a la consecuente propuesta de mejoras para el sistema DTT actual. Además la utilización del Método “ Factor CBR-a-VBR” permite caracterizar el comportamiento de la utilización de los recursos de transporte en función del número de programas y la probabilidad de la calidad de video percibida en el tiempo, siendo más eficiente en la medida en que se incrementa el número de programas o canales virtuales.

## **CAPÍTULO 3. Análisis de resultados y propuestas de mejoras.**

En correspondencia con los objetivos planteados y las mediciones realizadas en el Capítulo 2, en este capítulo se analizan los resultados obtenidos y se realizan una serie de propuestas de mejoras que constituyen las soluciones del presente trabajo para la mejor implementación del sistema DTT en el contexto nacional. Para un mejor entendimiento las propuestas elaboradas se dividen para el caso de la SDTV y la HDTV.

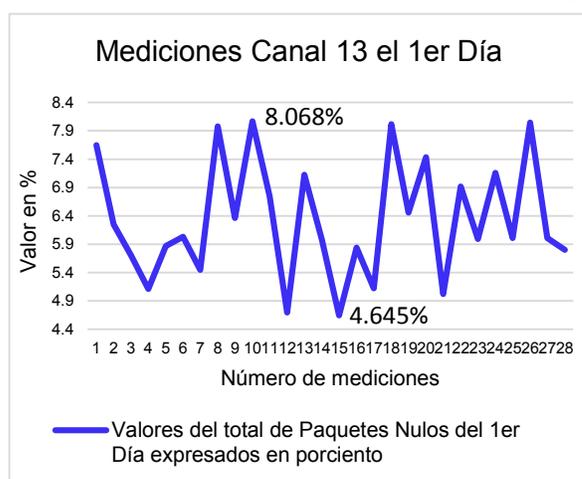
### **3.1 Consideraciones iniciales**

La multiplexación estadística, según se concretó en el Capítulo 1, asigna un ancho de banda a los canales de entrada en respuesta a sus necesidades; los canales de alta complejidad reciben una mayor cantidad del ancho de banda total disponible. Los sistemas pueden ser configurados con una razón de bits máxima y mínima para cada flujo tributario. Al mismo tiempo, una razón límite es impuesta al flujo combinado. El objetivo de la *statmux* es aumentar la capacidad del múltiplex tomando ventaja de la variabilidad de la razón de bits a lo largo del tiempo de los diferentes servicios cuando un número suficiente de ellos son combinados dentro de un TS. En este caso como se multiplexan 8 programas la ganancia de la *statmux* es alrededor del 24% para el canal de la SDTV, según lo expuesto en el subepígrafe 1.5.1., mientras que para el canal HDTV la ganancia de *statmux* es de apenas un 3% porque se multiplexa un solo programa.

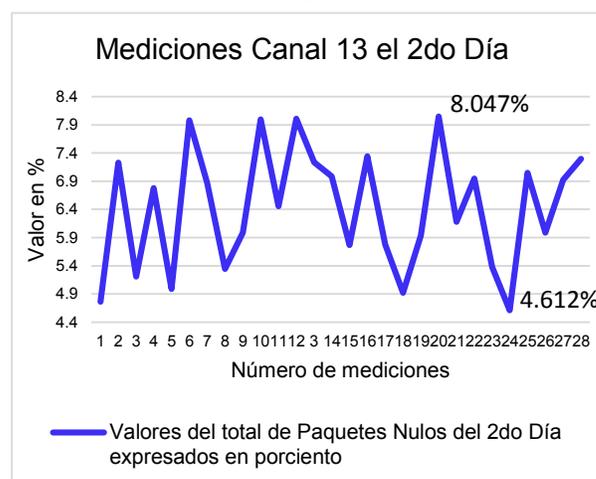
La *statmux* es ideal para servicios con una gran variabilidad en la razón de datos de vídeo, y los canales de deportes son los candidatos ideales. Pero el hecho de estar utilizando la *statmux*, no implica por sí sólo que se esté gestionando de manera eficiente el ancho de banda. Según el análisis realizado en el Capítulo 2 todavía existe espacio sin utilizar en el múltiplex, concentrado en paquetes nulos.

### 3.2 Resultados obtenidos de las mediciones realizadas

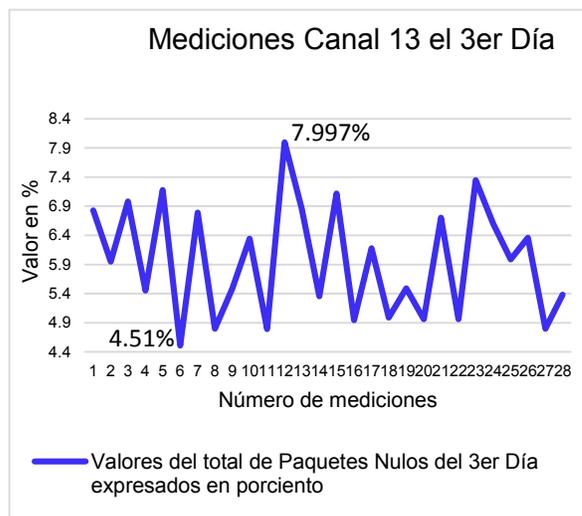
Los resultados obtenidos en las mediciones realizadas al canal 13 (213 MHz) de la SDTV, según las indicaciones planteadas en el subepígrafe 2.3.1, se representan en los gráficos que se muestran en la Figura 3.1. En los mismos se observa el comportamiento de la cuantía de los paquetes nulos, expresado en porciento, después de computar en 28 instantes de tiempo cuasialeatorios, cada día, en un período de 5 días. Como se observa en la Figura 3.1 d), el valor mínimo de paquetes nulos que se obtuvo fue de un 4.469% (0.82 Mbps) , mientras que el valor máximo fue de un 8.068%(1.78 Mbps), este se observa en la Figura 3.1 a).



