



**UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS**  
**VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILISTOGA, 1948**

**Facultad de Ingeniería Eléctrica**

**Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones**

# **Propuesta de regionalización de contenido del flujo de la TDT Nacional**

**Tesis presentada en opción al Título Académico de Máster en Telemática**

**Maestría en Telemática**

Autor: Ing. Yosvany Rafael Esponda Fernández

Tutor: Dr.C. Carlos Roche Bertrán

**Santa Clara, Cuba**

**2016**

**"Año 58 de la Revolución"**



**Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas**  
**Facultad de Ingeniería Eléctrica**  
**Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica**



**Tesis presentada en opción al Título Académico de Máster en Telemática**

**Autor: Ing. Yosvany Rafael Esponda Fernández**

[yosvany@ss.radiocuba.cu](mailto:yosvany@ss.radiocuba.cu)

**Tutor: Dr.C. Carlos Roche Bertrán**

[croche@uclv.edu.cu](mailto:croche@uclv.edu.cu)

**Santa Clara, Cuba**

**2016**

**"Año 58 de la Revolución"**



Hago constar que la presente Tesis de Maestría fue realizada en la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la Maestría en Telemática, 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 Autor

---

Firma del Jefe de  
Departamento donde se  
defiende el trabajo

---

Firma del Responsable de  
Información Científico-Técnica

# *PENSAMIENTO*

*Toda la ciencia no es más que un refinamiento del pensamiento  
cotidiano.*

*Albert Einstein*

# DEDICATORIA

*A todo aquel que nunca le han dedicado nada.*

# AGRADECIMIENTOS

*A dios, mis Orishas y a mi familia por darme la fuerza y la voluntad para terminar lo que parecía imposible.*

*A Yaima, Dayana, Cepeda y Dairito los soles que iluminan cuando todo está oscuro.*

*May en especial a Irina Siles, Dayana Hernández y Yobisley Bernal.*

*A mi tutor Carlos Roche Bertrán por su tiempo, sus ideas y por su ayuda.*

*A mis amigos y colegas de RadioCuba por siempre brindarme sus conocimientos.*

# RESUMEN

En la actualidad, el flujo de TDT que se distribuye en Cuba está formado por contenido de carácter Nacional generado en los estudios centrales del ICRT en La Habana. Además de este contenido, coexisten en cada provincia dos programas de radio de carácter provincial, los cuales no están insertados en este flujo de TDT. La presente investigación tiene como objetivo evaluar el desempeño del flujo de TDT Nacional con la inserción de los programas de radio a través de una propuesta tecnológica. Se presenta como objeto de estudio el flujo de la TDT distribuido en la provincia de Sancti Spíritus, lo cual permitirá aumentar el grado de satisfacción de la población en general.

La investigación parte de una caracterización de las tendencias en materia de codificación de audio, multiplexación, señalización y transporte para flujos de televisión digital aplicados al entorno de radiodifusión digital. Se describe los métodos y elementos para valorar las propiedades cualitativas y cuantitativas del flujo de TDT a través de la herramienta Blue Top Analyzer mediante un conjunto de mediciones estadísticas. Finalmente, se evalúa el desempeño del flujo de TDT con contenido regional con el empleo de un códec de audio más eficiente, identificando las ventajas que puede acarrear para el país el empleo del códec de audio MPEG-4 (HE-AAC v2) en cuanto a su comportamiento y calidad de audio perceptual en la codificación actual de los programas transmitidos.

**Palabras Claves:** MPEG-4, HE-AACv2, TS, PSI/SI, Audio

## TABLA DE CONTENIDOS

PENSAMIENTO .....	i
DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
RESUMEN .....	iv
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO 1. Tecnologías de codificación y transporte de TDT .....	6
1.1    Televisión Digital Terrestre: Situación Global .....	6
1.1.1    Televisión Digital en Cuba: Estándar DTMB.....	8
1.2    Arquitectura de un sistema de TDT .....	10
1.3    Tecnología de codificación de la fuente para TDT.....	11
1.3.1    Características de los flujos elementales de audio y video.....	11
1.4    Tecnología de codificación de video para TDT .....	13
1.5    Tecnología de codificación de audio para TDT.....	14
1.5.1    Código MPEG-1 capa dos .....	15
1.5.2    Código MPEG-2 AAC-LC.....	16
1.5.3    Código MPEG-4 AAC-LC.....	16
1.5.4    Código MPEG-4 HE-AAC .....	17
1.5.5    Código MPEG-4 HE-AACv2 .....	17
1.5.6    Código MPEG-4 HE AAC Extendido .....	18
1.6    Tendencias de codificación de audio aplicable a Cuba. ....	19
1.7    Multiplexación y señalización de flujos de TDT .....	21
1.7.1    MPEG-2 TS .....	21

1.7.2	Señalización DVB-SI/PSI del flujo de TDT.....	22
1.7.3	Técnicas de Multiplexación del flujo de TDT.....	23
1.7.3.1	Multiplexación estática.....	24
1.7.3.2	Multiplexación dinámica.....	25
1.8	Tecnologías para el transporte de flujos TS de TDT .....	25
1.9	Soluciones tecnológicas para codificación y transporte de TS .....	26
1.9.1	Solución Thomson Video Network de Harmonic.....	26
1.9.2	Solución Selenio de Imagine Communications.....	28
1.10	Conclusiones parciales .....	29
 CAPÍTULO 2.		
	Características del TS Nacional en la provincia de Sancti Spíritus.....	30
2.1	Elementos para medir el desempeño de flujos TS .....	30
2.1.1	Análisis de errores en la estructura del TS o TR 101 290 .....	31
2.1.2	Análisis de TS sobre redes de distribución de TDT .....	34
2.2	Método de análisis de la calidad perceptual de las codificaciones .....	35
2.3	Herramienta: Blue Top TS Analyzer .....	36
2.4	Caso de estudio: Cobertura TS Nacional en la provincia de Sancti Spíritus .....	38
2.5	Red de distribución del TS Nacional en la provincia de Sancti Spíritus	40
2.6	Caracterización del TS Nacional de SD.....	42
2.6.1	Desempeño de la recomendación TR 101 290 del TS Nacional .....	42
2.6.2	Señalización DVB-SI/PSI transmitida del TS Nacional .....	44
2.6.3	Desempeño de los programas y servicios del TS Nacional.....	44
2.6.4	Desempeño del canal de transmisión del TS Nacional.....	48

2.7	Necesidades regionales de inserción de contenido en la provincia de Sancti Spíritus.....	49
2.8	Conclusiones parciales.....	50
CAPÍTULO 3. Evaluación de la propuesta realizada .....		51
3.1	Selección de la tecnología para inserción de contenido .....	51
3.2	Propuesta tecnológica .....	52
3.3	Topología de red para inserción de contenido al TS Nacional.....	53
3.4	Configuración de la propuesta tecnológica .....	53
3.5	Análisis de resultados del TS Regional .....	56
3.5.1	Resultados del Test basado en la Recomendación TR 101 290 .....	56
3.5.2	Señalización DVB-SI/PSI transmitida .....	57
3.5.3	Análisis de la razón de bit del códec de audio HE-AACv2.....	59
3.5.4	Análisis del Canal TS Regional con dos programas de radio .....	60
3.6	Análisis del TS Nacional sustituidos los componentes MPEG-1 por MPEG-4 AAC-HEv2.....	61
3.7	Resultados de la calidad subjetiva de las codificaciones.....	63
3.8	Análisis económico de la propuesta .....	64
3.9	Conclusiones parciales.....	66
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		67
	Conclusiones .....	67
	Recomendaciones .....	69
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....		70
ANEXOS .....		73
Anexo 1	Estructura de un Transmisor DTMB. Fuente: [51].....	73

Anexo 2	Tecnologías de codificación de audio del codificador EM2000. Fuente: Propia .....	74
Anexo 3	Sintaxis de configuración AAC del codificador EM2000. Fuente: Propia .....	74
Anexo 4	Generación de servicios AAC-HEv2 del codificador EM2000. Fuente: Propia .....	75
Anexo 5	Estrategia de sustitución de componentes. Fuente: Propia .....	75
Anexo 6	Resultados de la información de servicios del TS Regional. Fuente: Propia .....	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		77

## INTRODUCCIÓN

La Televisión Digital Terrestre (TDT) constituye un salto cualitativo y cuantitativo de lo que se conocía hasta ahora como televisión analógica. La necesidad de una mejor experiencia de usuario integrada por una mayor resolución de píxeles en la pantalla, un sonido multicanal que inunde la realidad donde transcurre para percibir y escuchar la información ha motivado un desarrollo vertiginoso de esta tecnología en los sistemas de telecomunicaciones. El concepto digital abarca todas las etapas de estos sistemas, desde la formación de contenido en los estudios de televisión o radio, codificación, multiplexación y su transporte sobre diferentes medios de comunicación en forma de señal radioeléctrica en las bandas de televisión VHF y UHF, por solo citar algunas.

En materia de radiodifusión digital independiente de la norma TDT adoptada por cualquier país, las técnicas de codificación de audio y video, han sido y siguen siendo parte esencial de este vertiginoso impacto en la sociedad de la información. Sin estas herramientas sería imposible visualizar mayor cantidad de programas y servicios sobre un mismo canal de televisión, o disfrutar de los avances en aplicaciones multimedia, videoconferencias, entre otras. El objetivo principal de estos algoritmos es comprimir las señales originales de audio o video a un formato digital con la menor pérdida posible de información respecto al original. En este aspecto asume un rol esencial el Grupo de Expertos de Imágenes en Movimiento (MPEG, *Motion Picture Expert Group*), perteneciente a un subcomité de Organización Internacional de Normalización/Comisión Electrotécnica Internacional (*International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission*, ISO/IEC) el cual es el encargado del desarrollo de estándares para la

compresión, descompresión, procesado y codificación de imágenes animadas, audio o la combinación de ambas. MPEG define la sintaxis de las señales digitales correspondientes a audio y video, describe su estructura, contenido y regula el funcionamiento de decodificadores estandarizados. Los estándares MPEG se desarrollan en fases numeradas, por lo que la especificación MPEG-2 no es una sustitución de MPEG-1 sino una ampliación o complemento del mismo.

El Ministerio de las Comunicaciones (MINCOM), luego de realizar varias pruebas tecnológicas de los diferentes estándares de TDT aclimatados a Cuba, decidió adoptar el estándar de TDT DTMB de procedencia China en su variante 6, tarea coordinada a través de diversas entidades como la empresa. En este escenario convergen varias empresas nacionales cada una con un rol específico, entre ellas podemos citar, RadioCuba encargada de los servicios de radiodifusión de señales de Radio y Televisión, enfrascada en el proceso de transición tecnológica de la señal analógica a la señal digital hasta el año 2021, fecha en la cual ocurrirá el apagón analógico. La Empresa de Telecomunicaciones de Cuba (ETECSA) encargada de la distribución a nivel nacional de este contenido y el Instituto Cubano de Radio y Televisión (ICRT), encargado de la generación de contenido para los programas de radio y televisión. Este conjunto conforma el resultado que perciben los usuarios cuando reciben la señal digital.

En el momento de confección de este trabajo, coexistían en el entorno radioeléctrico de todas las provincias un canal de TDT con señal de televisión de resolución en formato estándar y en algunas otras un canal de TDT con señal de televisión de alta definición, ambos de procedencia nacional. El canal de televisión estándar trasmite 8 programas de televisión y 9 programas de radio, además de un servicio de interactividad, sin embargo, en cada provincia queda fuera de este flujo nacional el contenido de las emisoras de radio provincial. A partir de esta problemática surge el siguiente **problema científico**:

¿Cómo insertar los programas de radio de la provincia de Sancti Spíritus en el flujo de la TDT sin afectar el contenido nacional?

Para dar solución al problema, se planteó como **objetivo general de la investigación**:

Analizar el desempeño de una propuesta tecnológica para la inserción de los programas de radio en el flujo de la TDT en la provincia de Sancti Spíritus.

Para dar cumplimiento al objetivo general se plantean como **objetivos específicos**:

1. Caracterizar las tendencias actuales de codificación de audio en materia de radiodifusión digital terrestre.
2. Caracterizar la arquitectura, contenido y distribución del flujo de la TDT Nacional tomando como objeto de estudio la provincia de Sancti Spíritus.
3. Realizar una propuesta para la inserción del contenido regional al flujo de la TDT Nacional.
4. Evaluar su desempeño con respecto al flujo nacional de TDT.

A partir de cada objetivo específico se crean interrogantes científicas a las cuales se les dan respuestas en el desarrollo de la investigación:

1. ¿Cuáles son las tendencias actuales de codificación de audio, multiplexación y transmisión en materia de radiodifusión digital?
2. ¿Cuál es la situación actual que presenta el contenido y distribución del flujo de la TDT transmitido en la provincia de Sancti Spíritus?
3. ¿Qué propuesta tecnológica para codificación y multiplexación de audio podría utilizarse para lograr este objetivo?
4. ¿Cómo evaluar el comportamiento cualitativo, cuantitativo, subjetivo y económico de la propuesta tecnológica?

La investigación se desarrolló usando los siguientes métodos:

- Método teórico inductivo deductivo, hipotético deductivo y método teórico de análisis síntesis, los cuales se emplearon para la generalización de los resultados obtenidos.
- La simulación se empleó como método empírico para evaluar el comportamiento de los elementos del diseño de la red propuesta.

Con la realización de este trabajo se espera demostrar la posibilidad de insertar los programas de radio de la provincia, así como las ventajas que podría traer el uso del códec de audio MPEG-4 (HE-AAC v2) respecto a MPEG-1 capa dos en la transmisión de la TDT en Cuba.

Como resultados del presente trabajo se espera:

- Un material de estudio para la futura implementación de servicios regionales en la TDT en Cuba.
- Caracterizar el flujo de TDT que actualmente se transmite.
- Una propuesta tecnológica viable para garantizar los servicios de TDT con los valores agregados deseados.

El presente trabajo se encuentra conformado por: introducción, tres capítulos, conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos. Los contenidos que se abordan en cada capítulo se estructuran de la siguiente forma:

En el primer capítulo se hace una reseña bibliográfica de todos los temas relacionados con la elaboración del trabajo, en aras de lograr una mejor comprensión de los temas abordados. Se comienza con una revisión bibliográfica y estado del arte de las tecnologías de codificación de la fuente, tanto de audio como de video, haciendo énfasis en los códec propuestos para la radiodifusión según la UIT y los utilizados en Cuba. Además, se abordan las técnicas de multiplexación y señalización para entornos de radiodifusión digital y tendencias en materia de sistemas de transmisión de televisión digital terrestre.

En el segundo capítulo se describen los métodos y herramientas para caracterizar el flujo de TDT. Además, se realiza un análisis del flujo TS Nacional en la cual se escoge como referencia la provincia de Sancti Spíritus, se describen las propiedades del mismo de forma cualitativa y cuantitativa a través del analizador Blue Top TS Analyzer y se definen las necesidades regionales de inserción de contenido. A modo de conclusión se crea una propuesta de cambio de codificación de la norma de audio implementada y se exponen los resultados del TS nacional.

---

En el tercer capítulo se expone la propuesta tecnológica para la inserción de contenido en el flujo Nacional de TDT para dos codificaciones MPEG-4 HE-AACv2 y MPEG-1 capa dos, además se analiza el comportamiento del flujo nacional con todos los componentes de audio en MPEG-4 AAC HEv2 en aras de valorar su desempeño. En post de corroborar la idoneidad del nuevo escenario, se realiza un análisis en cuanto a las métricas del TS y análisis subjetivo mediante el MOS, para finalizar con las conclusiones.

## **CAPÍTULO 1. Tecnologías de codificación y transporte de TDT**

En el presente capítulo se realiza una revisión bibliográfica y estado del arte de las tecnologías de codificación de la fuente, tanto de audio como video, con énfasis en los códec propuestos para la TDT según la UIT y los utilizados en Cuba. Además, se abordan las técnicas de multiplexación y señalización para entornos de radiodifusión digital y tendencias en materia de sistemas de transmisión de televisión digital terrestre.

### **1.1 Televisión Digital Terrestre: Situación Global**

El término Televisión Digital Terrestre (TDT) es la aplicación de un conjunto de tecnologías mediante el cual la generación, distribución, transmisión y recepción de señales de televisión ocurren en un entorno completamente digital, con el empleo de los canales licenciados de las bandas de frecuencias VHF/UHF, ya que existen otras variantes como Cable, Satelital o IP por citar algunas. Según la Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT) a finales del 2015 muchos países estaban en fase de transición o simultaneidad de la Televisión Analógica a la TDT. Mientras que otros ya tenían desplegado completamente este tipo de tecnología. A nivel mundial existen cuatro estándares o sistemas para el dominio de la TDT en la banda de televisión [1], los cuales son:

- (ATSC, *Advanced Television Systems Committee*): Desarrollado por los Estados Unidos y adoptado por el Buró Federal de las Comunicaciones (FCC, *Federal Communications Commission*) e implementado principalmente en Norteamérica. Ha evolucionado hacia la versión ATSC 3.0. Se denomina sistema A por la UIT.

- (DVB-T, *Digital Video Broadcasting Terrestrial*). Desarrollado en Europa por la organización DVB y adoptado por la inmensa mayoría de los países. Ha evolucionado hacia la versión DVB-T2. Se denomina sistema B por la UIT.
- (ISDB-T, *Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial*). Desarrollado en Japón. Teniendo una variante desarrollada para los países de América Latina, cuyo pionero fue Brasil, la versión ISDB-Tb, segundo en cantidad de países en implementación. Se denomina sistema C por la UIT.
- (DTMB, *Digital Terrestrial Multimedia Broadcasting*). Desarrollado en la República Popular China. Constituye el de menor grado de implementación por países, evolucionando hacia la versión DTMB-A. Se denomina sistema D por la UIT.

Un análisis comparativo en [1, 2] entre estos sistemas releva que en todos se converge a una evolución paulatina a mejorar factores relacionados con la técnica de modulación del canal para la recepción fija, móvil o portable, haciendo énfasis en aspectos como: robustez ante la interferencia multitrayecto, aumento de la capacidad de la razón de bits del canal y eficiencia espectral en conjunto con otras técnicas que mejoran el área de cobertura de la señal radioeléctrica. Dando evidencias que la elección de una norma de TDT depende de las regulaciones, características económicas y sociales, así como el desempeño de la propagación radioeléctrica de estos sistemas en una nación.

Por otra parte, un análisis *roadmap* o hoja de trayectoria en vistas al 2030 de las entidades Grupo de Acción de Televisión Digital (DigiTAG, *Digital Television Action Group*), UIT, IEEE Broadcast y Ofcom sobre la evolución de los sistemas de TDT revela que la misma se comporta en forma de generaciones, asociado al tipo de transmisión, codificación y formato de la fuente, como se observa en la figura 1.1, principalmente motivado por el aumento de la resolución de la señal de video y nuevas generaciones de códec, no así para los servicios de audio donde la evolución avanza lentamente en un ambiente de sonido multicanal [3, 4].

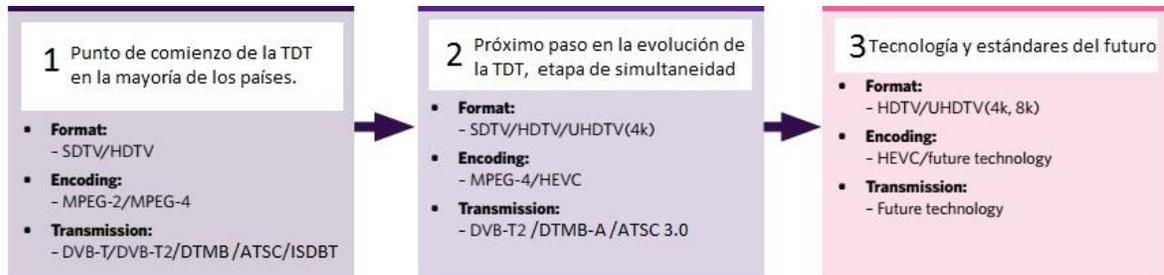


Figura 1.1: Evolución de las generaciones de TDT. Fuente modificada: [5]

En la actualidad la mayoría de los sistemas se encuentran en evolución hacia la tercera generación, lo cual ha motivado un aumento significativo de la cantidad de receptores de TDT y su grado de penetración en diversas modalidades, como se muestra en la figura 1.2, en consonancia con la generación de nuevos servicios de televisión de Ultra Alta Definición (UHD, *Ultra High Definition*) [6], lo que facilita el acercamiento de las sociedades hacia las nuevas tecnologías de la información y la necesidad de continuar su desarrollo e investigación.

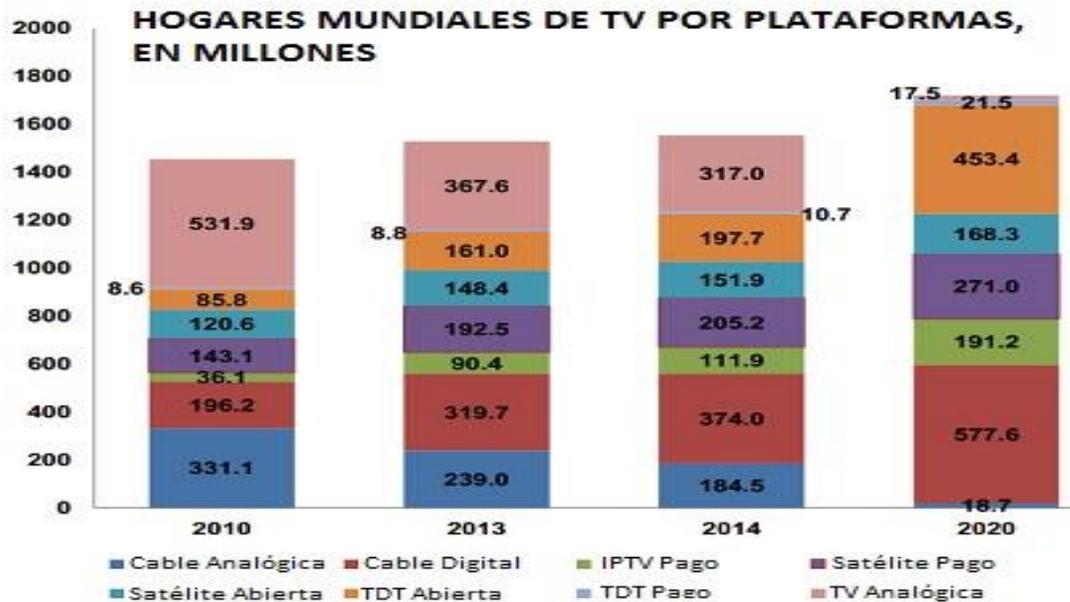


Figura 1.2: Grado de penetración de la TDT. Fuente modificada: [7]

### 1.1.1 Televisión Digital en Cuba: Estándar DTMB

En Cuba, luego de varios años de estudios y la realización de pruebas técnicas con cada una de ellas, en mayo del 2013 el Instituto de Investigación y Desarrollo de

Telecomunicaciones (Lacotel), anunció la adopción del estándar de procedencia china DTMB en su variante 6 y definido en la norma GB 20600-2006. Variante que emplea un canal con ancho de banda de 6 MHz, mientras que el apagón analógico ocurrirá en el 2023.

DTMB permite razones de bits de transmisión de 4.813 Mbps a 32.486 Mbps dentro de un canal convencional de televisión UHF/VHF. Puede trabajar en distintas redes de difusión de la señal de TDT, como Redes de Múltiples Frecuencias (MFN, *Múltiple Frequency Network*) y Red de Frecuencia Única (SFN, *Single Frequency Network*). Posee varios modos y parámetros de modulación los cuales pueden ser escogidos sobre la base del tipo del servicio, el sistema también respalda operaciones de modo MFN y SFN mezclados [8]. DTMB permite la modulación de única portadora y de múltiples portadoras, la razón de transmisión de bits del canal se puede calcular a través de la ecuación 1.1.

$$\text{Razón} = \frac{3744}{PN+C} * Ri * Rm * 5,67Mbps \quad (\text{Ecuación 1.1})$$

En la cual:

- PN: Longitud de la cabecera, (420,545,945).
- Rm: Eficiencia del esquema de modulación, (2,4,5,6).
- Ri: Eficiencia del FEC, (0.4= 3008/7488, 0.6= 4512/7488, 0.8 = 6016/7488).
- C: Cantidad de portadoras, (1,3780).

En Cuba, en esta primera etapa, de acuerdo a la programación que se quiere brindar para este tipo de servicio, se ha seleccionado el siguiente modo de transmisión: FEC=0.6, Rm=6, PN=420 y C=3780, con una constelación de símbolos 64QAM, permite una razón de bits máxima de 18.274 Mbps. La estructura de un transmisor DTMB se puede observar en el anexo 1, el cual muestra que la interfaz de entrada está constituida por un Flujo de Transporte MPEG-2 (MPEG2-TS, MPEG-2 *Transport Stream*) que constituye objeto de análisis en esta tesis.

## 1.2 Arquitectura de un sistema de TDT

Según la recomendación UIT-R BT.1299-1 del 2010, los elementos comunes que forman la arquitectura general de un sistema de TDT independiente de su norma, se muestra en la figura 1.3.

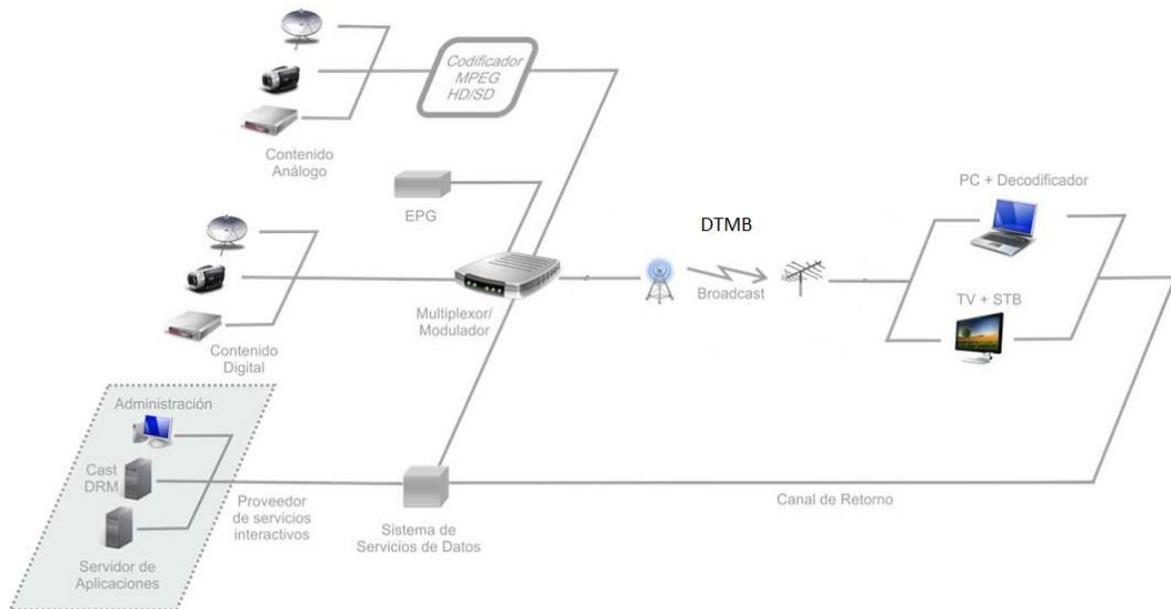


Figura 1.3: Arquitectura general de un sistema de TDT. Fuente Modificada: [9]

La cual está constituida por varios subsistemas los cuales son:

- Subsistema de codificación de la fuente en banda base: Encargado de estandarizar el intercambio de información entre las fuentes de audio y video en los estudios (etapa de contribución) de radio o televisión en banda base y compresión de la misma.
- Subsistema de multiplexación/transporte de servicios: Encargado de la multiplexación de programas y servicios, la señalización y la transmisión en forma de flujo TS sobre un estándar de transmisión de telecomunicaciones.
- Subsistema modulación y codificación del canal de televisión: Norma de TDT implementada por el país en nuestro caso DTMB (etapa de emisión).

El subsistema de codificación de la fuente en banda base y el subsistema de multiplexación y transporte de servicios conforman en la literatura técnica lo que se conoce como *head end* o cabecera de línea, nodo en el cual se conforma, a través

de un conjunto de equipos, un flujo TS con carácter Nacional para un país denominado **TS Nacional** y que constituye objeto de estudio en esta investigación. En el entorno de Cuba estos subsistemas conforman el flujo de la TDT en los estudios centrales del ICRT, en conjunto con Radiocuba y ETECSA. Este **TS Nacional** puede ser modificado a través de una regionalización en un nodo fuera de la cabecera de línea en el cual se pueden modificar parámetros en dependencia de las necesidades del operador como sustitución, eliminación o inserción de determinado programa o servicio. Lo cual conlleva la formación de un **TS Regional** para una determinada zona o región de un país.

### 1.3 Tecnología de codificación de la fuente para TDT

La codificación de la fuente constituye uno de los eslabones más importantes en un sistema de TDT. En ella se realiza la compresión de las señales de audio y video en un Flujo Elemental (ES, *Elementary Stream*) los cuales se fraccionan para conformar un Flujo Elemental de Programa (PES, *Program Elementary Stream*), de acuerdo a los estándares propios de cada país.

#### 1.3.1 Características de los flujos elementales de audio y video

Un flujo elemental de video para radiodifusión digital se basa en tres componentes de la señal de video digitalizadas a través de la Modulación por Impulso Codificado (PCM, *Pulse Code Modulation*), las cuales son: Y (luminancia), Cr (crominancia roja) y Cb (crominancia azul) con formato de 4:4:4 o 4:2:2, a 10 bits o 12 bits de resolución para intercambio de programas en la etapa de contribución o estudios de televisión, con formato 4:2:0 a 8 bit de resolución para emisión de programas de radiodifusión de TDT. El muestreo de la señal de video puede ser de progreso o entrelazado en dependencia del destino al cual sea dedicado. La serie BT de la UIT define tres resoluciones para el intercambio de programas, las cuales son:

- Definición Estándar (SD, *Standar Definition*), recogido en la recomendación UIT-R BT.601, con dos resoluciones o formato de imagen: 720x525 y 720x625 pixeles y a una razón de fotogramas de hasta 60 fps.

- Alta Definición (HD, *High Definition*), recogido en la recomendación ITU-R BT. 709, con dos resoluciones: 1280×720 pixeles (HD) o 1920×1080 pixeles (Full HD) y a una razón de fotogramas de hasta 60 fps.
- Ultra Alta Definición (UHD, *Ultra High Definition*), recogido en la recomendación ITU-R BT.2020, con dos resoluciones: 7 680 × 4 320 (8K) y 3 840 × 2 160(4K) pixeles y a una razón de fotogramas de hasta 120 fps.

Esta evolución en incremento de la resolución de video constituye uno de los motores impulsores de la TDT debido al aumento de la calidad perceptual de los usuarios. Por su parte los operadores de radiodifusión y entidades internacionales como la UIT recomiendan introducir formatos de mayor resolución progresivamente en la etapa de contribución para mejorar la calidad de las emisiones de inferior resolución. Esto generaría una mayor información espacial y temporal a la entrada de los equipamientos codificadores. Las interfaces para manipular estas muestras en formato digital son la Interfaz Serie Digital (SDI, *Serial Digital Interface*) definido en la ITU-R-BT 656, SDI de Alta Definición (SDI-HD, *SDI High Definition*), o SDI de Tercera Generación (SDI-3G, *SDI 3 Generation*), esta última la de mayor capacidad de transmisión [6, 10].

Un flujo elemental de audio para radiodifusión digital se basa en señales de audio monofónico, estéreo o multicanal con capacidad de hasta 24 canales de audio según la recomendación ITU R BS.2159-4 del 2012. Todas las fuentes de audio para mayor calidad deben estar digitalizadas en PCM con resolución mínima de 20 bits o más para contribución o estudios, 18 bits para distribución o intercambio, y mínimo de 16 bits para emisión [11]. En todos ellos una frecuencia de muestreo de 48 KHz para los canales de audio principales, ejemplo Izquierdo/Derecho y un ancho de banda de 20 Hz hasta 20 KHz. En caso de existir un canal de Emisión de Baja Frecuencia (LFE, *Low Frequency Emision*) su ancho de banda estará de 15 Hz a 120 Hz. La configuración típica de audio para contribución puede observarse en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1: Configuración de canales para servicios de audio. Fuente: [12]

N.º de canales	Configuración de los canales	Asignación del canal
1 canal	1/0	Monofónico
2 canales	2/0	Izquierda, derecha
3 canales	3/0 2/1	Izquierda, derecha, centro Izquierda, derecha/ambiente
4 canales	3/1 2/2	Izquierda, derecha, centro/ambiente Izquierda, derecha/ambiente izquierda, ambiente derecha
5 canales	3/2	Izquierda, derecha, centro/ambiente Izquierda, ambiente derecha

En este punto la tendencia según la UIT y los operadores de radiodifusión es el empleo de sonido multicanal, pero con compatibilidad hacia audio estéreo. Configuraciones típicas 5.1 o 6 canales de audio dan la posibilidad de emular la ubicación espacial con esta tecnología por parte del espectador lo cual provee una buena calidad y experiencia de usuario. Las interfaces para manipular estas muestras de audio son (*AES3/EBU*, *Audio Engineering Society/European Broadcasting Union*), o multiplexado en los formatos SDI analizado anteriormente, o en su defecto analógica sobre un canal balanceado.

#### 1.4 Tecnología de codificación de video para TDT

Las elevadas razones de bits para transmisión de los flujos elementales de audio/video hace necesaria la adopción de un estándar de codificación de video definido por la UIT para ambientes de TDT. En este aspecto juega un rol importante el conjunto de estándares MPEG los cuales impulsan el desarrollo y compresión de señales digitales de audio y video. MPEG define sus estándares en partes y capas para ser identificados unos respecto a otros. En Cuba mediante resolución 230/2014 [13], se define el empleo de los siguientes códec de video:

- Recomendación ITU-T H.262 | ISO/IEC 13818-2 (MPEG-2 Video)
- Recomendación ITU-T H.264 | ISO/IEC 14496-10 (MPEG-4)
- Recomendación IEEE Std. 1857™-2013 (AVS+ o AVS-P16)

En un comienzo se adoptó el códec de procedencia China Estándar de Codificación de Audio/Video AVS (*AVS*, *Audio Video Coding Standard*), el cual tiene un

desempeño cercano a H.264 y que no será objeto de análisis en esta tesis. Sin embargo, en la actualidad se decidió el empleo del códec H.264 con ánimo de estandarizar la codificación de video. Según la recomendación UIT-R BT.1870 [14] coexisten tres técnicas de compresión de video recomendadas para los sistemas de TDT, ellas son:

- Recomendación ITU-T H.262 | ISO/IEC 13818-2 (MPEG-2 Video)
- Recomendación ITU-T H.264 | ISO/IEC 14496-10 (MPEG-4 AVC)
- Recomendación ITU-T H.265 | ISO/IEC 23008-2 (MPEG-H HEVC)

Estas, en conjunto con ITU-R BT.2073 [15] recomiendan el empleo de la Codificación de Video de Alta Eficiencia (HEVC, *High Efficiency Video Codec*) o H.265 en las nuevas emisiones donde sea posible. Uno de los aspectos más significativos de este códec es que duplica la relación de compresión de datos con la misma calidad de vídeo en comparación con H.264, con soporte para resoluciones 8K UHD y razón de fotogramas de hasta 300 fps. Como desventaja se puede citar su elevada necesidad de cálculo computacional que puede llegar hasta 300% respecto a H.264.

### 1.5 Tecnología de codificación de audio para TDT

Al igual que la compresión de video, en el entorno de Cuba para los componentes de audio del flujo de la TDT según la resolución 230/2014 [13] se define el empleo de los siguientes códec de audio:

- ISO/IEC 13818-3 Capa 2 (MPEG-2 Parte 3 Capa 2) para los programas de radio y televisión de definición SD y HD.
- ISO/IEC 14496-3 (MPEG-4 Parte 3 Sub-parte 4 AAC) para programas de televisión de definición HD.

Mientras que la recomendación ITU-R BS.1196 [16] sugiere varias técnicas de compresión digital de audio en ánimo de estandarizar la codificación entre sistemas de TDT, ellas son:

- MPEG-1 Capa II, especificado en la norma ISO/IEC 11172-3:1993
- MPEG-2 Capa II, especificado en la norma ISO/IEC 13818-3:1998

- MPEG-2 AAC-LC o MPEG-2 AAC-LC con SBR especificado en la norma ISO/IEC 13818-7:2006
- MPEG-4 AAC-LC especificado en la norma ISO/IEC 14496-3:2009
- MPEG-4 HE AAC v2 especificado en la norma ISO/IEC 14496-3:2009
- AC-3 especificado en la norma ETSI TS 102 366 (2014-08)

A su vez se recomienda donde no haya necesidad de compatibilidad con antiguos equipamientos y transmisiones el uso de técnicas de codificación más avanzadas de baja razón de bit como:

- Extended HE AAC especificado en la norma ISO/IEC 23003-3:2012;
- E-AC-3 especificado en la norma ETSI TS 102 366 (2014-08);

Lo cual se observa como una tendencia para futuras emisiones de audio. A modo general todas estas técnicas de compresión de audio con pérdida emplean una codificación basada en filtros de sub bandas de frecuencias, en auxilio de las cualidades del modelo psico-acústico de la audición humana e imposibilidad del oído de discernir discretamente las frecuencias cercanas. Estos filtros varían en dependencia del códec y en conjunto con diferentes algoritmos y tecnologías propias de cada estándar en función de la razón de bit del codificador, se determina la calidad subjetiva del audio comprimido [17].

Por lo que un análisis de la codificación de audio MPEG permitiría elegir la codificación óptima de los componentes de audio en los programas que se van a transmitir. A continuación, se resumen las características fundamentales de cada uno. En esta tesis se obvia la codificación de familia AC-3 ya que forma parte de la norma americana ATSC y la resolución del MINCOM tiene una tendencia general a los estándares de la familia MPEG.