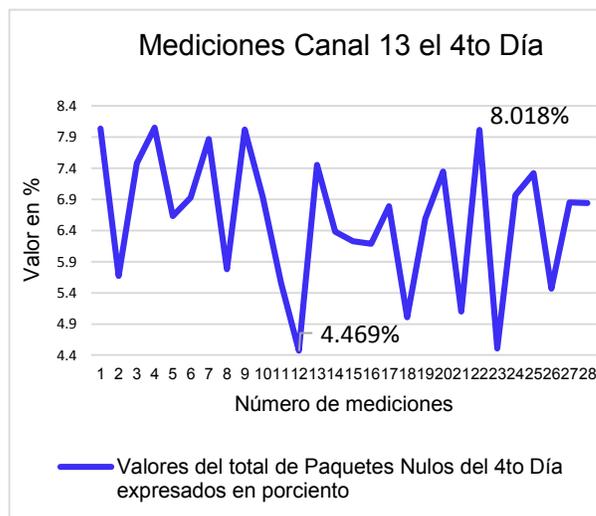
a)



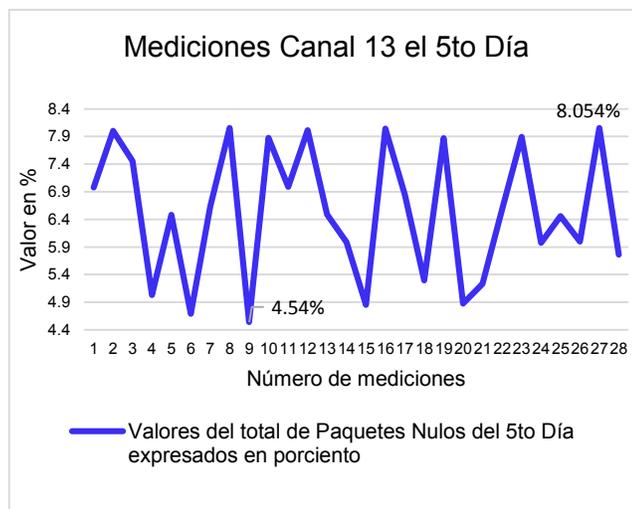
b)



c)



d)



e)

Figura 3.1. Gráficos con las mediciones realizadas al Canal de la SDTV. Fuente: Elaboración propia.

Además, en la Figura 3.2 se muestra el promedio de utilización del canal de la SDTV expresado en porciento, después de realizar las mediciones.

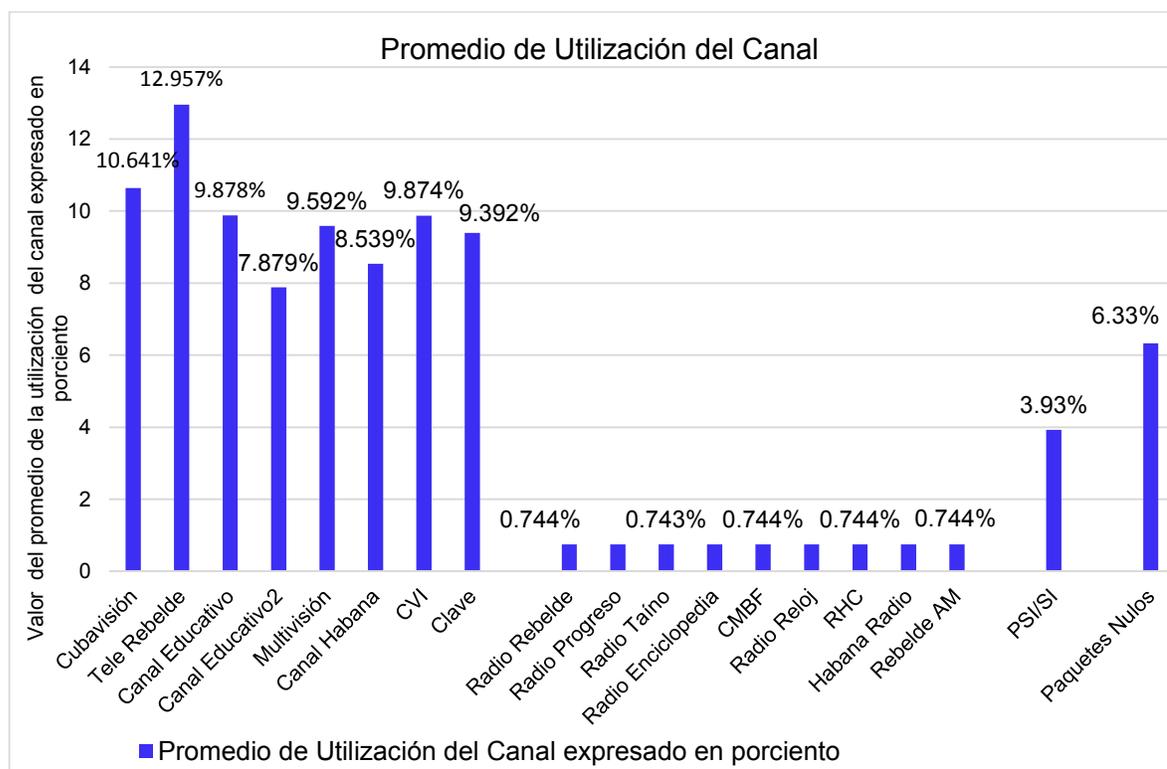
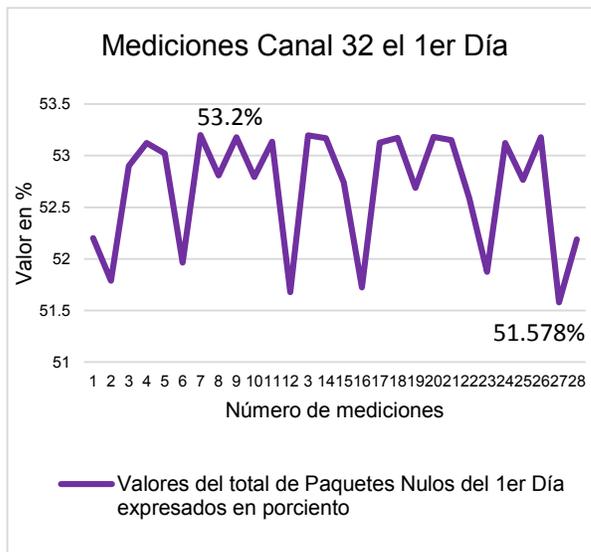
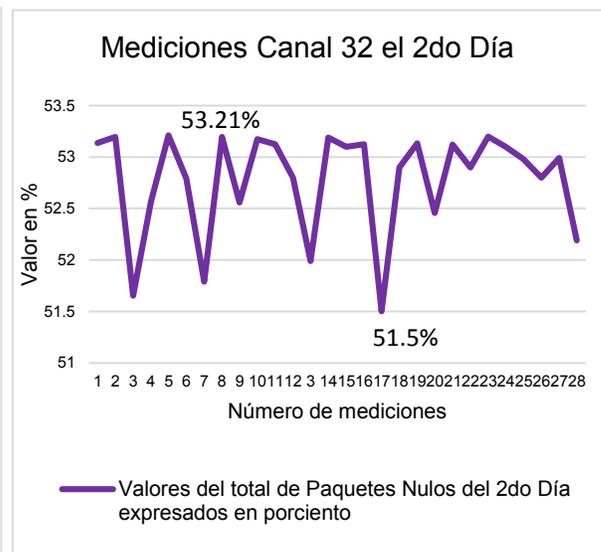


Figura 3.2. Utilización del Canal SDTV. Fuente: Elaboración propia.

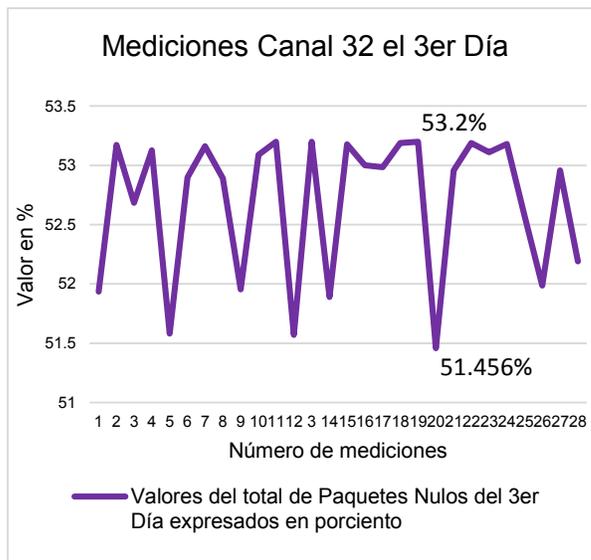
Por otra parte, los resultados de las mediciones realizadas al canal 32 (581 MHz) de la HDTV, en función de las indicaciones planteadas en el subepígrafe 2.3.2, se representan en los gráficos que se muestran en la Figura 3.2. Se utilizó el mismo período de tiempo descrito anteriormente para realizar las mediciones al canal de la SDTV. Como se percibe en la Figura 3.3 b) y c), el valor mínimo de paquetes nulos, expresado en porcentaje, que se obtuvo en este caso fue de un 51.456%( 9.40 Mbps), mientras que el valor máximo fue de 53.21%( 9.72 Mbps).



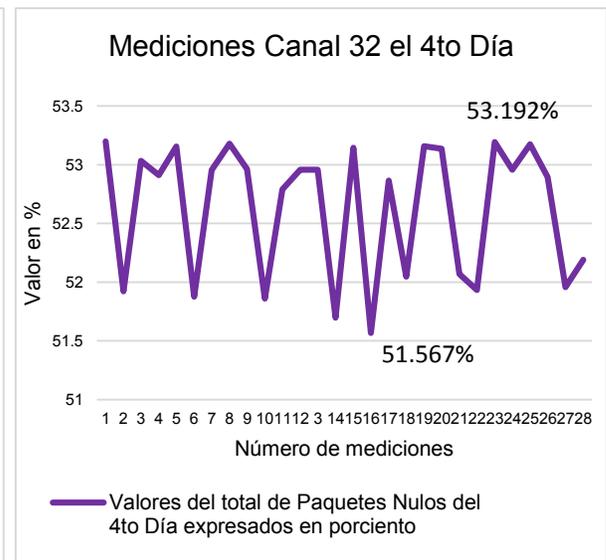
a)



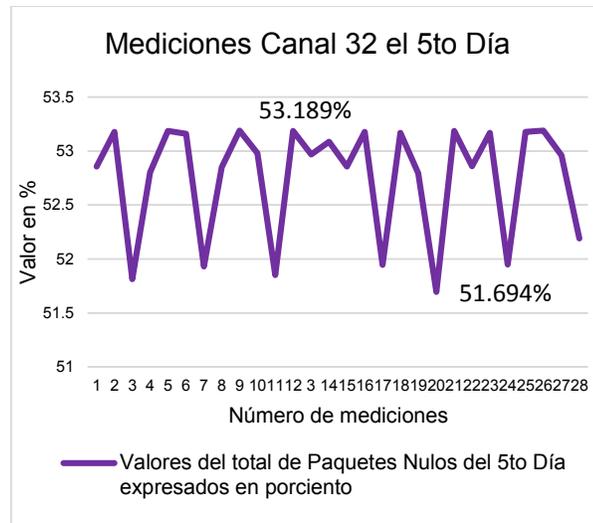
b)



c)



d)



e)

Figura 3.3. Gráficos con las mediciones realizadas al Canal 32. Fuente: Elaboración propia.

De modo general se aprecia que el valor promedio de paquetes nulos en el canal de la SDTV de acuerdo a las mediciones realizadas asciende a 6.33% (1.16 Mbps), lo que representa un número elevado, con respecto a lo propuesto por Harmonic en (Harmonic, 2002), donde se expone que cualquier codificación y solución de statmux que genere más de un 1% de paquetes nulos se considera como no eficiente. Por otra parte, en el canal de la HDTV el valor promedio de paquetes nulos es de 51.48% (9.40 Mbps), lo cual es sumamente alarmante, pues se desperdicia más de la mitad del ancho de banda total disponible. Lo peor de esta situación es que la cantidad de paquetes nulos permanece en esos valores mencionados anteriormente, aún cuando se están transmitiendo escenas de gran complejidad paralelamente.

El cúmulo tan grande de paquetes nulos mencionado anteriormente se traduce en que el ancho de banda se está gestionando de manera ineficiente, esto trae consigo que deje de cumplirse el principal objetivo del uso de la *statmux*. Al mismo tiempo, se ve un detrimento de las ventajas que ofrece la transición a la DTT expuestas en el epígrafe 1.1, pues la QoE percibida por los usuarios se ve afectada y provoca insatisfacción con el servicio por parte de los televidentes. No obstante, la situación existente de ineficiencia o mala gestión puede ser eliminada, o mejorada considerablemente, teniendo en cuenta los métodos utilizados actualmente orientados a disminuir la capacidad ocupada por los paquetes nulos o a implementar de modo más eficiente la *statmux*.

### 3.3 Propuestas de mejoras para el Canal de la SDTV

#### 3.3.1 Propuesta 1: Reutilización de la capacidad ofrecida por los paquetes nulos

Se puede tomar en consideración la propuesta que hace (Arsinte, 2013, Arsinte, 2012), todavía en una etapa temprana de su aplicación, la cual se basa en volver a utilizar la capacidad que está siendo ocupada por los paquetes nulos, para aplicaciones que no requieren una razón de bits fija, o un comportamiento en tiempo real. Reescribiendo la PMT con el nuevo servicio y reemplazando los paquetes nulos con el contenido del nuevo servicio, esto podría añadir características útiles a todo el múltiplex.

La arquitectura de re-multiplexación propuesta, debería implementarse en cada provincia, esta está diseñada para modificar el contenido original del multiplex, sin necesidad de acceder al multiplexor inicial del transmisor original. Se está planeando una arquitectura actualizada (que se describe brevemente en la Figura 3.3), con un detector de paquetes nulos, un insertador de contenido, y finalmente un multiplexor clásico, como se ve en la figura mencionada.