### **1.5.1 Códec MPEG-1 capa dos**

El códec MPEG-1 capa dos está definido por el estándar ISO/IEC 11172-3 codifica hasta dos canales (estéreo o mono dual) con frecuencia de muestreo hasta 48 kHz a razones de bits comprendidas en una gama de 32 a 192 kbit/s por canal de audio

monofónico y 64 a 384 kbit/s por canal de audio estereofónico. Este códec es recomendado por la UIT en la etapa de contribución y emisión debido al bajo retardo de codificación, sin embargo, su razón de bits es elevada para lograr calidad de audio cercana a Disco Compacto, (CD, *Compact Disc*) y no tiene soporte multicanal.

### **1.5.2 Códec MPEG-2 AAC-LC**

El códec MPEG-2 con Codificación de Audio Avanzado de Baja Complejidad (MPEG-2 AAC-LC, MPEG-2 *Advanced Audio Coding Low Complexity*) especificado en la norma ISO/IEC 13818-7 es capaz de proporcionar la misma calidad subjetiva que MPEG-1 con una razón de bits notablemente inferior, a costa de un claro aumento de la complejidad computacional, incluso en el perfil más básico descrito en la norma. Es un códec con soporte hasta 48 canales, y frecuencia de muestreo hasta 96 kHz. Su desarrollo sirvió de base para la nueva generación de códec de audio MPEG-4. El códec está constituido por tres perfiles, entre los cuales se establece un balance entre memoria, cálculo computacional y calidad de audio, además pierde la compatibilidad con los estándares anteriores MPEG-1 y MPEG-2 de audio.

### **1.5.3 Códec MPEG-4 AAC-LC**

MPEG-4 AAC-LC especificado en la norma ISO/IEC 14496-3 no es más que una extensión de MPEG-2 AAC. Es un sofisticado códec de audio que posee 1024 sub bandas lo cual provee mayor resolución de audio que sus antecesores, a razones de bit de 128-192 kbps para señales estéreo y 320 kbps para audio multicanal (5.1). Soporta hasta 48 canales de audio y frecuencia de muestreo hasta 192kHz. Implementa técnicas de codificación avanzadas como la codificación Huffman, Análisis de Ruido temporal (TNS, *Temporal Noise Shaping*) y la Sustitución Perceptual de Ruido (PNS, *Perceptual Noise Substitution*), todas estas características convergen a que un audio codificado en MPEG-4 AAC a 96kbps produce la misma calidad que un audio codificado a MPEG-1 capa dos a 192kbps. Como deficiencias podemos un ligero aumento del retardo de codificación. A partir

de esta instancia de códec surge una familia de codificadores como se muestra en la figura 1.4.

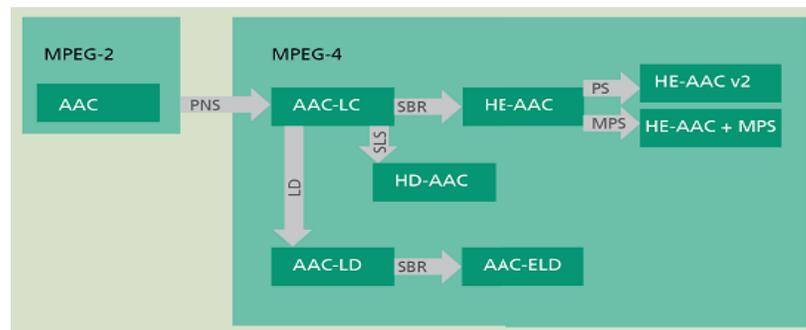


Figura 1.4: Familia del codificador MPEG4 AAC. Fuente: [18]

#### 1.5.4 Códec MPEG-4 HE-AAC

El códec MPEG-4 AAC de Alta Eficiencia (MPEG-4 HE-AAC, MPEG-4 *High Efficiency AAC*) o aacPlus es un codificador MPEG-4 AAC-LC con un preprocesador de Replicación de Banda Espectral (SBR, *Spectral Band Replication*) [19], definido en ISO/IEC 14496-3:2001, en busca de mantener una excelente calidad de audio con una reducción del 30% de la razón de bit respecto a MPEG-4 AAC-LC [18]. Esta reducción se logra mediante la herramienta SBR que codifica las altas frecuencias de la señal de audio mientras que las bajas frecuencias son codificadas por otro codificador MPEG-4 AAC-LC para luego ser multiplexados. La razón de bits obtenida por MPEG-4 HE-AAC es de 48-64 kbps para señales estéreo y 160 kbps para señales multicanal (5.1). MPEG-4 HE-AAC soporta frecuencias de muestreo hasta 192 kHz y hasta 48 canales de audio [18].

#### 1.5.5 Códec MPEG-4 HE-AACv2

El códec MPEG-4 AAC de Alta Eficiencia versión dos (MPEG-4 HE-AACv2, MPEG-4 *High Efficiency AAC version two*), también conocido como aacPlus v2 es la segunda versión de MPEG-4 HE-AAC. MPEG-4 HE-AACv2, definido en la ISO/IEC 14496-3:2009, surge de la combinación de las tecnologías MPEG-4 HE-AAC con la herramienta Estéreo Paramétrico (PS, *Parametric Stereo*). El uso del PS permite aumentar la eficiencia en la codificación respecto al MPEG-4 HE-AAC mediante la

explotación de una representación paramétrica de la señal estéreo de entrada. El resultado es una razón de bits más baja manteniendo la misma calidad del audio que MPEG-4 HE-AAC. En la práctica por debajo de los 48kpbs, 24-32 kbps para una señal estéreo [18].

Las tecnologías AAC, SBR y PS son los componentes básicos del perfil MPEG-4 HE-AAC v2. El códec MPEG-4 AAC se utiliza para codificar la banda de frecuencias bajas, la tecnología SBR codifica la banda de frecuencias altas, y PS codifica la señal estéreo de forma parametrizada. La figura 1.5 muestra una simbiosis de estas tecnologías.

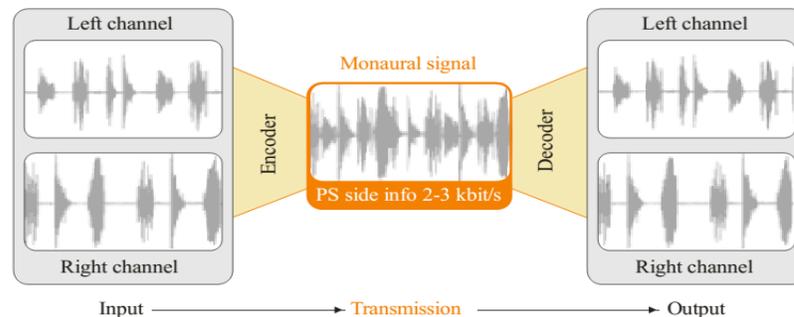


Figura 1.5: Simbiosis de la codificación HE-AACv2. Fuente: [16]

### 1.5.6 Códec MPEG-4 HE AAC Extendido

El códec MPEG-4 de Alta Eficiencia AAC Extendida (*Extended MPEG-4 HE AAC*), es el más avanzado de la familia MPEG-4 AAC y está definido en la recomendación ISO/IEC 23003-3, o MPEG-D. Incluye la tecnología Codificación de Audio y Discurso Unificado (USAC, *Unified Speech and Audio Coding*), una técnica de codificación avanzada con soporte de bajas razones de bits en dependencia del contenido de audio como discursos, audio general o combinación de ambas con lo cual se logra una mejora perceptual de la calidad. Soporta frecuencias de muestreo hasta 96kHz, audio multicanal y puede entregar buena calidad de audio por canal a razones de bits de 12kbps hasta 64kbps para una señal estéreo, manteniendo el ancho de banda completo de la señal de audio, sin embargo, su cálculo computacional es muy elevado debido al empleo de todas estas tecnologías. Es uno de los códec recomendado por la UIT-R para las nuevas emisiones de audio digital.

## 1.6 Tendencias de codificación de audio aplicable a Cuba.

Para la elección de un códec aplicable al entorno de Cuba, sería necesario el análisis de comportamiento de los siguientes parámetros:

- Grado de compresión **R**: definido como la razón de bits entre el audio PCM calidad CD a la entrada del codificador y la razón de bits a la salida del mismo.
- Calidad perceptual: métrica obtenida a través del empleo de algunas de las técnicas de análisis de calidad subjetiva
- Retardo de codificación: tiempo promedio que se utiliza para la codificación de una muestra de audio en el codificador digital.
- Capacidad Multicanal: soporte de múltiples canales principales de audio para crear la sensación envolvente al espectador.

Una tabla comparativa de los diferentes codificadores para una señal estéreo como se transmite actualmente en la TDT en Cuba se puede observar en la Tabla 1.2. La cual arroja un comportamiento similar a UIT-R BS.1548 [12]. En esta comparación se excluye Extended HE-ACC ya que no se encuentra en la recomendación 230/2014 del MINCOM, aunque teóricamente es el que posee una mejor eficiencia de la familia AAC, seguido de HE-ACC v2. En ella se muestra una clara ventaja HE-ACC v2, respecto a su grado de compresión y cantidad de sub bandas, mientras que MPEG-1 capa dos resulta el menos favorable en términos de eficiencia según estudios en [20, 21, 22, 12, 23].

Tabla 1.2: Análisis comparativo de diferentes códec de audio. Fuente: [24]

Coding System	Typical Compression Ratio	Subbands	Bit Rate, kbps (stereo)*	Typical Implementation Delay, ms†
MPEG-1 Layer 1	4:1	32	384	19
MPEG-1 Layer 2	6:1	32	256	40
AC-3	7:1	256	192	50
MPEG-1 Layer 3	9:1	576	160	120
MPEG-4 AAC	11:1	1024	128	130
E-AC-3	15:1	256/1536	96	50–150
HDC	15:1	(not disclosed)	96	340
MPEG-4 HE-AAC	29:1	64/1024	48	340
MPEG Surround	32:1	64/1024	140	340

Además, el empleo de HE-ACC v2 permite la migración del audio hacia contenido multicanal, lo cual constituye una tendencia para las nuevas emisiones de audio. La figura 1.6 muestra un análisis reflejado en investigaciones de [25, 26, 18, 27, 28] sobre la evaluación de una gran variedad de códec con audio multicanal, el cual da como resultado una clara superioridad del formato HE-AACv2 respecto a sus predecesores, observe que para una configuración 5.1 con 160kbps se obtiene una calidad de audio excelente.

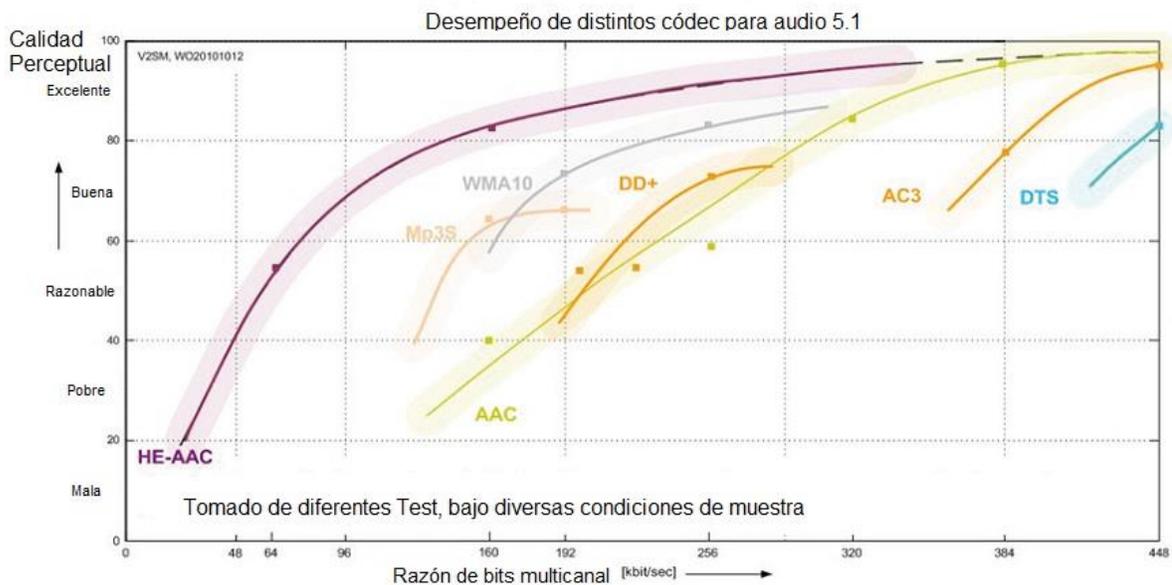


Figure 1.6: Desempeño de la calidad de audio perceptual para distintos códec.

Fuente modificada: [18]

Como resultado de lo antes expuesto, se puede valorar que sería favorable para la codificación del audio en el flujo de la TDT en Cuba, el empleo del códec HE-AACv2. Ya que constituye un miembro de la familia MPEG-4 AAC con baja razón de bit, soporte para contenido multicanal y una óptima calidad de audio perceptual.

## 1.7 Multiplexación y señalización de flujos de TDT

El Subsistema de Multiplexación/Transporte de programas y servicios en un sistema de TDT, es el encargado de segmentar los paquetes PES de longitud variable para un códec de audio/video en paquetes de longitud fija de 184 Bytes de carga útil y 4 Bytes de cabecera, denominado TS. Estos constituyen la unidad base elemental de transmisión para cualquier sistema de TDT, ya sea IP, Terrestre o Satélite, de ahí la importancia de su análisis.

### 1.7.1 MPEG-2 TS

MPEG-2 TS o TS es identificado por valor del campo Identificador de Paquete (PID, *Packet Identifier*) de su cabecera de 4 Bytes, como se muestra en la figura 1.7, su carga útil lo forman 184 Bytes. TS está definido en la norma ISO/IEC 13818-1 o MPEG-2 Sistemas y posee varios campos en la cabecera para sincronización de sistemas y estructura del flujo de TDT.

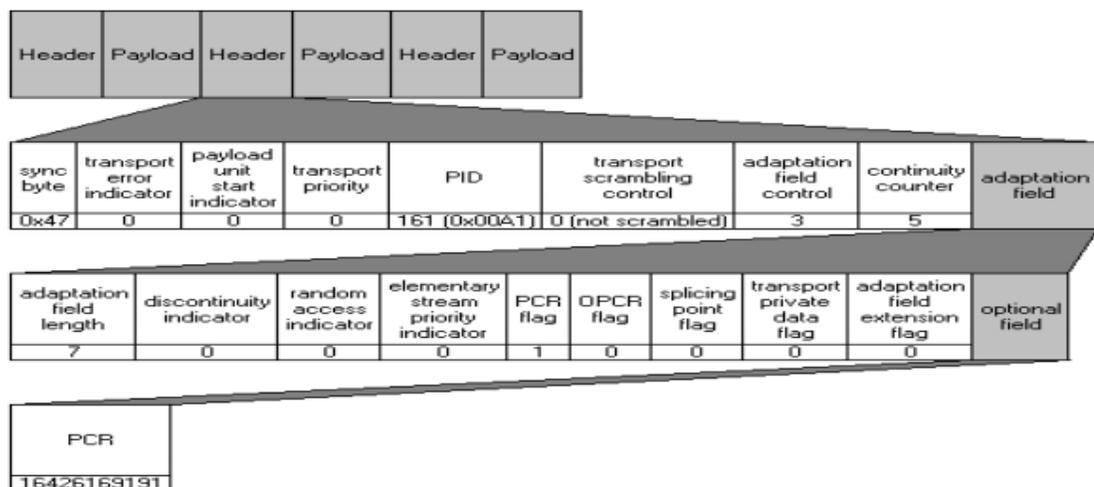


Figura 1.7: Estructura de un MPEG2-TS. Fuente: [29]

La necesidad de sincronizar los PID de audio/video, y el reloj interno en el extremo receptor del decodificador de TDT exige transmitir a intervalos de tiempo en la cabecera del TS un parámetro en el campo de adaptación denominado Reloj de Referencia de Programa (*PCR, Program Clock Recovery*).

PCR debe ser transmitido en un rango entre 40 y 100 ms para mantener el reloj interno del codificador sobre los  $27 \text{ MHz} \pm 810 \text{ Hz}$  y constituye uno de los factores a tener en cuenta en el análisis de flujos de TDT. Los PES de audio y video incluyen Sellos de Tiempo de Programa (*PTS, Program Time Stamp*) que junto al *PCR* permiten la selección del PES de audio/video en el momento exacto a ser decodificado.

### 1.7.2 Señalización DVB-SI/PSI del flujo de TDT

A su vez, en el TS coexisten valores de PID reservados, ejemplo PID con valor 8191 que se refiere a TS cuya carga son bits nulos, u otros en el cual su carga útil se emplea para la señalización de programas y servicios en forma de tablas [30, 31]. Una tabla es un conjunto de datos estructurado permite al receptor reconocer la estructura y reconstruir programas y servicios. La señalización en forma de tablas está integrada por la Información Específica de Programas MPEG-2 (*MPEG-2 PSI, MPEG-2 Program Specific Information*) y la Información de Servicio DVB (*DVB-SI, DVB Service Information*) [32, 33]. La convergencia de estas señalizaciones con los PES puede observarse en la figura 1.8 y 1.9 bajo un modelo de referencia en común.

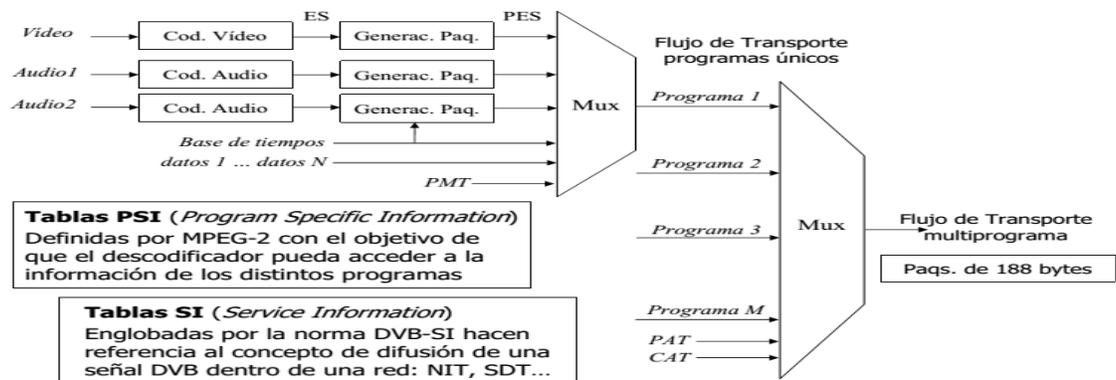


Figura 1.8: Multiplexación general de un sistema de TDT. Fuente: [34]

El conjunto de tablas obligatorias PSI/SI se observa en la figura 1.9, el cual hace un consenso de la recomendación ETSI 300 468 o DVB-SI. Estas tablas transmiten descriptores de brindan información acerca del tipo de programa, códec de audio/video, idioma, hora y fecha, información de la guía electrónica de programa, etc. Su contenido se repite en dependencia del valor PID en intervalos entre 25 ms y 30 s, la razón de bits total de esta señalización en conjunto con la razón de bits nulos del TS no debe exceder los 1.5 Mbits para el canal de transmisión según [30].