El proceso implica también una nueva estructura para la tabla PAT (regenerada por el bloque apropiado) y eventualmente la PMT, si el nuevo servicio tiene contenido de audio / video. También es posible adoptar un formato propio para insertar datos. El sistema re-multiplexa el flujo entrante añadiendo los nuevos servicios, sin sobrecargar el canal de salida.

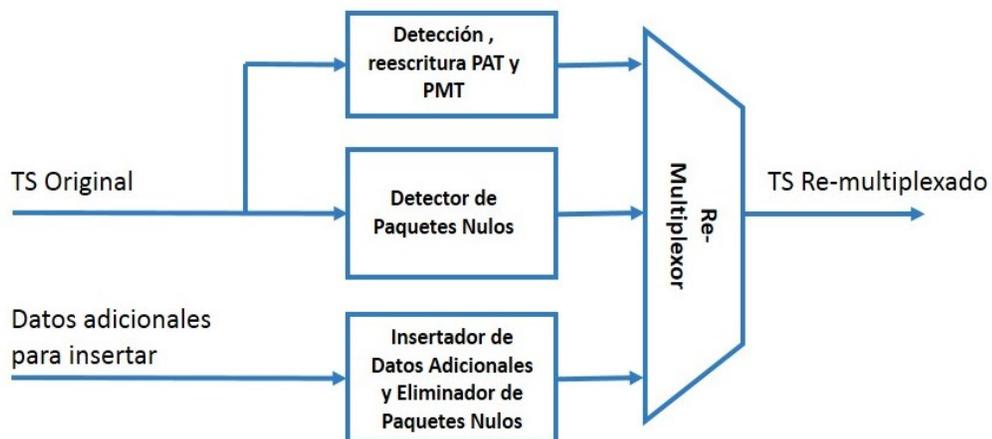


Figura 3.3. Diagrama en bloques del sistema de Re-multiplexación. Fuente: (Arsinte, 2013).

### 3.3.2 Propuesta 2: Combinación “inteligente” en función de la complejidad de cada canal virtual para la conformación de múltiples MPEG TS

Otra solución válida, según (Jean-Claude, 2016), para el manejo y gestión eficiente del flujo de transporte podría ser la de lograr, tras un posible aumento del número de servicios audiovisuales, la combinación “inteligente” en función de la complejidad de cada canal virtual para la conformación de múltiples MPEG TS. Con esta arquitectura basada en FPGA se podría incidir en otra de las ventajas de la DTT encausada en proporcionar el *multicast* entre los servicios audiovisuales. Las soluciones de MVD que proveen bajos costos de implementación basados en FPGAs pueden re-multiplexar una o varias cadenas MPTS/SPTS para lograr una o varias MPTS con el filtrado y multiplexado completo de los servicios.

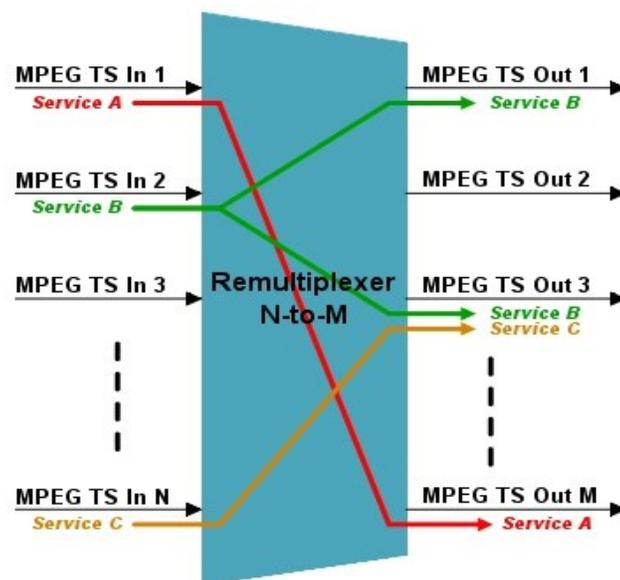


Figura 3.4: Representación de soluciones novedosas de MVD basadas en FPGA. Fuente: (Jean-Claude, 2016).

### 3.3.3 Propuesta 3: Cambio de método de la transmisión de datos

Otra propuesta de mejora para la situación existente es la que sugiere (Harmonics, 2002), la cual está sustentada en el uso de otro método para la transmisión de los datos. La alternativa más viable para que los datos participen en la *statmux*, es permitiéndole a la razón de datos que varíe; es decir hay que implementar un sistema que rompa con la separación artificial de ancho de banda entre el video y los datos para compartir óptimamente el ancho de banda disponible. En tales condiciones, se propone diseñar un sistema que combine las necesidades

instantáneas de video mientras mantiene la razón promedio especificada de los datos. La propuesta de sistema diseñado se muestra a continuación en la Figura 3.5.

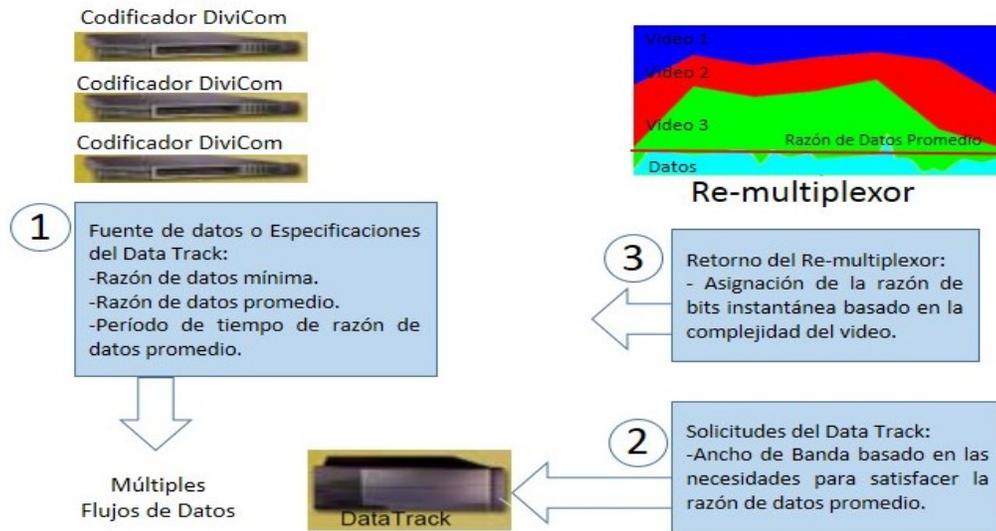


Figura 3.5: Representación de un esquema para un sistema Data Track. Fuente: (Harmonic, 2002) modificada por el autor.

Para el manejo de componentes de servicio, tales como teletexto, subtítulos, e incluso a los componentes de audio se recomienda el uso de la última característica avanzada para la *statmux*, conocida como *Flexservice* (Figura 3.6), introducida como parte de la solución Flexstream 2.0 (Pellen, 2013). Esta característica sólo está disponible con la solución de Thomson (Philippe Vidal, 2013).

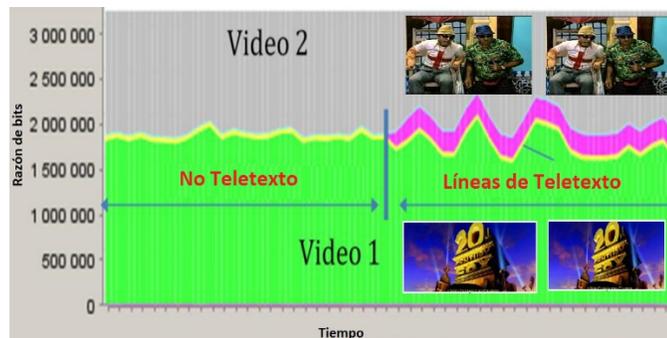


Figura 3.6. Diagrama esquemático de lo que sería la representación del uso del servicio de Flexstream para teletexto en función de la asignación de razón de bits. Fuente: (Pellen, 2013) modificada por el autor.

### 3.3.4 Propuesta 3: Sustitución del estándar de codificación de video y audio

Otra alternativa que optimiza el empleo del ancho de banda disponible está centrada en el despliegue del reciente estándar HEVC (*High Efficiency Video Coding*) (ITU-T, 2015, J.R.Ohm, 2012), que ofrece un 50% de ganancia de codificación con respecto a AVC (*Advanced Video Coding*). HEVC o H.265, como también se le conoce, es un estándar de compresión de vídeo sucesor de H.264/MPEG-4 AVC. En comparación con el formato anterior, HEVC posee el doble de capacidad de compresión de datos pero manteniendo el mismo nivel de calidad de vídeo (Milan Milivojević, 2015, Ducloux, 2013, Painchault, 2013, B. R. Didier Gaubil, 2013, J.R.Ohm, 2012).

Por lo tanto sustituir la actual codificación de video H.264 por la HEVC caracterizada anteriormente permitiría una eficiencia en la gestión del ancho de banda formidable, pues podrían multiplexarse los mismos 8 programas actuales, pero requerirían solo la mitad del ancho de banda disponible. En la Figura 3.6 se muestra la contribución promedio de cada programa en Mbps utilizando el códec de video H.264 y H.265, según el porcentaje de utilización del canal promedio mostrado en la Figura 3.2.

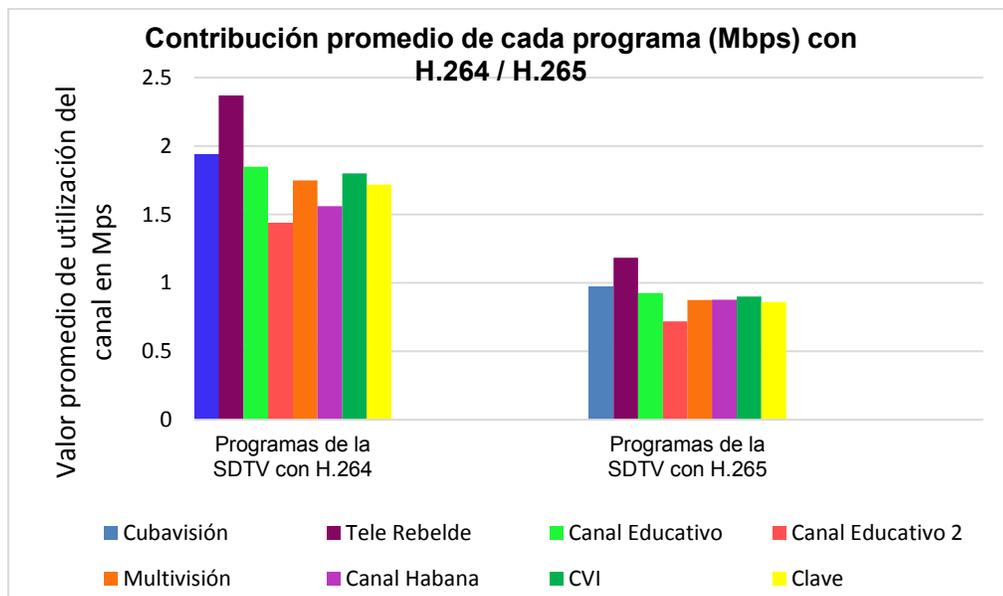


Figura 3.6 Comparación de la Utilización del Canal con codificación H.264 y H.265. Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, considerando el efecto favorable que trae consigo el aumento de la cantidad de programas en la *statmux*, mencionado en el Epígrafe 2.5, en la Tabla 3.1 se muestra la

ganancia de la *statmux*, según lo especificado en el subepígrafe 1.5.1, en dependencia del códec de video que se esté empleando.

Tabla 3.1 Representación de la eficiencia de la *statmux* en función del códec, la combinación de canales de RF y el modo de trabajo del estándar de transmisión para DTT.

		1 CH RF(6 MHz)			
Configuración del Estándar/		H.264	Eficiencia de <i>statmux</i> (%)	H.265	Eficiencia de <i>statmux</i> (%)
DTMB, modo de trabajo 6(18.274 Mbps)	SD(720x480)	8	24	16	28

Además también se podría pensar en hacer un cambio en el estándar de codificación de audio, pues según lo analizado en el epígrafe 2.4 la codificación de audio adoptada no utiliza emisiones de baja razón de bits, como recomienda la UIT, pues el códec de audio que se emplea actualmente tanto para los programas de video como para los de radio es MPEG1 Capa2 con razones binarias de 128kbps y de 192kbps para los servicios de Multivisión y Clave.

Por lo que en aras de mejorar la relación calidad de sonido respecto a la razón binaria de codificación y aumentar la eficiencia del ancho de banda se hace necesario valorar el uso de otros códec de audio más eficientes, compatibles con las cajas decodificadoras disponibles en la actualidad de nuestro país. Debido a estas razones antes expuestas se propone un cambio en el códec de audio, remplazando el códec actual por MPEG-4 “HE-AACv2” (*High Efficiency Advanced Audio Coding* versión 2), el cual se encuentra aprobado para el entorno de Cuba por la Resolución 430/2014 del Ministerio de las Comunicaciones(Comunicaciones, 2014).

HE-AAC v2 es el perfil de codificación de audio más eficiente en la familia de codificadores de audio AAC y sus valores típicos de bit-rate son de 24-32 kbps para una señal estéreo(Mozer, 2006).

Consecuentemente, si a la mejora que representa el cambio en el estándar de codificación de video a H.265 se le suma también la adopción del estándar de codificación de audio HE-

AAC v2, entonces la superioridad en la utilización eficiente del espectro radioeléctrico sería innegable y aconsejable.