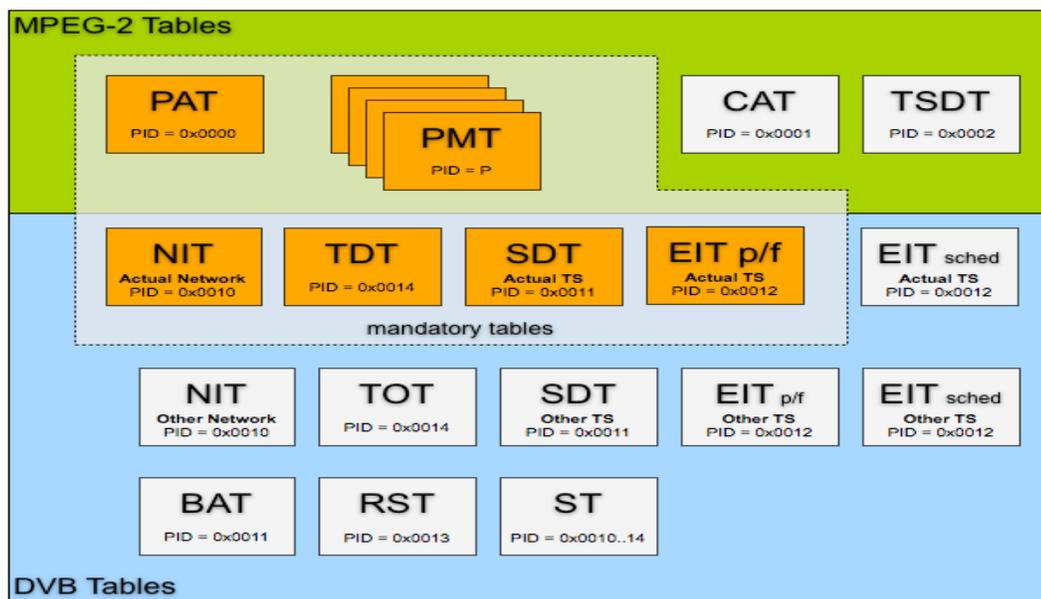


Figure 1.9: Resumen de Tablas de Información de Servicio. Fuente: [30].

### 1.7.3 Técnicas de Multiplexación del flujo de TDT

Todos estos conceptos antes expuestos (PES, PSI/SI, Paquetes nulos) se multiplexan y genera un flujo de TS de TDT. Bajo este concepto se puede generar Flujos de Transporte de Múltiples Programas (MPTS, *Multi Program TS*) y Flujos de Único Programa (SPTS, *Single Program TS*). Su eficiencia está dada por la cantidad de programas y servicios para un canal determinado, su valor típico es cercano al 30% y depende en su mayoría del códec utilizado en función del ancho de banda disponible. Esta relación se muestra en la figura 1.10, según [35, 36]

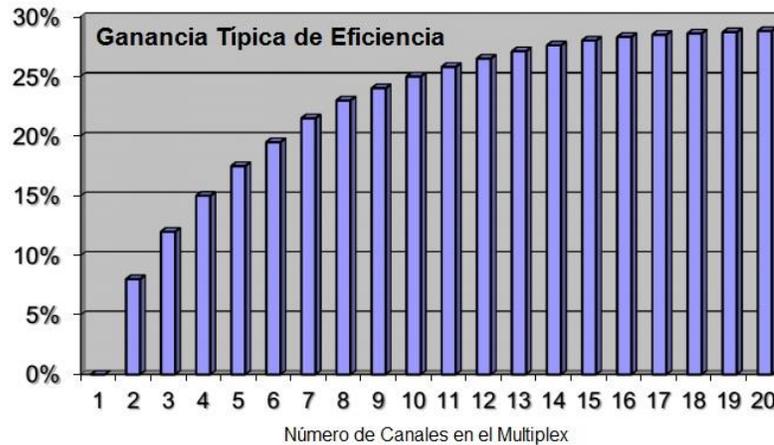


Figura 1.10: Eficiencia de Multiplexación para un flujo TS. Fuente Modificada: [36]

En la literatura no se recoge luego de varias investigaciones una métrica de desempeño de la razón de bits nulos, pero siempre se hace referencia a su necesidad para evitar que el canal se sature y con ello la pérdida o calidad de los programas y servicios. Además, en flujos MPTS el valor *PCR* original de cada programa es correlacionado hacia un nuevo valor debido al espaciado entre programas que permita conservar el valor de la frecuencia de reloj del codificador original [37]. Teniendo en cuenta todos estos parámetros entonces se pueden definir dos tipos de multiplexación como se muestra en la figura 1.11.

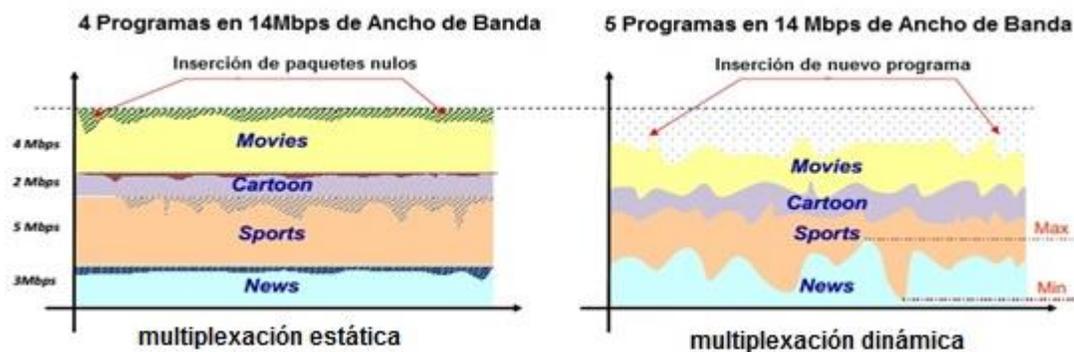


Figura 1.11: Tipos de multiplexación: Estática y Dinámica. Fuente Modificada: [38]

### 1.7.3.1 Multiplexación estática

En la multiplexación estática a cada codificador se le asigna una razón de bit constante (CBR, *Constant Bit Rate*), debido a ello la calidad perceptual para el video

a su salida no es constante, varía en función de la información espacial y temporal de la imagen, lo cual va en detrimento de la cantidad de servicios que se pueden multiplexar en el canal, por lo cual disminuye la eficiencia del mismo. Por lo general los programas de audio conllevan ese tipo de multiplexación.

### 1.7.3.2 Multiplexación dinámica.

En la multiplexación dinámica o estadística cada codificador posee una razón de bit variable (VBR, *Variable Bit Rate*) en dependencia de la complejidad de la fuente. Esta técnica permite un uso más eficiente del canal y la inserción de nuevos programas y servicios, puede ser realizada con o sin realimentación entre el codificador y el multiplexor. Es una técnica muy frecuente para los componentes de video.

## 1.8 Tecnologías para el transporte de flujos TS de TDT

En ambientes de radiodifusión de TDT un flujo generado necesita ser distribuido e intercambiado desde la cabecera de línea hasta las estaciones de TDT. Esta tarea se logra a través de la inserción de los paquetes TS en la carga útil de los estándares de transmisión de los operadores de telecomunicaciones, como IP, PDH, SDH.

La evolución de las redes de transporte hacia la tecnología IP ha motivado una fuerte tendencia de los operadores de radiodifusión hacia el uso de tramas Ethernet/IP [39], motivado por la gran cantidad de dispositivos, estándares y protocolos asociados a esta, en especial la tecnología *multicast*, el Protocolo de Transmisión en Tiempo Real (RTP, *Real Time Protocol*) y las direcciones IP clase D [40]. Para el caso en una trama Ethernet/IP/UDP/RTP pueden ser encapsulados hasta 7 TS, lo cual genera una razón de bits Ethernet en función de la razón de bits total del TS según la ecuación 1.2.

$$MpegEthernetRate = \left[ \frac{78}{n*188} + 1 \right] * MpegTsRate \text{ (Ecuación 1.2)}$$

Por lo general, en esta etapa el proveedor de servicios de telecomunicaciones garantiza la calidad del servicio, frente a factores que pueden afectar la calidad de la transmisión como jitter, retardo excesivo, entre otros.

Otro estándar que se emplea para el intercambio de flujos de TDT, pero en modo unidireccional es la Interfaz Serie Asíncrona o DVB-ASI (DVB-ASI, DVB *Asynchronous Serial Interface*). DVB-ASI está recogido en la recomendación ETSI TR 101 891, su carga útil permite transmitir una razón de bits de TS hasta 218 Mbps, su empleo es para cortas distancias entre equipos de TDT.

## **1.9 Soluciones tecnológicas para codificación y transporte de TS**

El desarrollo de tecnologías y equipamientos para conformar la cabecera de línea o la regionalización del flujo de TDT se encuentra en ascenso vertiginoso. En ello tienen vital importancia los aportes de los fabricantes de estas tecnologías y organismos internacionales aglutinados según el consorcio internacional DVB [41] y IEEE Broadcast.

Según estas entidades se puede destacar aportes de firmas y proveedores como Harmonic, Imagine Communications y Ericsson los cuales proveen soluciones de punta para diferentes operadores de TDT en múltiples países del mundo. Cada proveedor posee un set de equipamiento donde se observa el desempeño y prestaciones para estos sistemas. En todas las tecnologías se observa una fuerte convergencia *all-IP* [39] y a tecnologías de compresión H.265, AAC-HEv2, multiplexación estadística y soporte de aplicaciones para DVB-T/T2, ATSC, ISDB-T y DTMB.

### **1.9.1 Solución Thomson Video Network de Harmonic**

Thomson Video Network de Harmonics constituye un proveedor muy completo de tecnologías y equipamientos para sistemas *headend* de TDT incluido satélite, terrestre, cable o IP. Sus soluciones se basan en set de equipos con objetivos específicos en cada una de sus etapas y el empleo de innovaciones eficientes para enriquecer la calidad de audio/video y la regionalización de contenido centralizado (solución FlexCarbon) y local (solución FlexSplice con CBR) [38, 42]. Como se muestra en la figura 1.12

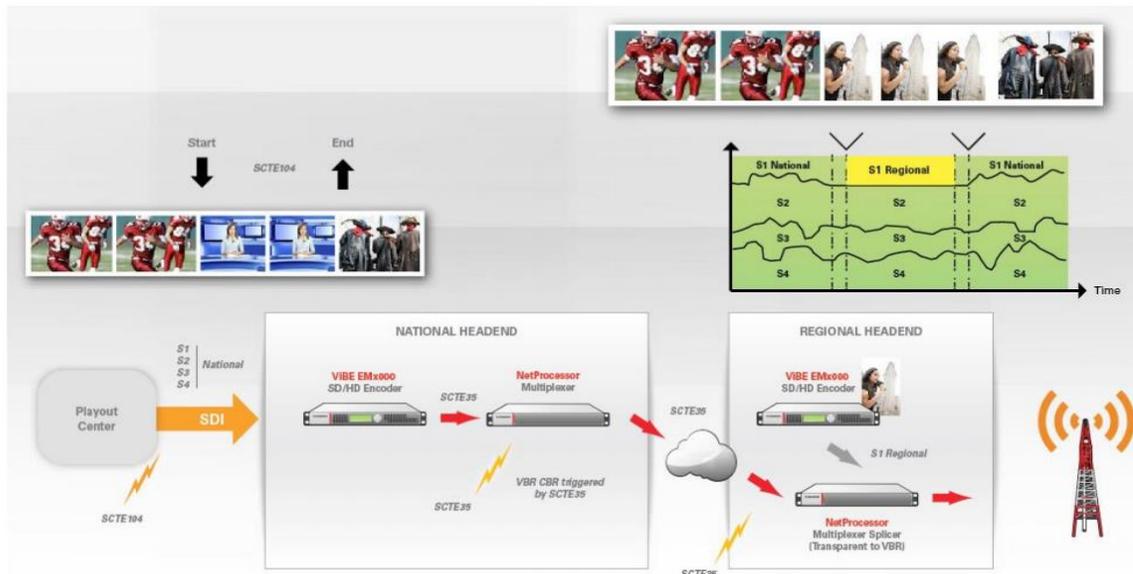


Figura 1.12: Solución Flexsplice de regionalización de contenido. Fuente: [38]

Esta convergencia se logra a través de la familia de codificadores VIBE (EM1000, EM2000, EM 4000, 4K Ultra HD), que proveen múltiples entradas Analógico o Digital (SDI/HD-SDI/3G-SDI), soporte para resoluciones hasta UHD y técnicas de compresión H.264/H.265. Capacidad de codificar hasta 8 audio estéreo o multicanal con técnicas de compresión como AAC-LC/HE-AAC/HE-AACv2 (de 32 a 128 kbps), AC3, entre otras. VIBE posee variedad de soluciones bajo licencia para el post procesamiento de señal de audio/video lo que reduce el ruido de la señal y disminuye la razón de bits para un programa codificado. A su vez genera MPTS y SPTS que son entregados sobre interfaces Gigabit Ethernet o DVB-ASI.

Mientras que en la etapa de multiplexación converge en la familia de multiplexores Nextprocessor (N9040, N9030, N9010), el cual provee facilidades para conformar flujos MPTS con capacidad de procesamiento hasta 520 Mbps. Múltiples interfaces de entrada/salida como DVB-ASI (hasta 22), GigabitEthernet/IP (2), PDH-SONET (2) y SDH/ATM (2). Nextprocessor provee una serie de funcionalidades bajo licencia para multiplexación (dinámica o estática), además de procesamiento avanzado de la señalización PSI/SI, lo que permite la inserción y/o eliminación de programas, personalización de servicios, componentes, tablas e implementación de redes SFN.

Entre sus ventajas se puede encontrar excelente grado de compresión/calidad perceptual, configuración, prestigio internacional e interoperabilidad con otros fabricantes. Entre sus desventajas la migración hacia nueva técnica de codificación conlleva un cambio completo del set de equipamiento. Este tipo de solución en conjunto con innovaciones en el campo de la TDT es común en proveedores como Ericsson, Rovers Broadcast, Communicate, entre otros,

### 1.9.2 Solución Selenio de Imagine Communications

Imagine Communications constituye otro proveedor tecnológico con una densa gama de soluciones para sistemas de TDT. Selenio de Imagine Communications provee una plataforma modular integrada constituida por un *mainframe* que soporta múltiples tarjetas en dependencia del servicio que se quiere brindar. Integra las tecnologías de compresión audio/video, conmutación y encapsulamiento IP, en conjunto con un sistema de gestión SNMP y NMS NUCLEUS™ o CCS Navigator™. Selenio reduce cableado, interconexiones y energía. La figura 1.15 muestra esta arquitectura típica para regionalización del flujo en redes SFN y MFN.

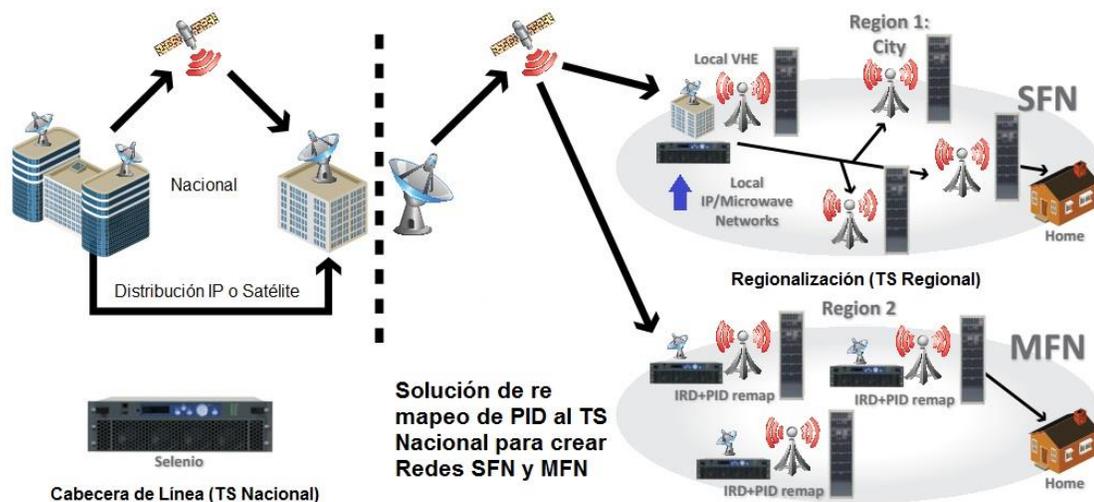


Figura 1.13: Solución Selenio para regionalización. Fuente modificada: [43]

Selenio soporta hasta 14 módulos o tarjetas interconectados internamente con capacidad de transferencia de hasta 3 Gbps en banda base audio/video hacia y desde cada módulo, con 1 Gbps de datos entre módulo. Además de interconectar

múltiples mainframe. También posee soporte para componentes analógico y digital (SD-SDI, HD-SDI, SDI-3G), AES, e interfaces Gigabit Ethernet y DVB-ASI. En cuanto a las técnicas de compresión incluye H.264 y en recientes versiones H.265, E-AC3/AAC/AAC-HEv2/MPEG-1, multiplexación y remultiplexación de MPEG2-TS con soporte de la señalización PSI/SI.

La principal ventaja de esta arquitectura radica en rápida convergencia e integración, provisión y crecimiento en dependencia de las necesidades del operador. La actualización hacia nuevos estándares de codificación y transporte se pueden realizar sin grandes inversiones en la infraestructura existente.

### **1.10 Conclusiones parciales**

La revisión bibliográfica de las tendencias en materia de codificación, transporte y sistemas para la generación y distribución de flujos TS de TDT permitió apreciar que existe una convergencia hacia la familia de códec MPEG. Para el video se recomienda el empleo del códec H.265, mientras que para el audio el códec MPEG-4 Extended HE-AAC, multiplexación estadística y señalización PSI/SI. Para Cuba resulta favorable el empleo de la codificación de audio MPEG-4 AAC-HEv2 en el flujo de la TDT, de acuerdo a las especificaciones de la norma adoptada.

## **CAPÍTULO 2. Características del TS Nacional en la provincia de Sancti Spíritus.**

En el presente capítulo se describen los métodos y herramientas para caracterizar el TS de la TDT. Además, se realiza un análisis del **TS Nacional** tomando como referencia la provincia de Sancti Spíritus, se describen las propiedades del mismo de forma cualitativa y cuantitativa y las necesidades regionales de inserción de contenido.

### **2.1 Elementos para medir el desempeño de flujos TS**

TS constituye la señal de entrada y salida sobre una interfaz de transmisión para todos los sistemas de TDT. Para el análisis de flujos de televisión digital en tiempo real se utiliza la recomendación ETSI TR 101 290 del 2014 [44]. La cual define los parámetros y métricas que se deben cumplir para que un flujo TS pueda ser decodificado correctamente.

Esta recomendación resume el análisis principalmente en 2 acápite:

1. Análisis de errores en la estructura del TS o TR 101 290 (garantiza estructura y consistencia del TS).
2. Análisis del comportamiento del TS sobre redes de TDT (factores que afectan el PCR y desempeño del canal asociado a programas y servicios).