### 3.4 Propuestas de mejoras para el Canal de la HDTV

#### 3.4.1 Propuesta 1: Inserción de otro programa

Teniendo en cuenta que el canal de la HDTV transmite un solo programa de video en un ancho de banda de 18.274 Mbps, entonces la ganancia de *statmux* es de apenas un 3% como se plantea en el subepígrafe 1.5.1. Por otra parte, tomando como punto de partida que se utiliza menos del 50% de dicho ancho de banda para el único programa que se transmite, pues el valor promedio de paquetes nulos generados según los resultados obtenidos en el epígrafe 3.1 es de un 51.48%, puede incrementarse otro programa al canal, pues sería muy favorable para que no se desperdicie el ancho de banda y además aumentaría la ganancia de la *statmux* en un 7%, ya que al multiplexar 2 programas la ganancia es del 10%.

#### 3.4.2 Propuesta 2: Cambio del esquema de modulación

En el caso de que la propuesta realizada en el epígrafe anterior no sea viable, tomando el mismo punto de partida, podría entonces plantearse el cambio del esquema de modulación, pues 64-QAM brinda una razón de bits de 18.274 Mbps, de los cuales se desaprovecha más de la mitad, entonces si se reduce a 16-QAM se podría obtener un ancho de banda de 10.829Mbps, según la Tabla 3.2, que sería el idóneo para el único programa que se está transmitiendo y así no se desperdiciaría ancho de banda.

Es válido aclarar que para calcular las razones de transmisión asociadas a los diferentes modos de trabajo se utiliza la siguiente fórmula:

$$Razón = \frac{3744}{PN+3780} \times Ri \times Rm \times 5,67Mbps \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

- Intervalo de guarda, PN=420/545/945;
- Eficiencia del esquema de modulación, Rm = 2/4/5/6;
- Eficiencia del FEC, Ri (FEC) : 0.4= 3008/7488, 0.6= 4512/7488, 0.8 = 6016/7488;

Tabla 3.2. Razones de transmisión en Mbps según el modo de trabajo del estándar DTMB.

Modo	Número de Portadoras	FEC	Modulación	Cabecera	Entrelazado	Razón de Tx (Mbps)
1	3780	0.4	16QAM	PN945	720	7.220
2	1	0.8	4QAM	PN595	720	7.797
3	3780	0.6	16QAM	PN945	720	10.829
4	1	0.8	16QAM	PN595	720	15.593
5	3780	0.8	16QAM	PN420	720	16.244
6	3780	0.6	64QAM	PN420	720	18.274
7	1	0.8	32QAM	PN595	720	19.492

### 3.5 Conclusiones del capítulo

Luego del análisis de los resultados obtenidos en las mediones y la presentación de las propuestas de mejoras para el mejoramiento de la eficiencia en el empleo de los recursos de transporte se arriban a las siguientes conclusiones:

- Se manifiesta que la calidad de video está condicionada por la complejidad del fotograma, el esquema de codificación utilizado y el modo de la implementación del control de la razón de bits.
- La mejora en la eficiencia de la *statmux* se basa en el aumento del número de programas para poder reajustar en función de la variabilidad estadística individual en cada instante de tiempo.
- Se muestra como el uso del códec de video H265 trae como consecuencia un incremento de los servicios SD, con un aumento en la eficiencia de la *statmux*, y el empleo del códec de audio HE AACv2 reduce considerablemente la razón binaria de codificación.
- La aplicación de *statmux*, el empleo de codificadores de video y audio de alta eficiencia (HEVC y HE AACv2 ) y la reutilización de la capacidad ofrecida por los

---

paquetes nulos, en el caso de la SDTV, y la inserción de nuevos programas o el cambio del esquema de modulación, en el caso de la HDTV, proporcionan un aumento considerable de la eficiencia y calidad de videos (SD/HD) en comparación con el esquema actual utilizado en el contexto nacional.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

1. La caracterización realizada al esquema DTT en el entorno nacional permitió comprobar que se envía una gran cantidad de paquetes nulos en los TSs irradiados nacionalmente y la degradación de la calidad de la imagen asociada a la deficiente gestión de los recursos de transporte. Lo cual constituye el punto de partida para la propuesta de soluciones viables.
2. Con el empleo de las técnicas de *statmux* se logra una multiplexación eficiente con una adecuada calidad de video.
3. La reutilización de la capacidad ofrecida por los paquetes nulos permite enviar datos adicionales, y en el caso de que el video sea muy complejo, dicho espacio se emplea en función de mejorar su calidad.
4. La utilización del factor CBR-a-VBR permite relacionar el ancho de banda total del conjunto *statmux* con la cantidad de programas multiplexados para una probabilidad temporal de la calidad de video, donde se observa que con el aumento del número de programas estadísticamente independientes que forman el conjunto *statmux*, también aumenta la eficiencia de la razón de bits.
5. El empleo del códec de video H.265 y del códec de audio HE AACv2 permite aumentar la ganancia de la *statmux*.

Por lo que se puede deducir que las arquitecturas y técnicas de codificación de fuente y multiplexación estadística propuestas constituyen alternativas válidas para incrementar el uso

eficiente de los recursos de transporte y la QoE percibida por los usuarios en el sistema DTT nacional.

### **Recomendaciones**

A pesar de haber cumplido los objetivos propuestos en la presente investigación el tema no queda agotado. Muchas de las propuestas presentadas en la presente tesis pueden constituir campos de investigación independientes. En este sentido se realiza la siguiente recomendación:

- 1 Modificar el sistema DTT nacional, de forma tal que se puedan implementar algunas de las propuestas realizadas con la consecuente la aplicación de técnicas de *statmux*.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A. R. MONTEJO 2015. *PLATAFORMA DE CONTROL DE LA TELEVISIÓN TERRESTRE EN ÁMBITOS DE IP*, La Habana, Cuba.
- ALBORNOZ, L. A., Y M. T. GARCÍA 2012. *Televisión digital terrestre: caracterización, antecedentes e importancia*, Buenos Aires, La Crujía: 1-42.
- ALEXANDRU FLORIN ANTONE, R. A. 2012. Investigating the Impact of Statistical Multiplexing in DVB Systems. *Advanced Research in Scientific Areas*
- ALEXANDRU FLORIN ANTONE, R. A. 2013. A Study on the Optimal Implementation of Statistical Multiplexing in DVB Distribution Systems.
- AMARGÓS, J. D. P. 2015. Propuesta de mejoras en la conformación de los datos de valor agregado de la TDT cubana. La Habana, Cuba.
- ANTONE, R. A. Y. A. F. 2013. ADVANCED METHODS AND TOOLS FOR ONLINE EVALUATION OF MULTIPLEXING SERVICES AND ENCODING PARAMETERS IN DIGITAL VIDEO BROADCASTING.
- ARSINTE, A. F. A. Y. R. 2012. Investigating the Impact of Statistical Multiplexing in DVB Systems. *INTERNATIONAL VIRTUAL CONFERENCE*.
- ARSINTE, A. F. A. Y. R. 2013. A Study on the Optimal Implementation of Statistical Multiplexing in DVB Distribution Systems.
- B. R. DIDIER GAUBIL, Y. F. H. 2013. HEVC realistic use case scenarios. Technical document 4EVER project. *4EVER project 2013*.
- BLUETOP TECHNOLOGY 2014. *DTV Probe Analyzer BTA-P200*, Beijing, China, Bluetop Technology Co.
- BOU, J. P. 2010. *Physical Layer Statistical Multiplexing for the Second Generation Digital Terrestrial TV Standard DVB-T2*. Universidad Politécnica de Valencia.
- BRICEÑO, J. E. 2012. *Principios de las Comunicaciones.*, Venezuela, ULA.
- CANNELLA, G. 2008. Video Content for RF & IPTV. In: CISCO (ed.).
- CO., L. B. B. S. T. 2015. Digital TV System and Network Planning. La Habana, Cuba: 3er Foro DTV.

- COMUNICACIONES, M. D. L. 2014. Resolución 330\2014. La Habana, Cuba.
- CHILDERS, J. D., Y MIYAGUCHI, H. 2008. *Definition television digital processing units, systems and methods.*, Google Patents.
- DARIAS, L. L. 2015. “*Análisis de métodos de multiplexación estadística para el sistema de distribución DTMB en Cuba*”. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
- DEVISER 2013. *S7000 Series TV Analyser Operation Manual*, China, TianJin Deviser Electronics Instrument Co.
- DIEGO DURÁN, J. P. G., MARCOS JUAYEK, JOSE JOSKOWICZ Y RAFAEL SOTELO. 2014. Estimación automática de calidad de video en televisión digital abierta ISDB-T basada en indicadores objetivos y subjetivos.
- DMB-T 2006. Channel Coding and Modulation for Digital Television Terrestrial Broadcasting System.
- DTMB 2006. Chinese National Standard GB -20600 . Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Digital Television Terrestrial Broadcasting System(DTMB).
- DUCLOUX, X. 2013. Perspectives and Challenges for HEVC encoding solutions.
- ENTERPRISES, A. 2015. MODELING THE OPERATIONAL EFFICIENCY OF HIGH-DENSITY STATISTICAL MULTIPLEXING FOR DOCSIS 3.1. *ARRIS Enterprises*.
- FEI, D. H. Data Broadcasting system in Cuba DTMB network. presentado en el 2do Entrenamiento en Cuba TDT: LACETEL.
- FISCHER, W. 2010. *Digital video and audio broadcasting technology: a practical engineering guide*, Springer.
- GENOVESE N. 2006. Introducción al Digital Terrestre. *CUADERNOS FRACARRO*.
- GUTIÉRREZ, A. D. 2001. *FLUJOS DE PROGRAMA Y DE TRANSPORTE MPEG-2 APLICACIÓN A DVB*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID.
- HARMONIC 2002. Data Transmission Efficiency. *DIGITAL VIDEO SOLUTIONS*. Harmonic.
- HARMONICS 2002. Data Transmission Efficiency. *DIGITAL VIDEO SOLUTIONS*. Harmonics.
- IÑAKI EIZMENDI, M. V., DAVID GÓMEZ-BARQUERO, JAVIER MORGADE, VICENTE BAENA-LECUYER, MARIEM SLIMANI Y JAN ZOELLNER 2014. DVB-T2, the Second Generation of Terrestrial Digital Video Broadcasting System. *IEEE Transactions on Broadcasting*, XX.
- ISO/IECC 2000. ISO/IECC 13818-1.
- ITU-R 2015. Digital terrestrial broadcasting: Desing and implementation of single frequency networks(SFN). in Report ITU-R BT.2386-0.
- ITU-T 2015. Recommendation ITU-T H.265. *High efficiency video coding*.

- J.R.OHM, G. J. S., H. SCHWARZ, T.K. TAN, T.WIEGAND 2012. Comparison of the Coding Efficiency of Video Coding Standards-Including High Efficiency Video Coding (HEVC). *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*.
- JACOMÉ, P. F. S. 2009. *ANÁLISIS DE LOS ESTÁNDARES DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE (TDT) Y PRUEBAS DE CAMPO UTILIZANDO LOS EQUIPOS DE COMPROBACIÓN TÉCNICA DE LA SUPERINTENDENCIA DE TELECOMUNICACIONES.*, Escuela Politécnica Nacional.
- JEAN-CLAUDE 2016. MVD Cores - MPEG TS Remultiplexer.
- JHON ARNOLD, M. F. Y. M. P. 2007. *Digital Television Technology and Standars*, Jonh Wiley & Sons.
- JOHN HARTUNG, S. K. 2008. Transcoding and Statistical Multiplexing of MPEG4 (H.264) Broadcast Video.
- L. FAY, L. M., D. GÓMEZ-BARQUERO, N. A., Y M. W. CALDWELL 2016. An Overview of the ATSC 3.0 Physical Layer Specification. *IEEE TRANSACTIONS ON BROADCASTING*.
- L. MICHAEL Y DAVID GÓMEZ-BARQUERO 2015. Modulation and Coding for ATSC 3.0. IEEE.
- MANFRED KÜHN, J. A. 2000. Statistical multiplex – what does it mean for DVB-T?
- MARIÑO. 2010. *ESTUDIO DEL ESTÁNDAR DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE DTMB( DIGITAL TERRESTRIAL MULTIMEDIA BROADCASTING), Y PROPUESTA DE REGLAMENTO PARA LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE EN EL ECUADOR.* ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.
- MARTÍNEZ, H. M. 2015. *Propuesta de una red de frecuencia única (SFN) para TDT en la Provincia de Villa Clara.* Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
- MILAN MILIVOJEVIĆ, B. M., AND IRINI RELJIN 2015. DVB-T2: An Outline of HDTV and UHDTV Programmes Broadcasting. *Telfor Journal*, Vol.7
- MORENO, C., ET AL., 2011. Diseño y análisis de red de Televisión Digital Terrestre (TDT) para Medellín - Antioquía. *Revista en Telecomunicaciones e Informática*, I : 31-48.
- MOZER, S. M. Y. G. 2006. *Coding Technologies* [Online]. Available: [http://tech.ebu.ch/docs/techreview/trev\\_305-moser.pdf](http://tech.ebu.ch/docs/techreview/trev_305-moser.pdf).
- NAKONECHNY, L. 2010. The advance of ISDB-Tb in Latin America. *Revista da SET*.
- NETWORKS, S. V. Advanced Encoding Mechanism and Statistical Multiplexing.
- PAINCHAULT, A. Using AVC/H.264 and H.265 expertise to boost MPEG-2 efficiency and make the 6-in-6 concept a reality. Miami, 2013.
- PELLEN, A. 2013. FLEXTREAM 2.0 Statmux technology tutorial & FLEXSERVICE concept overview.
- PHILIPPE VIDAL 2013. FLEXTREAM 2.0: EFFICIENT DATA HANDLING. *In: NETWORK*, T. V. (ed.).