Nótese que ninguno de estos análisis enfatiza en las tecnologías de codificación de la fuente, todas ellas se centran en la estructura, consistencia y períodos de repetición de TS, con lo cual se obtiene estandarización para cualquier sistema o norma de TDT y garantía de que los receptores pueden extraer, mostrar y

decodificar cualquier programa de audio/video o interactividad. Por lo que para determinar una métrica cualitativa del códec de audio/video utilizado es necesario utilizar además otras técnicas de análisis subjetivo como por ejemplo el método de Puntaje de Opinión Promedio (MOS, *Mean Opinion Score*). Lo cual constituye un modelo muy útil para conocer la calidad de este servicio antes de ser radiado.

Según IEEE Broadcast, el desempeño de un TS exige labores de monitoreo en sistemas las 24 horas para cuantificar la magnitud de errores que afecten la calidad del servicio, lo cual en esta tesis se refleja mediante un conjunto de mediciones estadísticas en determinados periodos de tiempo [45, 46].

### **2.1.1 Análisis de errores en la estructura del TS o TR 101 290**

El análisis de errores en la estructura del TS o TR 101 290 como se conoce en la literatura técnica esta agrupado en tres grupos de acuerdo a su importancia para propósitos de monitoreo del operador de radiodifusión. Cada grupo está formado por una tabla que define varios indicadores del error asumido. Estos indicadores se activan en modo contador cuando se viola la condición que monitorea. A continuación, se describe los indicadores y su causa efecto en los receptores TDT

La primera tabla de errores de prioridad agrupa una lista de seis tipos de indicadores los cuales son considerados vitales en la estructura del TS. Un resumen de los errores más importantes se muestra a continuación:

- Pérdida de más de dos bytes de sincronización en la cabecera del TS con valor 0x47, refleja no existencia de TS (*TS\_sync\_loss*),
- Error en la estructura y periodicidad de la tabla PAT (mayor de 0.5 s), imposibilita detectar cualquier programa en el TS (*PAT\_error*)
- Incorrecta secuencia de orden de paquetes TS, imposibilita a los receptores TDT sin buffer e inteligencia la extracción de información PSI/SI (*Continuity\_count\_error*)
- Error en la estructura y periodicidad (mayor de 0.5 s) de la tabla PMT, imposibilita detectar los componentes de programas de radio o televisión(*PMT\_error*)

- PIDs no ocurren en un periodo definido por el usuario, típico cuando un TS es multiplexado y re multiplexado con pérdida de referencias(*PID\_error*)

Determinados errores en este punto inhabilitan la posibilidad de errores subsiguientes, por lo cual constituye el grupo más importante.

La segunda tabla o errores de prioridad dos agrupa una lista de 6 tipos de indicadores que deben que ser monitoreados continuamente para garantizar decodibilidad de los programas de radio y televisión, asociados principalmente con el campo PCR y el código de la redundancia cíclica (CRC, *Codec Redundancy Cyclic*) de las tablas PSI/SI. Esto garantiza sincronización interna del reloj interno del receptor de TDT y veracidad de las tablas. Un resumen de los errores más importantes se muestra a continuación:

- Indicador del campo error de transporte igual a uno, indica TS corrupto o defectuoso por lo que se evade su análisis por el receptor TDT (*Transport\_error*)
- Tablas CAT, PAT, PMT, NIT, EIT, BAT, SDT o TOT corruptas debido a la inconsistencia del CRC, imposibilita el uso de estas tablas por los receptores TDT y con ello pérdida total de información a mostrar (*CRC\_error*)
- Intervalo de transmisión del campo PCR mayor de 40 ms para algún programa, lo cual arroja pérdida de sincronización del reloj interno del programa de radio o televisión del receptor de TDT(*PCR\_error*)
- La veracidad del PCR de algún programa no se encuentra dentro de  $\pm 500$  ns, conlleva pérdida de síntesis de la sub portadora de color del video (*PCR\_accuracy*)

La tercera tabla o errores de prioridad tres muestras errores que dependen de las aplicaciones definidas en tablas PSI/SI por el operador de TDT. Un resumen de los errores más importantes se muestra a continuación:

- Error en la estructura y periodicidad (mayor de 10 s) de la tabla NIT, lo cual imposibilita mostrar las propiedades de sintonía del operador de TDT(*NIT\_error*)

- Error en la periodicidad de retransmisión de la señalización DVB-SI, demora en sintonía de información a mostrar por el receptor TDT(*SI\_repetition\_error*)
- PIDs no referenciados en tabla PMT, (*Unreferenced\_PID*)
- Error en la estructura y periodicidad (mayor de 2 s) de la tabla SDT, lo cual imposibilita mostrar los nombres y características de los programas en los receptores TDT (*SDT\_error*)
- Error en la estructura y periodicidad (mayor de 2 s) de la tabla EIT, lo cual imposibilita mostrar la guía electrónica de programa en los receptores TDT(*EIT\_error*)
- Error en la estructura y periodicidad (mayor de 30 s) de la tabla TDT, lo cual imposibilita mostrar la hora y fecha en los receptores de la TDT(*TDT\_error*)

El valor ideal para estos tipos de errores es cero independiente de cada uno de sus grupos. Cualquier variación de esta métrica determina problemas asociados al TS que necesitan ser determinados y corregidos sus causales [44].

El operador de TDT puede validar la pertenencia de su información a través de los descriptores insertados en las tablas de la señalización PSI/SI, los cuales informan a través de su valor los tipos de códec de audio y video, nombres de programas, lenguaje, hora, fecha, guía electrónica [30].

La importancia de los descriptores en esta tesis recae en la necesidad de identificarlos para labores de remultiplexación regional en ánimo de mantener configuraciones [32, 30, 33]. Debido a ello es importante un análisis de los principales descriptores en las tablas PAT, PMT y SDT para agregar un nuevo programa de radio o televisión al TS:

- descriptor *transport\_stream\_id, program\_number* en la tabla PAT
- descriptor *program\_number, PCR\_PID, stream\_type, elementary\_PID* en la tabla PMT
- descriptor *service\_id* (*Service\_id = program\_number* de la tabla PMT) y *service\_name, running\_status* en la tabla SDT

Las demás tablas PSI/SI no se afectan debido a que no se pretende insertar algún otro contenido en la tesis.

### **2.1.2 Análisis de TS sobre redes de distribución de TDT**

Cualquier TS al ser transmitido sobre una red de transmisión se ve afectado por valores de retardo asociado al jitter de la propia red, o a variaciones de posicionamiento del PCR en el caso de remultiplexación, valores que se pueden activar por lo general errores tipo dos asociados al PCR. Las causas que puede provocar son variaciones de la velocidad de reproducción del contenido asociado a disminución rápida del buffer de memoria, así como variaciones en la portadora de color.

Un análisis más exhaustivo de este comportamiento se puede realizar a través de una serie de parámetros asociado al PCR para cada programa de radio o televisión, cuyo valor ideal es 27MHz, existen cuatro métricas a medir, de ellos dos constituyen los más importantes en la literatura técnica.

- (PCR\_FO, *Program Clock Reference – Frequency Offset*) definido como la diferencia entre la frecuencia nominal y la ideal de reloj interno del receptor, permite conocer la variación exacta de la frecuencia reloj y con ello la velocidad de reproducción del contenido, la tolerancia permitida es de  $\pm 810\text{Hz}$ .
- (PCR\_AC, *Program Clock Reference – Accuracy*) definido como la desviación de la diferencia de dos valores de PCR consecutivos a partir del tiempo transcurrido entre ambos teóricamente, la tolerancia permitida es de  $\pm 500\text{ns}$ , nótese que este valor determinaría problemas de multiplexación.

Por otra parte, la generación de flujos MPTS asume el desempeño de métricas relacionadas con el comportamiento del canal en función del ancho de banda consumido por programas y servicios para valorar cuan eficiente es la técnica de multiplexación escogida y su relación con los parámetros del codificador. Además de demostrar un comportamiento sintomático del TS lo que brinda estabilidad y

fiabilidad de la técnica y equipamiento escogido. En este punto es importante cuantificar:

- Eficiencia de canal (desempeño de la razón de bits nulos en función del ancho de banda del canal).
- Desempeño de la razón de bit de programas, servicios, y señalización PSI/SI (porcentaje que ocupa un programa o señalización del ancho de banda del canal).

## 2.2 Método de análisis de la calidad perceptual de las codificaciones

La elección del códec de audio para un sistema de telecomunicaciones exige un método que describa la calidad subjetiva que se espera sea percibida por los usuarios del sistema. La calidad subjetiva está basada en la percepción del oído humano para medir el grado de distorsión de la señal codificada respecto a la original, esto tiene como consecuencia que difiere de un usuario a otro y sus resultados pueden variar con la misma muestra al ser repetido [47, 48].

En esta tesis se emplea el método MOS que se especifica en la Recomendación UIT P.800, el cual se basa en mediciones estadísticas calculadas para describir la distribución de las anotaciones para cada sujeto en cada una de las condiciones de prueba. La calidad del audio se establece a través de la opinión del usuario en forma de Evaluación de Categoría Absoluta, en una escala entre 1 y 5, siendo 5 “Excelente” y 1 “Malo”. Como se muestra en la Tabla 2.1. El MOS es el promedio de estos valores medidos entre un gran número de usuarios (mayor de seis según [49]). La magnitud evaluada a partir de los puntajes se representa por el símbolo MOS y se halla calculando el promedio o media aritmética de los puntajes.

Tabla 2.1: Escala de Calidad de Escucha. Fuente: [50]

Descripción (inglés)	Descripción (Español)	Puntaje
Excellent	Excelente	5
Good	Buena	4
Fair	Regular	3
Poor	Mediocre	2
Bad	Mala	1

### 2.3 Herramienta: Blue Top TS Analyzer

En la actualidad existe una gran variedad de analizadores TS, todos basados en el mismo principio: múltiples interfaces de entrada/salida, análisis TR 101 290, monitoreo de razón de bits del canal y programas, soporte de múltiples códec de audio y video, análisis estadístico, *online/offline*, entre otros.

Para el objeto de análisis de esta investigación se emplea el analizador profesional Blue Top TS Analyzer de Blue Top-Technology Co., el cual dispone la empresa RadioCuba para este propósito. Luego de consultar los equipamientos dedicados a la medición del flujo TS de los principales proveedores en el mercado se presenta la Tabla 2.2 donde es realizada una comparación entre el equipo utilizado en el desarrollo de la tesis con otros analizadores. Se puede observar su similitud con otros instrumentos de medición con el mismo objetivo, lo cual valida su empleo en esta tesis.

Tabla 2.2 Comparación entre diferentes equipos de medición de TS.

Analizador	<i>Blue Top TS Analyzer</i>	<i>DTC-320 StreamXpert</i>	<i>DiviCatch™ RF-DTMB</i>	<i>SUNNISKY PA2600</i>
Fabricante	Blue Top Corp. Ltd	DekTec's	ENENSY	SUNNISKY
Interfaces	RF, DVB-ASI IN, DVB-ASI OUT, IP IN	RF, DVB-ASI IN, IP IN	2 x RF, DVB-ASI IN, IP IN, IP OUT	RF, DVB-ASI IN, DVB-ASI OUT, IP IN, IP OUT
Estándares TDT	DTMB	DVB, ATSC, ISDBT	DTMB	DVB-T, DTMB
TR 101 290	Si	Si	Si	Si
Análisis PSI/SI	Si	Si	Si	Si
Análisis PCR	Si	Si	Si	Si

Análisis de Banda/Servicio	Si	Si	Si	Si
Sumario TS	Si	Si	Si	Si
Análisis Offline	Si	No	Si	Si

Blue Top TS Analyzer está constituido por una sonda BTA-P200 la cual posee interfaces DVB-ASI, RF y Ethernet. El cual se conecta mediante USB 2.0 a una Laptop Lenovo con sistema operativo Window7 y el software profesional bajo licencia Blue Top TS Analyzer. Esta técnica posibilita migrar toda la potencia de análisis estadístico al sistema operativo lo que resulta ventajoso para estudios de TS *online/offline*. La figura 2.1 muestra este equipamiento.

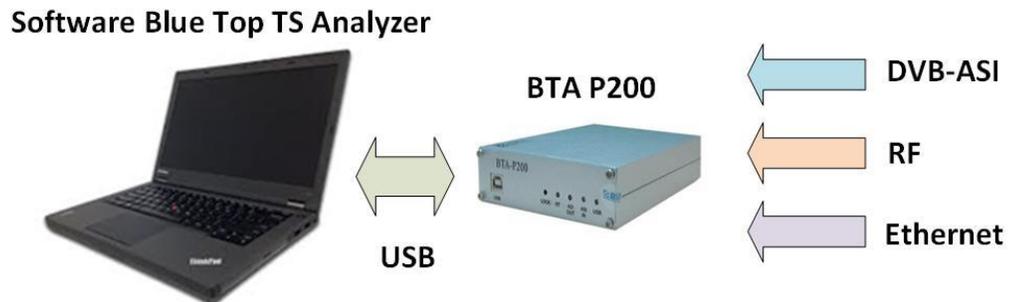


Figura 2.1: Blue Top TS Analyzer.

La figura 2.2 muestra una vista de software y sus componentes, se puede observar un menú de opciones en la zona izquierda donde se determina el tipo de análisis y los resultados del mismo a la derecha. Las opciones más significativas son:

- **Summary:** Sumario general del canal, programas de radio y televisión.
- **290 Test:** Realiza un análisis en tiempo real de la magnitud de errores.
- **Service:** Análisis individual de cada programa descriptores, razón de bits, codificación.
- **Band:** Análisis estadístico de PIDs, describe valores máximo, mínimo y promedio.
- **PSI/SI:** Análisis de la señalización DVB-SI/PSI en el flujo y detalle de la estructura de las tablas.

- **PCR:** Análisis del PCR de cada programa de radio o televisión.

El método de análisis para realizar la investigación está integrado por varios pasos que aglutina el conjunto de estas opciones para caracterizar el TS. En principio, con el uso de la opción **Summary** y **290Test** para determinar la configuración y magnitud de los errores presentes en el TS, en este punto la opción **PCR** permite un análisis más profundo de los errores tipo dos. Luego con la opción **Service**, **PSI/SI** y **EPG** para caracterizar señalización, programas y servicios. Finalmente, con el uso de la opción **Band** se obtiene un análisis estadístico del TS.

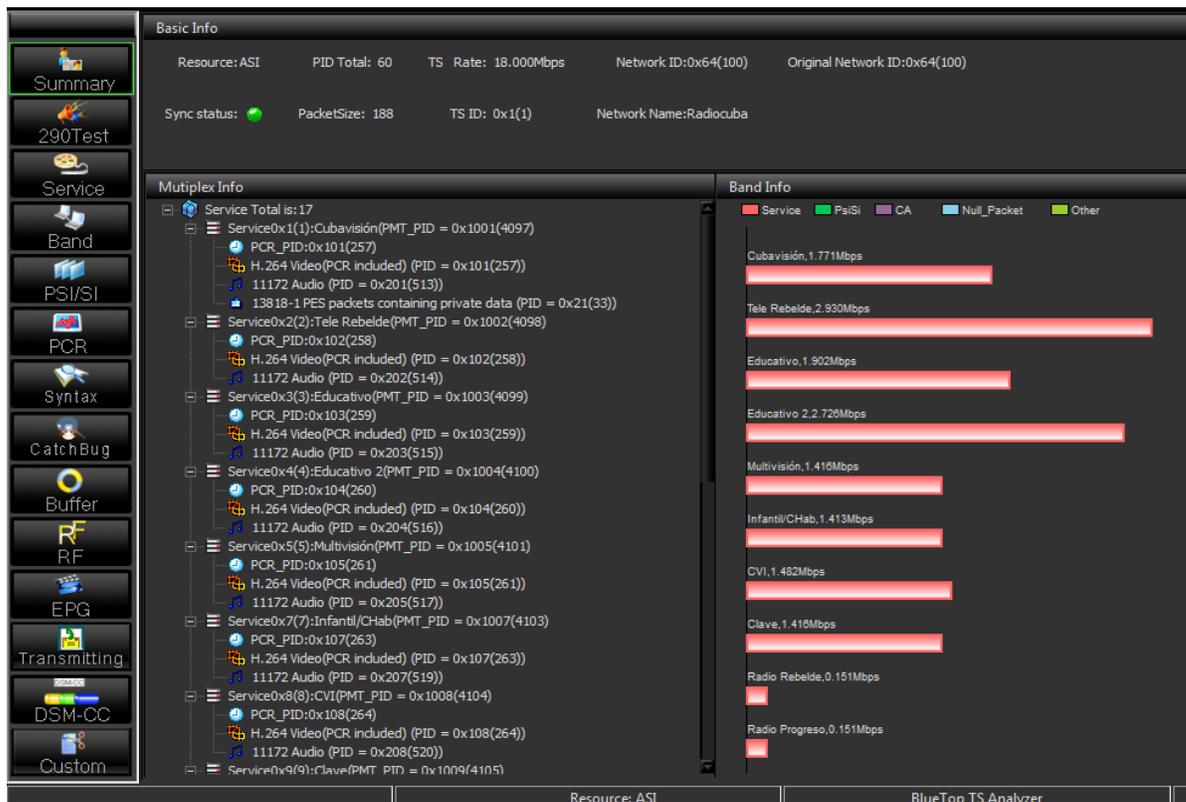


Figura 2.2: Vista de software Blue Top TS Analyzer.

## 2.4 Caso de estudio: Cobertura TS Nacional en la provincia de Sancti Spíritus

La provincia de Sancti Spíritus se encuentra situada en la región central de Cuba entre 21°32' y 22°27' de latitud norte y los 78°56' y 80°07' de longitud oeste, está integrada por ocho municipios que cubren una extensión de 6744 kilómetros cuadrados. En esta primera etapa de simultaneidad de televisión analógica y digital, el servicio de la señal de televisión digital terrestre la integran una red de transmisores

MFN de la empresa RadioCuba. Agrupados en la zona norte, sur y central de la provincia.

La figura 2.3 ilustra su distribución en la provincia. Nótese que de los 15 centros desplegados 14 pertenecen a la señal analógica de tv y 4 a la señal digital. De ellos el centro de Tv principal (San Isidro) se encuentra en el municipio de Sancti Spíritus. La distribución de los mismos es consecuencia de la topografía del terreno y las frecuencias están en función del plan de asignación de canales nacional, los cuales permiten cubrir más del 70 por ciento de la cobertura de la provincia [51].



Figura 2.3: Centros de Televisión en la provincia de Sancti Spíritus. Fuente: [52]

Por otra parte, al cierre de marzo 2016 las tiendas recaudadoras de divisas TRD y CIMEX en la provincia, habían comercializado aproximadamente cerca de 80 000 receptores de TDT en modalidades de cajas decodificadoras y televisores de televisión estándar y alta definición. Lo cual da una idea para una población estimada según el censo del 2012 de 462.114 habitantes, con un grupo familiar promedio de 4 personas, aproximadamente el 69.2% de la población tiene acceso

a esta nueva tecnología de recepción de televisión y de allí la mejoría en la percepción del concepto de televisión digital.

## 2.5 Red de distribución del TS Nacional en la provincia de Sancti Spíritus

El flujo **TS Nacional** con los programas de televisión y radio es formado en la cabecera de línea en los estudios centrales del ICRT en Ciudad de la Habana, mediante una plataforma de codificadores y multiplexores de la empresa RadioCuba en conjunto con el ICRT. En este punto se encapsula el **TS Nacional** sobre Ethernet/IP para ser transmitido hacia las diferentes estaciones de televisión digital a través de diferentes tecnologías de transmisión de ETECSA, como muestra la figura 2.4.

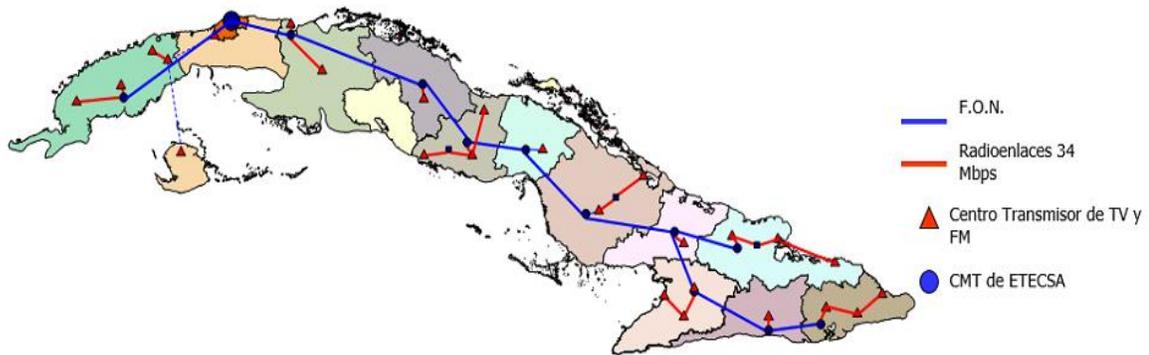


Figura 2.4: Red de distribución nacional de TS Nacional. Fuente: [53]

Para el caso de estudio, provincia Sancti Spíritus, el flujo **TS Nacional** es recibido en una primera fase en el CTV San Isidro en el cual se sustituyen los componentes de video y audio del programa Educativo 1 por el Telecentro a través del equipamiento MFE-802 del fabricante Rovers Broadcast, conformando el **TS Regional** y luego re redistribuido en una red Ethernet-LAN con carácter multipunto a multipunto hacia las demás estaciones de TDT ubicadas en la provincia. Este punto en CTV San Isidro constituye un nodo de gran importancia ya que en él se cambia el contenido Nacional a Regional. Dicha arquitectura posibilita si existiera un incremento de estaciones en un futuro, adicionar nuevos sitios a esta Red Provincial de Distribución. En este punto cabe destacar que ningún otro programa regional es insertado o sustituido en ningún punto del país. La figura 2.5 muestra esta topología de red para Sancti Spíritus.

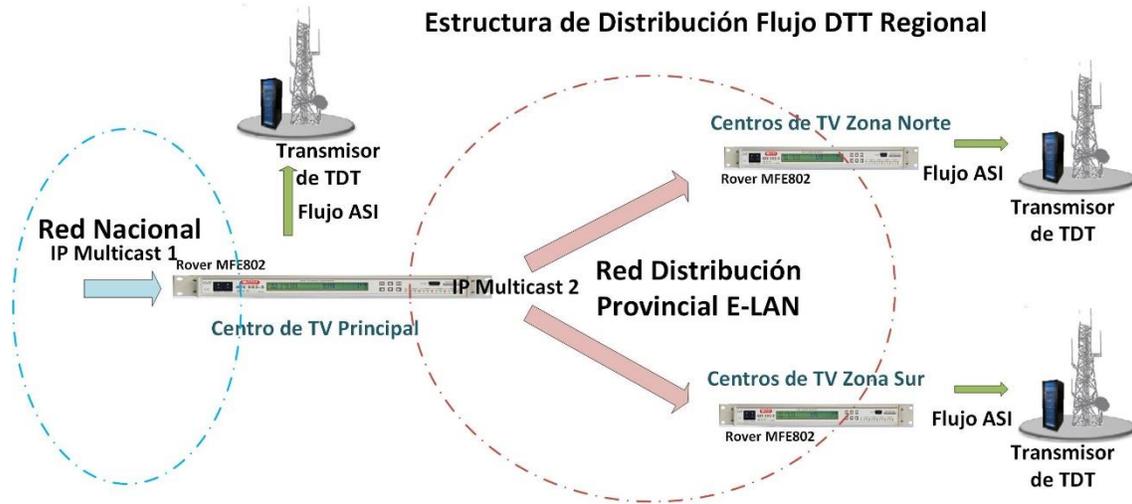


Figura 2.5: Esquema representativo de distribución **TS Nacional** en la provincia de Sancti Spíritus.

Como la razón máxima de bits DTMB del TS Nacional 18.274 Mbps para la modulación escogida en variante 6, el cálculo del ancho de banda necesario para transmitir ese servicio sobre RTP/UDP/IP/Ethernet a través de la ecuación 1.2, para  $n$  con valor máximo de 7, el ancho de banda máximo requerido para este servicio sobre Ethernet es de 19.28Mbps, por lo cual se provisionan 20 Mbps para garantizar la transmisión. La tecnología de direccionamiento es IPv4, se asocia el TS Nacional con una dirección IPv4 *multicast* y empleo del protocolo RTP recogido en la RFC 3550.

MFE-802 constituye un dispositivo modular de múltiples interfaces (DVB-ASI, Ethernet) para aplicaciones TDT seleccionado por RadioCuba en la etapa de transporte de señal y actualmente desplegado para el servicio de televisión digital en el país. El objetivo de este equipo terminal recae en la conversión de la señal TS Nacional o Regional sobre IP a la interfaz DVB-ASI para distribuir el TS a los transmisores de TDT, decodificación de cualquier programa presente en la señal digital a sus componentes analógicas de audio y video lo cual provee a RadioCuba de otra vía de transporte redundante para los transmisores de televisión y frecuencia modulada analógica. Sin embargo, fuera de esta arquitectura no han sido valorados con este proveedor otras funcionalidades de Regionalización.

## 2.6 Caracterización del TS Nacional de SD

Para lograr la finalidad de la investigación es necesario validar, analizar y determinar cuáles son las propiedades de programas y servicios transmitidos en el **TS Nacional** distribuido en la provincia de Sancti Spíritus mediante el método empírico. Este método permitirá determinar cuáles son los valores de métricas de razón binaria y señalización entre las cuales fluctúan.

El cumplimiento de este objetivo se logra mediante un conjunto de mediciones durante 30 minutos y en un intervalo de 7 días, en diferentes horarios de 8:00 a 17:00. El set de medición estuvo compuesto por el analizador Blue Top, conectado a la interfaz DVB-ASI OUT del equipamiento Rovers, en el cual se supervisa el **TS Nacional** en el CTV principal San Isidro como muestra la figura 2.6.

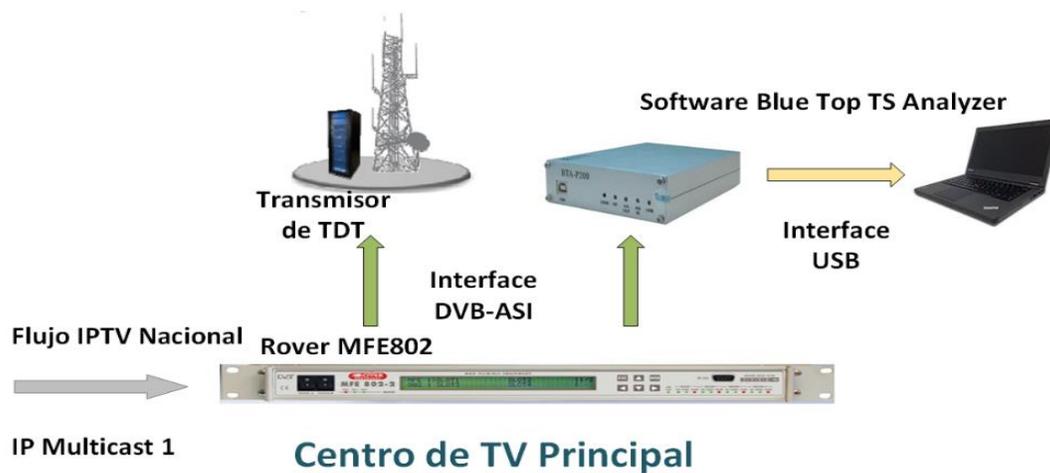


Figura 2.6: Set de medición del flujo DVB-ASI nacional.

Los resultados estadísticos en esta investigación se abordan a continuación mientras que la figura 2.2 muestra la configuración del multiplex

### 2.6.1 Desempeño de la recomendación TR 101 290 del TS Nacional

Los resultados del análisis mediante la opción **290 Test**, durante el estudio arrojó la tabla 2.3 de errores por día

Tabla 2.3 Resultados de la Recomendación TR 101 290 en la señal DVB-ASI

Grupo Error	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Lunes	Martes
1	<i>PID error</i> (2)	<i>PID error</i> (3)	<i>PID error</i> (2)	<i>PID error</i> (2)	<i>PID error</i> (3)	<i>PID error</i> (2)	<i>PID error</i> (2)
2	0	0	0	0	0	0	0
3	<i>Unreferenced PID</i> (2)						

Las magnitudes de los errores promedio radican en:

*Errores de Primer Grupo:* En todas las mediciones existe un tipo de error.

- *PID\_error:* Debido a jitter en el PID 33, el cual es el componente subtítulo que pertenece al programa de Cubavisión y se referencia con un descriptor de datos privados en la tabla PMT de este servicio. (2.28 errores promedio en media hora)

*Errores de Segundo Grado:* Ningún tipo de error.

*Errores de Tercer Grado:* En todas las mediciones existe un tipo de error.

- *Unreferenced\_PID:* Dos valores de PID que no están referenciados en la señalización DVB-SI/PSI del flujo, PID 0x1000(4096) y 0x0200(512). (2 errores promedio en media hora) y que se deben a los flujos de datos de interactividad que se asocian mediante la tabla BAT.

En resumen, se muestra la decodibilidad del TS Nacional, debido a que no existen errores graves de prioridad uno y dos referido a tablas importantes como NIT, PAT, PMT, SDT, EIT, TDT y TOT, lo cual se refleja en rápida sintonía de información de las cajas decodificadoras TDT del mercado. Sin embargo, el error de prioridad uno puede afectar en determinadas ocasiones la muestra del subtítulo del programa Cubavisión.

### 2.6.2 Señalización DVB-SI/PSI transmitida del TS Nacional

La opción **PSI/SI** del software permite analizar la señalización en forma de tablas. La opción arroja que se transmiten 52 diferentes valores de PID y el mismo cumple con la señalización DVB-SI/PSI. La figura 2.7 muestra este resultado de forma compacta.

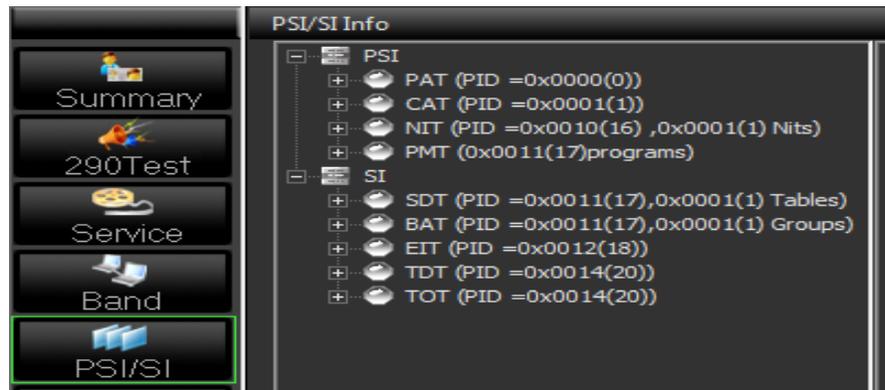


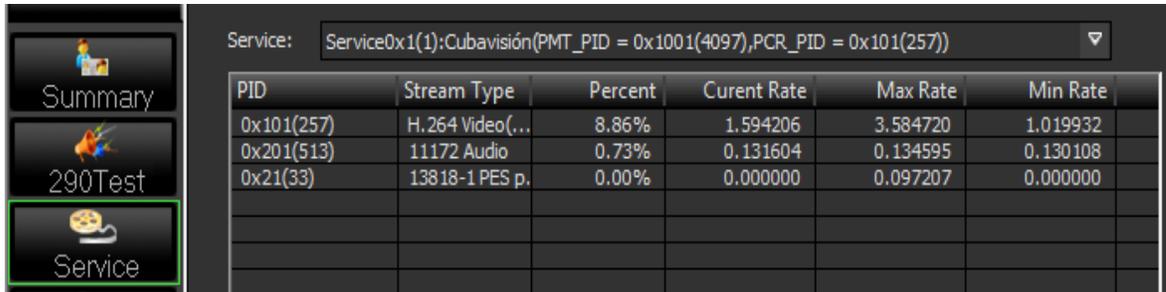
Figura 2.7: Resultado de la señalización PSI/SI.

La señalización total ocupa un ancho de banda promedio de 0.6 Mbps por debajo de 1Mbps, en mayor parte por la tabla EIT asociada a la guía electrónica de programa, en resumen, para remultiplexación al **TS Nacional** se encontró la siguiente configuración de descriptores

- Tabla PAT (*transport\_stream\_id*:1, asocia 17 descriptores *program\_number* en concordancia con los 17 programas).
- Tabla PMT, SDT en la tabla 2.3 se muestra una descripción completa de los descriptores más importantes presentes para cada programa

### 2.6.3 Desempeño de los programas y servicios del TS Nacional

El análisis mediante la opción **Service** del software arrojó que están disponibles 8 programas de Televisión SD (*service\_type* con valor 0x01) y 9 programas de Radio (*service\_type* con valor 0x02). La figura 2.8 muestra el resumen de un programa para esta opción.



PID	Stream Type	Percent	Curent Rate	Max Rate	Min Rate
0x101(257)	H.264 Video(...	8.86%	1.594206	3.584720	1.019932
0x201(513)	11172 Audio	0.73%	0.131604	0.134595	0.130108
0x21(33)	13818-1 PES p.	0.00%	0.000000	0.097207	0.000000

Figura 2.8: Resumen de un programa de Televisión.

Los programas de Radio están codificados en MPEG1 Capa 2 (debido a la presencia del descriptor *stream\_type* con valor 0x03 del componente audio) a razón de bits constante de 128 kbps y modalidad estéreo, excepto el programa Rebelde AM el cual se transmite en modalidad mono. Todos con una frecuencia de muestreo de 48 kHz, el valor PCR está referenciado al componente PID de audio.

Los programas de Televisión se transmiten bajo la norma NTSC con una resolución de 480x720, muestreo de Y: Cb: Cr en formato 4:2:0 con una frecuencia de fotogramas de 60 fps entrelazado, codificado de video H.264(debido a la presencia del descriptor *stream\_type* con valor 0x1b) con razón de bits variable, excepto el programa de Educativo 1, el valor *PCR* está referenciado al PID de video. Mientras que el audio asociado está codificado en formato MPEG1 Capa 2 a razón de bits constante y en modalidad estero para los programas Clave y Cubavisión Internacional a 128 kbps, en modalidad *join* estéreo para Multivisión y los demás programas en modalidad mono; todos con una frecuencia de muestreo de 48 kHz. Cubavisión es el único programa que posee un componente de subtítulos, asociado al error de prioridad uno.

En cuanto a la interactividad, se puede observar que está reflejada en dos PID asociados, 512 (razón de bits promedio de 0.6 Mbps) y 4096 (razón de bits promedio de 0.0043 Mbps) según [13], el formato de codificación de datos es a través de la recomendación GD/J018 -2008 y GD/J027-2011.

El comportamiento general de los programas y servicios en el periodo de tiempo se puede observar en la figura 2.9 mediante un análisis **Band** del software.

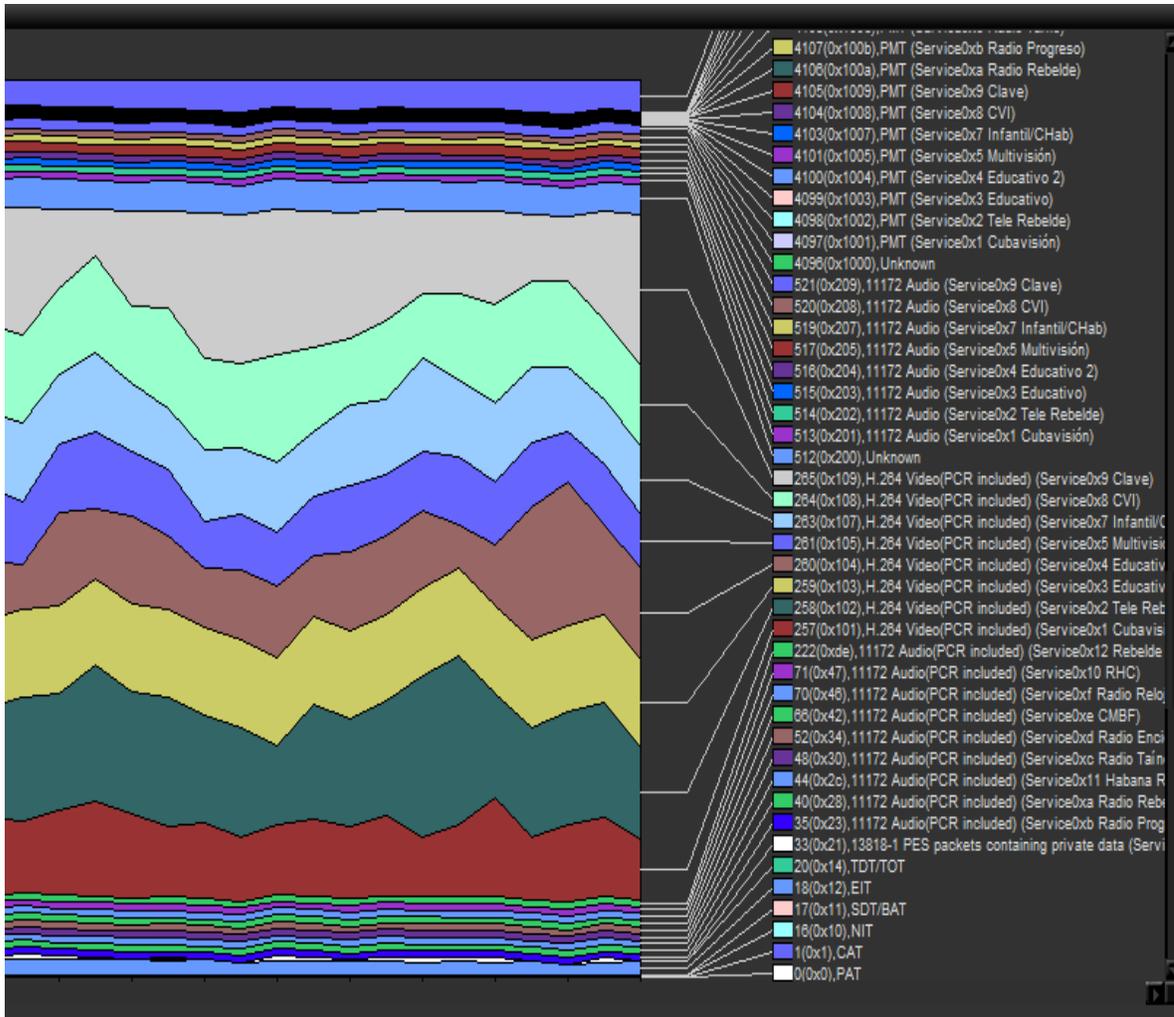


Figura 2.9: Análisis de banda del TS Nacional.