- PISCIOTTA, N. 2010. *Sistema ISDB-Tb (Primera parte)*. Universidad Blas Pascal.
- PRADO, E. 2003. Introducción. *Virtudes, funciones y futuro de la TDT en la Sociedad de la Información*. Telos.
- PRIETO, F. D. G. 2013. ESTADO DEL ARTE DE LAS TECNOLOGÍAS AUDIOVISUALES. De la captación de imágenes al usuario final.
- RAO, N. S. Y. K. R. 2012. *Multiplexing the Elementary Streams of H.264 Video and MPEG4 HE AAC v2 Audio, De-multiplexing and Achieving Lip Synchronization*. University of Texas at Arlington.
- REININGER, D. Statistical Multiplexing of VBR MPEG Compressed Video on ATM Networks. INFOCOM '93,, 1993 San Francisco.
- RENNES 2010. Coming Next: 3D Television over DVB-T2. TeamCast.
- REYES , S. M., Y BELEN , A. 2011. *Prototipo de aplicación GINGA de apoyo al aprendizaje con la televisión digital*. Tesis de Carrera, Universidad del Bio Bio.
- RUBALCABA, O. P. G., Y GÓMEZ, R. A. 2009. *Contribución al estudio y análisis de una norma de TV digital en Cuba*. Científica - Tecnológica, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría.
- SCHERTZ, A. Usefulness of Statistical Multiplexing. Second International Workshop on Quality of Service in Digital Television, 1999.
- SOTELO R. , D. D. Y. J. J. 2011. Sistema de Transmisión ISDB-T.
- TAKADA, M. 2006. Transmission System for ISDB-T. 94.
- TAPIA, A. G. 1999. *Diseño de un laboratorio de televisión digital para la Tx de señales con multiprogramación, contenidos interactivos y guía de programación*. Científica - Tecnológica, Universidad de Cuenca.
- VEGA, C. P. 2004. El sistema de transporte en televisión digital. *Transmisión de Televisión*.
- WHITAKER, J. 2006. *Mastering Digital Television: The Complete Guide to the DTV Conversion*.
- XILINX 2014. Statistical Multiplexing/ Remultiplexers. Programmable Solutions for the Broadcast Industry.
- Y.NÚÑEZ, O. 2015. Objective Video Quality Test oriented to SDTV System. La Habana, Cuba: 3er Foro de TVD.
- ZAMBRANO, A. Introducción a la TV Digital Interactiva y Ginga.ar.
- ZHANG, C. 2014. Technical Review for DTMB Standard and System. en 3er Foro de Televisión Digital, La Habana.

## **GLOSARIO DE TÉRMINOS**

AAC: Advanced Audio Coding.

ASI: Asynchronous Serial Interface.

ATSC 3.0: Next-generation standard ATSC 2.0.

ATSC: Advanced Television System Committee.

AVC: Advanced Video Coding.

AVS: Audio Video coding Standard.

BCH: Bose- Chaudhuri- Hocquenghem.

BST: Band Segmented Transmission.

C/S/T: Cable/Satellite/Terrestrial.

CAT: Conditional Access Table.

CBR: Constant Bit Rate.

DTH: Direct to Home.

DTMB: Digital Terrestrial Multimedia Broadcasting.

DTMB-A: Advanced Digital Terrestrial Multimedia Broadcast.

DTT: Digital Terrestrial Television.

DVB: Digital Video Broadcasting.

EPG: Electronic Program Guide.

ES: Elementary Stream.

FEC: Forward Error Correction.

HD: High Definition.

HDTV: High Definition Television.

HE AAC: High Efficiency Advanced Audio Coding.

HE AACv2: High Efficiency Advanced Audio Coding versión 2.

HEVC: High Efficiency Video Coding.

IP: Internet Protocol.

ISDB-T: Integrated Services Digital Broadcasting.

ISO: International Standards Organizations.

ITU-T: International Telecommunications Union.

LDPC: Low Density Parity Check.

LDTV: Low Definition Television.

Mbps: Mbits per second.

MFN: Multi-Frequency Network.

MPEG: Moving Picture Experts Group.

MPTS: Multiple Program Transport Stream.

NTSC: National Telecommunications Systems Committee.

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing.

PAT: Program Association Table.

PCR: Program Clock Reference.

PES: Packetized Elementary Stream.

PID: Packet Identifier.

PMT: Program Map Table.

PSI: Program Specific Information.

QAM: Quadrature Amplitude Modulation.

QoE: Quality of Experience.

SD: Standard Definition.

SDTV: Standard Definition Television.

SFN: Simple- Frequency Network.

SPTS: Simple Program Transport Stream.

TDS: Time Domain Synchronous.

TS: Transport Stream.

UHD: Ultra High Definition.

UHF: Ultra High Frequency.

VBR: Variable Bit Rate.

VHF: Very High Frequency.

VSF: Vestigial Side Band.

## ANEXOS

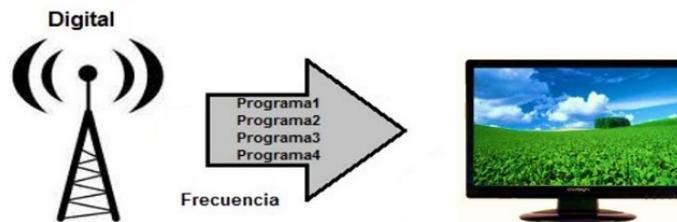
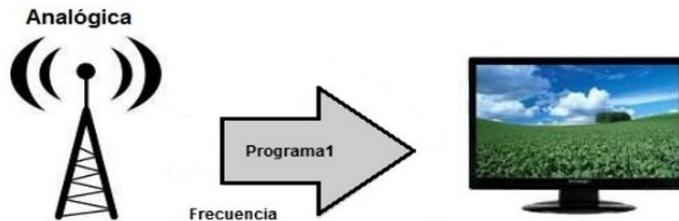
### Anexo I Calidad de video de DTT vs Televisión Analógica. Fuente: Elaboración propia.

Si la señal analógica es débil, se tiene mala imagen.



Con la TV Digital → se tiene una imagen íntegra (o no se tiene nada)

### Anexo II Inserte Optimización del Espectro Radioeléctrico. Fuente: (Zambrano).



Anexo III Diagrama de los bloques funcionales de DTMB. Fuente:(Zhang, 2014)