La tabla 2.4 muestra un resumen de todos los programas, configuración PID, razón de bits máxima y mínima promedio de los mismos. Calculados mediante la suma de los componentes de audio y video, así como el porcentaje máximo de empleo del programa en el canal.

Tabla 2.4 Configuración de PID y razón de bits máximo de programas en Mbps.

Programa	Stream Type	PID PMT	PID PCR	PID VIDEO	PID AUDIO	Mínimo Bitrate	Máximo Bitrate	% Máximo Canal
Cubavisión	TV	4097	257	257	513	1.12	4.66	25.8

<b>Tele Rebelde</b>	TV	4098	258	258	514	1.33	4.23	23.5
<b>Educativo 1</b>	TV	4099	259	259	515	1.88	1.88	10.4
<b>Educativo 2</b>	TV	4100	260	260	516	0.67	3.77	20.9
<b>Multivisión</b>	TV	4101	261	261	517	0.92	2.7	15
<b>Infantil/Canal Habana</b>	TV	4103	263	263	519	1.37	2.96	16.4
<b>Cubavisión Internacional</b>	TV	4104	264	264	520	1.12	3.56	19.7
<b>Clave</b>	TV	4105	265	264	521	0.71	3.88	21.5
<b>Radio Rebelde</b>	Radio	4106	40	-	40	0.13	0.13	0.72
<b>Radio Progreso</b>	Radio	4107	35	-	35	0.13	0.13	0.72
<b>Radio Taino</b>	Radio	4108	48	-	48	0.13	0.13	0.72
<b>Radio Enciclopedia</b>	Radio	4109	52	-	52	0.13	0.13	0.72
<b>Radio Musical</b>	Radio	4110	66	-	66	0.13	0.13	0.72
<b>Radio Reloj</b>	Radio	4111	70	-	70	0.13	0.13	0.72
<b>Radio Habana Cuba</b>	Radio	4112	71	-	71	0.13	0.13	0.72
<b>Habana Radio</b>	Radio	4113	44	-	44	0.13	0.13	0.72

<b>Radio Rebelde AM</b>	Radio	4114	222	-	222	0.13	0.13	0.72
-------------------------	-------	------	-----	---	-----	------	------	------

El resultado de este análisis demuestra el empleo de multiplexación estadística en la mayoría de los servicios de televisión ya que sus razones de bits varían entre 670 kbps y 4660 kbps excepto el programa Educativo Uno, que se mantiene constante a razón de 1880 kbps, debido a la necesidad regional de sustitución del mismo por el programa del telecentro, mientras que los servicios de radio están codificados a razón de bits variable entre 134 kbps y 137 kbps. Un análisis del porcentaje promedio que le corresponde al audio codificado se realizó sumando el porcentaje de los valores de audio para los 17 servicios y reveló un empleo de 13.47% aproximadamente del canal. Aspectos que demuestran una codificación eficiente para el caso del video, mientras que para el del audio se observa una codificación deficiente debido a la elevada cantidad de programas transmitidos.

#### 2.6.4 Desempeño del canal de transmisión del TS Nacional

La opción **Band** del software permite hacer un análisis del desempeño del canal TS Nacional. La figura 2.10 muestra el empleo del canal en Mbps en la interfaz DVB-ASI y la figura 2.11 muestra el empleo del canal demodulado de la señal DTMB del aire sobre el canal 29 del Centro de Televisión de San Isidro.

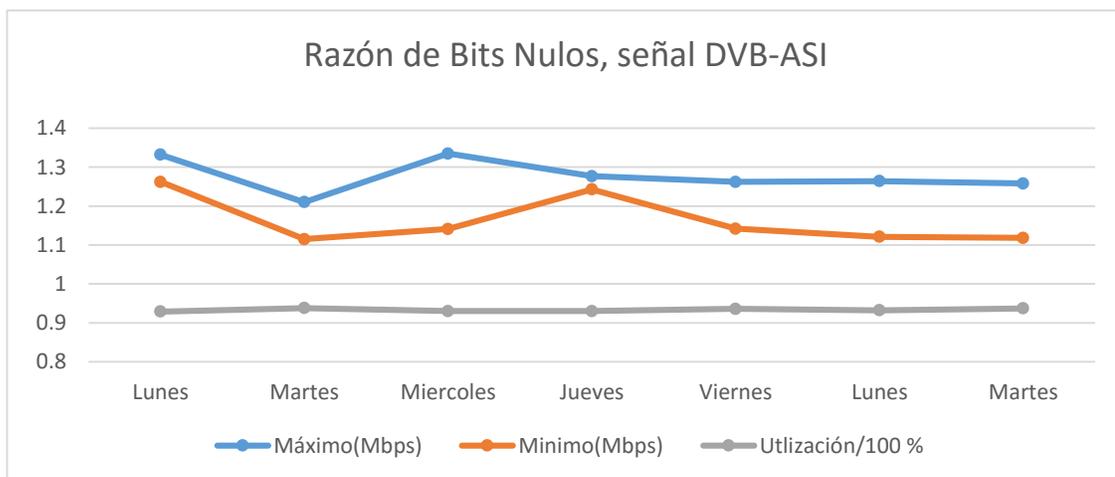


Figura 2.10: Desempeño de la razón de bits nulos, señal DVB-ASI.

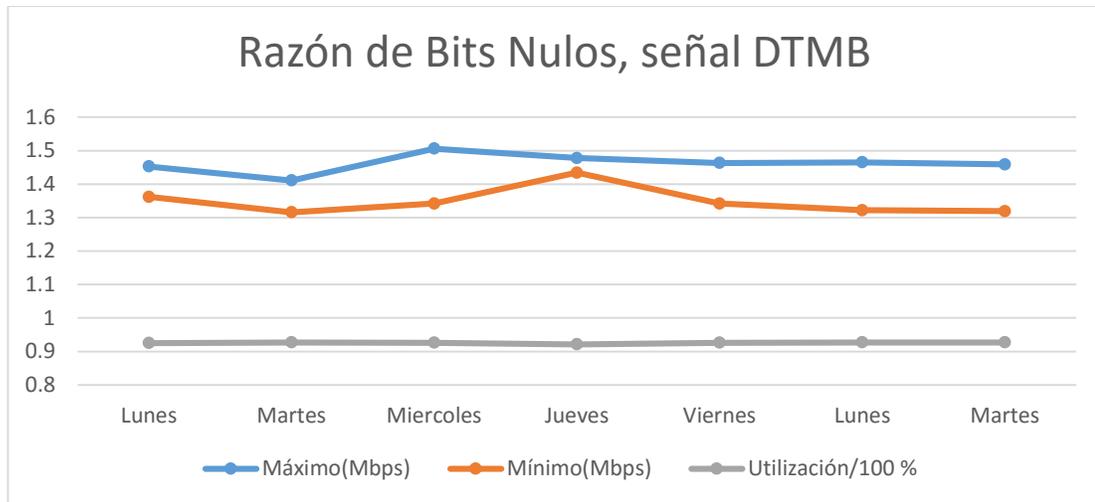


Figura 2.11: Desempeño de la razón de bits nulos, señal DTMB.

Se puede observar que en el TS Nacional está disponible una razón de bits nulos promedio de 1.163 Mbps para un uso promedio del canal del 93.3 por ciento mientras que en la señal DTMB del aire está disponible una razón de bits promedio de 1.364 Mbps para un uso promedio del canal del 92.5 por ciento, lo cual hace una diferencia aproximada de 200 kbps debido a la adaptación del medio de transmisión del TS Nacional. Lo cual constituye un comportamiento típico en aplicaciones de radiodifusión por una parte la presencia de una razón de bit nulos con un desempeño regular en los sets de mediciones.

## 2.7 Necesidades regionales de inserción de contenido en la provincia de Sancti Spíritus

Al cierre de diciembre 2015 el contenido de la emisora provincial Radio Sancti Spíritus estaba fuera del contexto en materia de distribución de televisión digital de la provincia. El mismo está constituido por dos emisiones de audio analógico que se generan en los estudios de este centro y que pertenece al ICRT. Una emisión de audio está concebida para las transmisiones de ondas medias y tiene carácter monofónico debido a las características de la Amplitud Modulada en Cuba y la segunda con carácter estéreo para las transmisiones de Frecuencia Modulada. Siendo este último el de mejor calidad y experiencia al usuario. Cabe destacar que ambas no poseen el mismo contenido en todo el horario del día. Ambas emisiones se caracterizan por cumplir las condiciones de la fuente para distribución e

intercambio cumpliendo las propiedades de audio para estudio para radiodifusión, rango de frecuencia de 20 Hz a 20 KHz con valores picos o máximos de amplitud de 0 dBm en una impedancia de 600 Ohms para un canal de audio balanceado.

Debido a que los transmisores de FM para radio Sancti Spíritus están presentes en todas las estaciones de televisión digital de la provincia donde concurre el flujo de televisión digital regional, es necesario e interés de la empresa RadioCuba que este contenido sea parte del flujo de televisión digital. Las razones son dos principalmente; por una parte, para que sirva como otra vía alternativa de suministro a los trasmisores analógicos de FM y por la otra que forme parte también de los servicios hacia la población en la TDT, lo que mejoraría el grado de aceptación de esta nueva tecnología al tener incluido también el contenido local.

## **2.8 Conclusiones parciales**

Basados en análisis y los criterios antes mencionados se puede arribar a la conclusión que en el **TS Nacional** existe una razón de bits nulos promedio superior a 1 Mbps lo cual permite la inserción de contenido regional y se emplea una codificación deficiente para los componentes de audio debido a que el 13.47% del mismo constituye MPEG-1 capa dos. Por lo que resulta viable analizar en aras de mejorar la relación calidad de sonido respecto a la tasa binaria de codificación y aumentar la eficiencia del canal con el uso de otro códec de audio más eficiente.

## **CAPÍTULO 3. Evaluación de la propuesta realizada**

En el presente capítulo, se explica el proceso y los aspectos tomados en cuenta para la inserción de contenido regional al **TS Nacional** sustentada en el estudio realizado en el capítulo anterior. Se utiliza una nueva propuesta de códec de audio basado en MPEG-4 AAC-HE v2. En post de corroborar la idoneidad del nuevo escenario, se realiza un análisis en cuanto a las métricas del **TS Regional** y análisis subjetivo mediante el MOS para finalizar con las conclusiones parciales.

### **3.1 Selección de la tecnología para inserción de contenido**

La inserción de contenido regional en el flujo **TS Nacional** conlleva la selección de la tecnología adecuada que cumpla con los estándares de TDT a nivel de codificación, multiplexación y transporte para el cual se transmite. Con el objetivo de lograr compatibilidad en cada una de sus etapas, se condiciona la selección a lo planteado en la recomendación 230/2014 del MINCOM.

Debido a que la propuesta de inserción de contenido está formada por dos programas de radio, la selección de la tecnología en las diferentes etapas debe estar basada en los aspectos que se relacionan a continuación para cumplir y compatibilizar con lo anteriormente expuesto.

En relación a las Tecnologías de codificación de audio se propone

- MPEG-4 ACC-HEv2 códec con un mejor desempeño que MPEG-1 capa dos y miembro de la familia MPEG-4 AAC y MPEG-1 capa dos en ánimo de realizar análisis comparativos.

En relación a la tecnología de multiplexación y señalización del flujo de TDT

- ISO/IEC13818-1 (MPEG-2-TS), para conservar la estructura del **TS Regional**.
- ETSI 300 468 (DVB-SI), para compatibilizar la señalización de programas y servicios en el flujo TS Regional.

En relación a las tecnologías de transporte para el TS:

- DVB-ASI, tecnología de intercambio local para flujos de TDT

### **3.2 Propuesta tecnológica**

En el momento de realización de este trabajo la empresa RadioCuba no poseía ninguna solución tecnológica para dar respuesta a esta problemática. La empresa cuenta con resultados de pruebas a sistemas de TDT de los proveedores Thomson Video Network de Harmonics y Rovers Broadcats. El objetivo ha sido evaluar el desempeño de estas tecnologías en las condiciones de comunicaciones típicas del país, para escoger al fabricante cuyo producto se adecue más a las características del contexto nacional.

En la presente tesis se ha escogido el proveedor Thomson Video Network por:

- Constituir una de las empresas líderes del mercado en implementación de tecnologías de compresión, multiplexación y transporte para sistemas de televisión terrestre, satelital, cable y televisión sobre IP.
- Proveer una información técnica completa, lo que favorece el desarrollo de este estudio y la obtención de datos más confiables.
- Disponibilidad de equipamiento considerado como no obsoleto según referencias de sitio web del fabricante.

La propuesta estará basada en el empleo de dos equipamientos. En la etapa de codificación de la fuente el codificador EM2000 y en la etapa de multiplexación el adaptador de red y multiplexor Netprocessor N9030. Se escoge esta opción modular porque permite migrar el codificador hacia la emisora provincial de radio o ubicarlo en el centro de televisión principal y lograr su interconexión con el auxilio de tecnologías de transporte del TS, DVB-ASI o Ethernet/IP

### 3.3 Topología de red para inserción de contenido al TS Nacional

La figura 3.1 muestra la topología de red propuesta para la inserción de contenido regional adaptada al entorno de distribución actual. En ella la ubicación del adaptador de red/multiplexor será antes del equipamiento Rovers para poder insertar cualquier contenido mediante las interfaces DVB-ASI o Ethernet/IP para flujos de TDT. Esta posición garantiza que cualquier cambio realizado al **TS Nacional** es transmitido hacia las demás estaciones de televisión basado en la topología de red de distribución existente, lo que resulta ventajoso para cubrir toda la cobertura de la red de transmisores de la empresa RadioCuba.

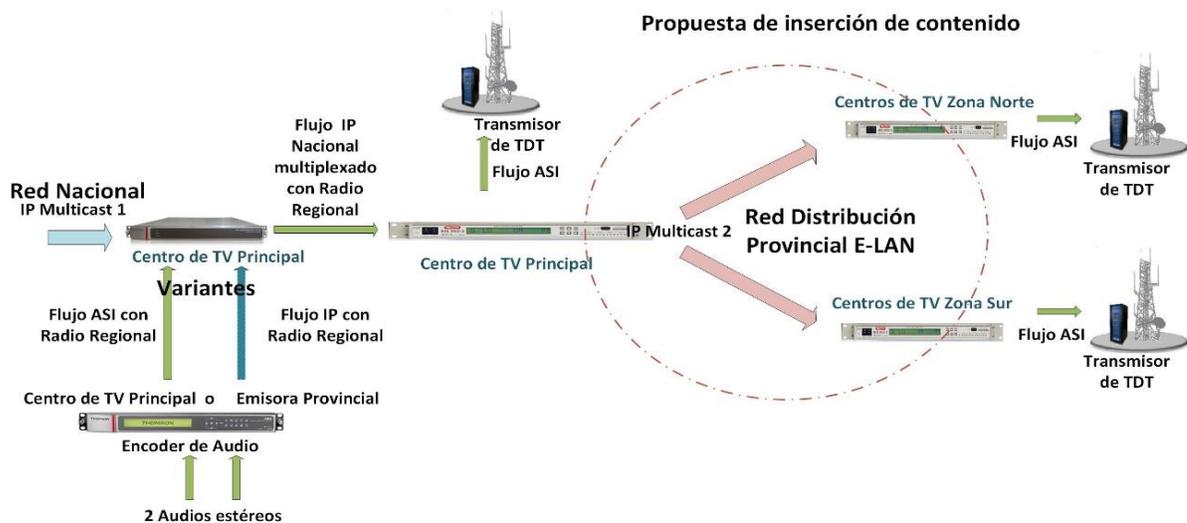


Figura 3.1: Propuesta tecnológica.

Asociado a esta convergería una red de supervisión y gestión para las tareas de administración y configuración del equipamiento, lo que facilitaría supervisar la calidad del servicio. Para el caso de estudio la interconexión será a través de la interfaz DVB-ASI. La cual no será objeto de descripción en esta tesis.

### 3.4 Configuración de la propuesta tecnológica

A continuación, se muestra la configuración de los descriptores de las tablas en el codificador de audio con dos programas de radio y las propuestas de codificación de audio con el objetivo de valorar su desempeño, en el anexo 2 y 3 se muestra la

posibilidad de selección del codificador de audio MPEG-1 capa dos y MPEG-4 AAC-HEv2, y la figura 3.2 muestra el resultado en el codificador.

Codificador: EM2000

- *transport\_stream\_id*: 1.
- *network\_id*: 100.
- Razón de bits del Canal TS: 1000 kbps.
- Señalización DVB-SI/PSI: tablas PAT, PMT, SDT, CAT, NIT y TOT
- *service\_id*: 1 y 2 respectivamente.
- *service\_name*: Radio Sancti Spíritus AM, Radio Sancti Spíritus FM
- *stream\_type*: (0x03 o 0x0F) componentes MPEG-1 o MPEG-4 AAC-HEv2audio
- *program\_map\_PID*: 4115 y 4116
- *elementary\_PID*: 201 y 202 con *PCR* incluido respectivamente.

EM2000 : Summary

Encoder 1						Expert parameters:OFF
Radio S.S. AM 1 Radio Service	Audio	201 [pcr]	Analog/AUD1	MPEG-1 stereo	192 kbit/s [-]	<b>1000 kbit/s -&gt; TS 1</b> 239.0.1.2:5000 ->Eth1 Out Eth1 Out -> Eth2 Out
					add component	
Radio S.S. FM 2 TV Service	Audio	202 [pcr]	Analog/AUD2	MPEG-1 stereo	192 kbit/s [-]	
					add component	

Figura 3.2: Configuración del codificador.

En el multiplexor la configuración está basada en los parámetros analizados en el capítulo dos, para ello se modifica el contenido de las tablas PAT, PMT y SDT y se insertan los descriptores de cada tipo asociado, la figura 3.3 muestra el resultado en el multiplexor.

Configuración del multiplexor N9030 para modificar el **TS Nacional**:

- *transport\_stream\_id*: 1.
- *network\_id*: 100.
- Razón de bits de canal: 18000 kbps.
- Señalización PSI/SI regenerada por el multiplexor: tablas PAT, PMT, SDT.

- Señalización PSI/SI retransmitida por el multiplexor de forma transparente: PIDs 1, 16, 18 y 20(Tablas CAT, EIT, NIT, TOT y TDT)
- PIDs de todos los componentes de audio y video del **TS Nacional** retransmitidos de forma transparente.
- *service\_name* en la tabla SDT: Radio Sancti Spíritus AM, Radio Sancti Spíritus FM
- *service\_id*: 19 y 20 respectivamente.
- *program\_map\_PID*: 4115 y 4116 respectivamente.
- *stream\_type*: (0x03 o 0x0F) componentes MPEG-1 o MPEG-4 audio
- *elementary\_PID*: 201 y 202 con *PCR* incluido respetivamente.

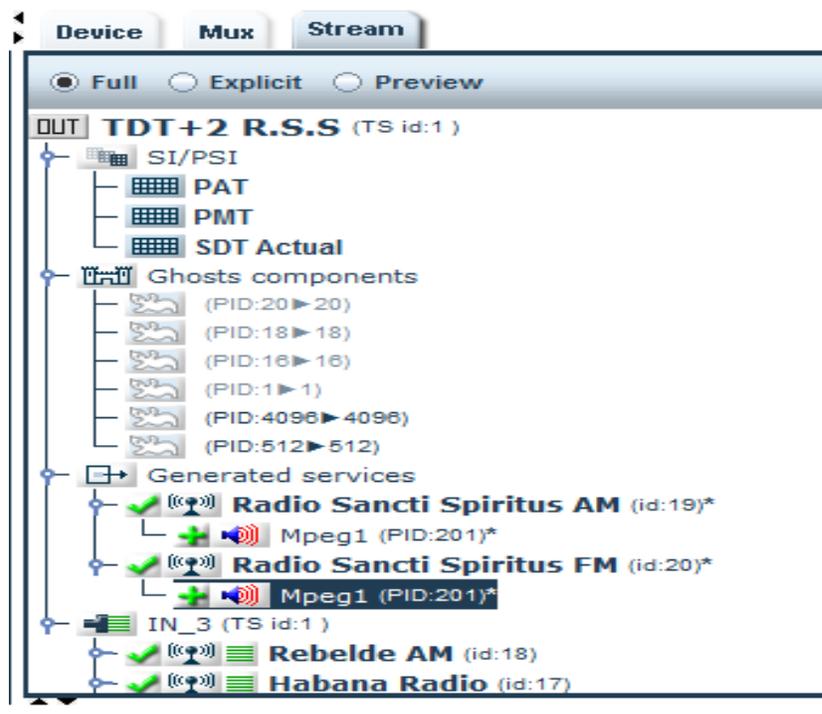


Figura 3.3: Configuración del multiplexor con contenido regional.

Como se puede observar se ha respetado la señalización DVB-SI/PSI del **TS Nacional** para posibilitar la inserción transparente del contenido. Además, nótese que esta propuesta suscita las posibilidades de investigación hacia dos escenarios. El primero con la inserción de contenido regional objetivo de la tesis, el segundo mediante la sustitución de todos los PIDs de audio por el componente de audio

MPEG-A ACC-HEv2 debido a las potencialidades del multiplexor, lo cual contribuiría a un estudio de la TDT en Cuba con esta codificación de audio.

### 3.5 Análisis de resultados del TS Regional

Un análisis de la efectividad de la propuesta realizada para dar respuesta al objetivo general de esta investigación conlleva a un conjunto de mediciones al **TS Regional** conformado, al igual que con el flujo **TS Nacional**, en un mismo periodo de tiempo similar al realizado en el capítulo dos. El set de medición esta vez se realizó en la interfaz DVB-ASI OUT del equipamiento Rovers.

#### 3.5.1 Resultados del Test basado en la Recomendación TR 101 290

La opción **290 Test** del software arroja la misma cantidad de errores de cada tipo que se mostraron en el análisis del capítulo dos, como se muestra la en la tabla 2.2. Es válido resaltar que no existe ningún error referido a los nuevos programas insertados para ambas codificaciones (error tipo dos). Este resultado demuestra que la inserción de los programas por la propuesta tecnológica no introdujo ninguna variación de los parámetros significativos que imposibilite su decodificación, o sea el **TS Regional** conserva consistencia y la estructura del mismo

Este aspecto puede ser analizado en más detalle por el comportamiento de las métricas del *PCR*, comparando los servicios insertados con los servicios nacionales. Un aumento de la cantidad de servicios mejora la eficiencia de la multiplexación del TS y varía ligeramente la correlación entre el *PCR* original de la fuente y del flujo generado.

La figura 3.4 y 3.5 muestra el comportamiento del *PCR* original y después de la multiplexación para los nuevos servicios y el comportamiento de un programa de televisión nacional mediante la opción *PCR\_ACCURACY*. Se puede observar que la desviación máxima no excede los 185 ns de +/-500 ns en el peor de los casos, lo que valida la no existencia de errores tipo dos para la propuesta realizada y la regeneración del reloj a 27 Mhz para estos tipos de programas en el receptor de TDT

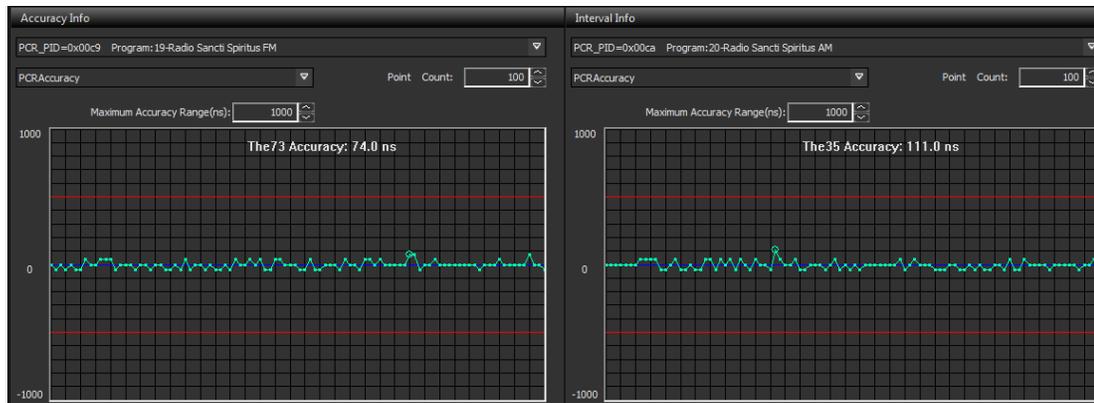


Figura 3.4: Análisis *PCR* Radio Sancti Spíritus AM y FM.

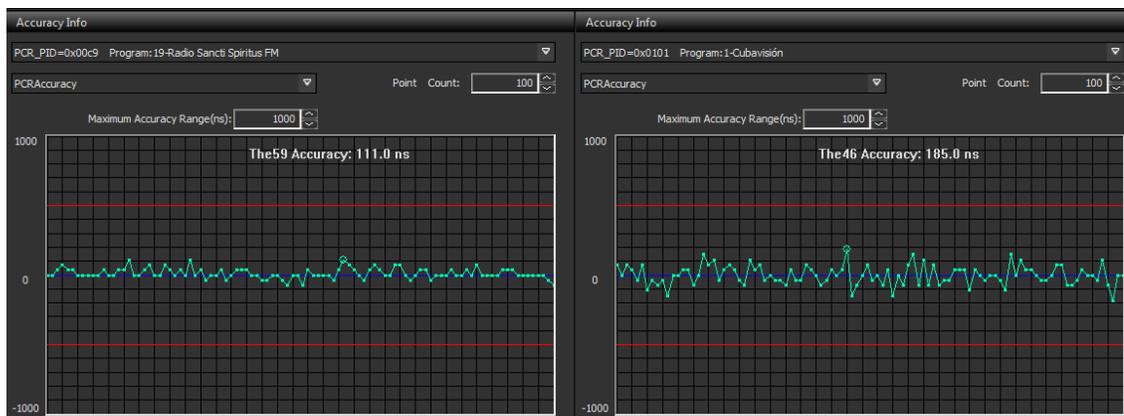


Figura 3.5: Análisis *PCR* para Radio Sancti Spíritus FM y Cubavisión.

La elección del programa Cubavisión no se basa en una causa particular pues todos los servicios son totalmente variables en el tiempo y todos tienen un comportamiento estadísticamente variable y semejante.

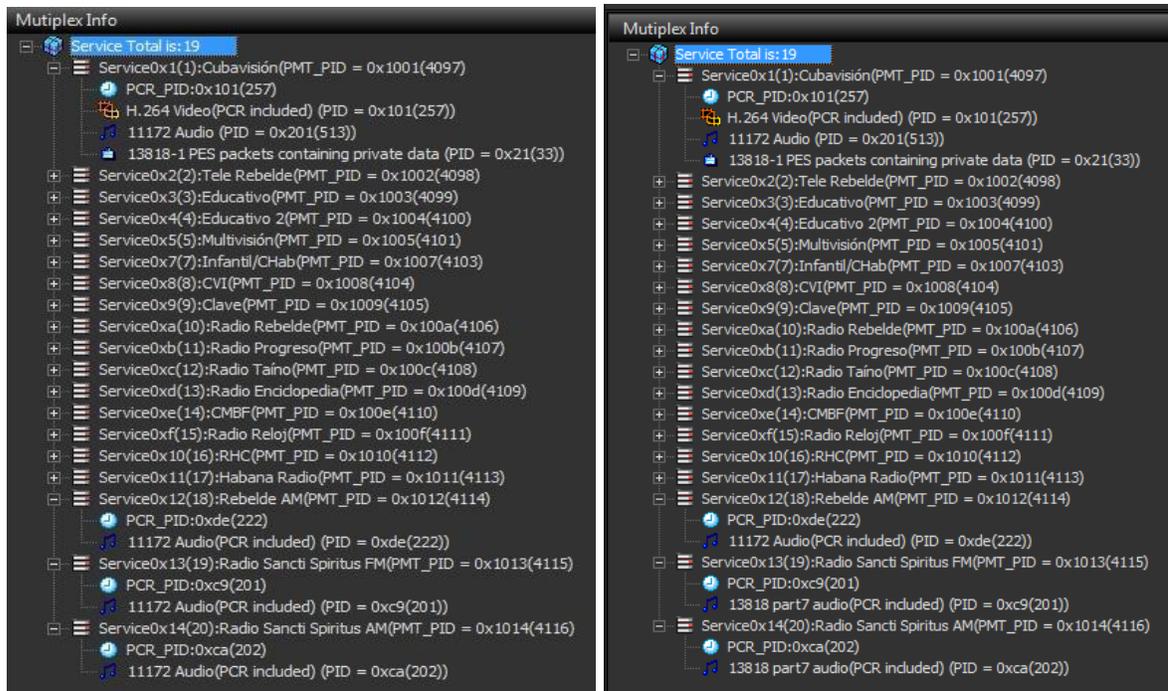
### 3.5.2 Señalización DVB-SI/PSI transmitida

La figura 3.6 muestra el resultado de la señalización a través de la opción **PSI/SI** del software con los nuevos programas y sus respectivos descriptores de códec de audio, video y *PCR* incluido. Se puede observar que la cantidad de servicios aumentó de los 17 que existían anteriormente a 19, manteniendo la configuración PID de los programas nacionales, en el anexo 6 se muestran las tablas de señalización de servicios. Nótese el resultado con la codificación MPEG-1 capa dos que se identifica con el descriptor 11172 en el escenario a) y en el escenario b) con

el códec HE-AACv2 que se identifica con el descriptor del contenedor de audio 13818 parte siete la cual constituye la propuesta del autor.

El descriptor 13818 parte siete corresponde a una sintaxis de encapsulación de tramas MPEG-4 HE-AAC v2, en formato flujo de transporte de datos de audio (ADTS, *Data of Audio Transport Stream*), el cual es la posibilidad que brinda este codificador. Los paquetes MPEG-4 HE-AAC v2 puede ser encapsulado en tramas con sintaxis ADTS o MPEG-4 original. El contenedor ADTS conforma un flujo en forma de tramas, cada trama contiene una cabecera seguida de los datos AAC, este necesita menos requisitos para ser decodificado que MPEG-4.

Observe también los nuevos servicios con valor *service\_id* (19 y 20) y los valores de *pmt\_id* (4115 y 4116) y la asignación del *PCR* al componente de audio. De igual modo la tabla SDT incluyó los nombres para estos nuevos programas de radio.



a)

b)

Figura 3.6: Resumen **TS Regional** para dos codificaciones MPEG- 1 capa dos (a) y MPEG-4 AAC-HEv2(b).

### 3.5.3 Análisis de la razón de bit del códec de audio HE-AACv2

Un análisis del comportamiento del nuevo códec de audio propuesto e implementado, se realizó durante el tiempo de prueba con la opción **Service** del software. Se pudo observar los valores de razón de bits de los servicios generados. Para ello se seleccionó el servicio de Radio (Radio Sancti Spíritus AM), la elección no se basa en una causa particular pues los nuevos servicios son totalmente semejantes en el tiempo. La figura 3.7 muestra los valores de máxima y mínima razón de bit transmitidos expresados en kbps para los siete días de prueba en las codificaciones propuestas.

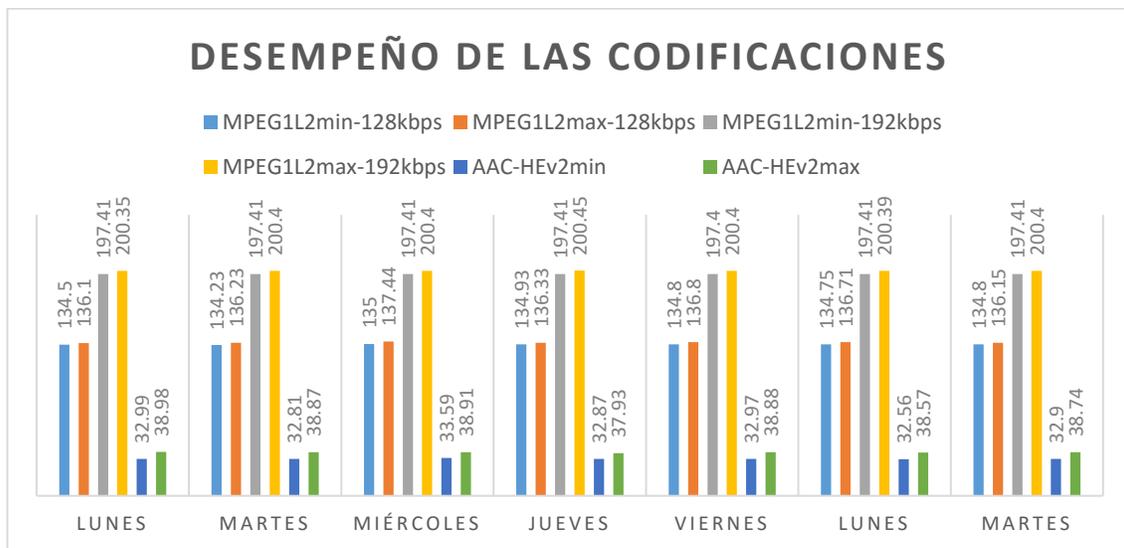


Figura 3.7: Desempeño del códec por el codificador propuesto.

En esta tabla se puede observar, que con el nuevo códec de audio ocurre una reducción de la razón binaria ya que sus valores oscilan entre 32 kbps y 37 kbps aproximadamente, para una razón de bit promedio de 35 kbps. Lo cual demuestra una diferencia considerable respecto al códec de audio actual para los servicios de radio. Nótese además el comportamiento típico y sintomático del codificador para su razón de bits, independiente de la señal de audio de entrada con respecto a los valores del **TS Nacional** y que HE-AAC v2 es aproximadamente un 74% más eficiente que MPEG-1 capa dos a 128 kbps, empleado actualmente en los servicios de radio.

### 3.5.4 Análisis del Canal TS Regional con dos programas de radio

El comportamiento del **TS Regional** con dos programas de Radio y diferentes codificaciones se observa en la figura 3.8, mediante un análisis a través de la opción **Band** del software en el periodo de investigación. Los valores del empleo del canal se calcularon restándole la mínima razón de bits nulos a la razón binaria total del flujo y ese resultado dividido por 18 Mbps, para diferentes codificaciones MPEG-1 capa dos y MPEG-4 AAC-HEv2.

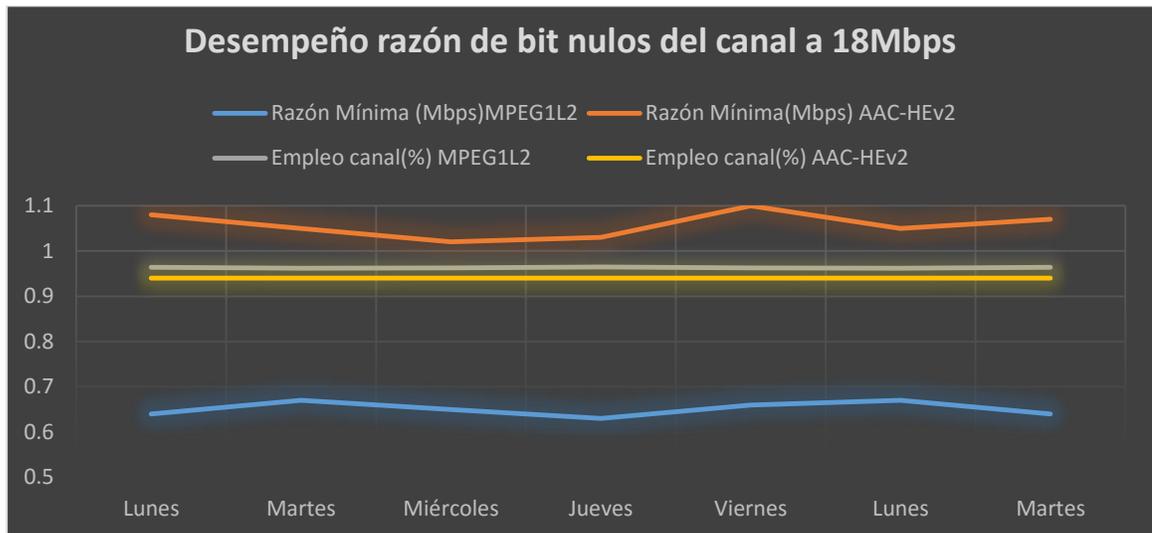


Figura 3.8: Desempeño del canal del **TS Regional** a 18Mbps.

El resultado de esta investigación arroja que el **TS Regional** con programas codificados en AAC-HEv2 presenta mejor eficiencia del empleo del canal que MPEG-1 capa dos. La causa se debe al comportamiento de la métrica razón de bit nulos, la cual para MPEG-1 capa dos a 192 kbps su valor mínimo es de 0.65 Mbps, para un uso promedio del canal del 96.3 por ciento, mientras que para AAC-HEv2 es de 1,01 Mbps para un uso promedio del canal del 94 por ciento. Además, nótese el comportamiento típico de estos parámetros en el periodo de prueba como las métricas obtenidas en el **TS Nacional** del capítulo dos

### 3.6 Análisis del TS Nacional sustituidos los componentes MPEG-1 por MPEG-4 AAC-HEv2

El siguiente escenario constituye una propuesta del autor en la cual se investiga el comportamiento del **TS Nacional** sin componentes regionales, al cual se sustituyen los componentes MPEG-1 por MPEG-4 AAC-HEv2 con *PCR* incluido. Esta configuración se muestra en la figura 3.9 a) en el multiplexor, mientras que la figura 3.9 b) muestra el resultado en el software Blue Top TS Analyzer en la opción **Summary**. El anexo 4 y 5 muestra la estrategia de generación de componentes y su sustitución en el multiplexor

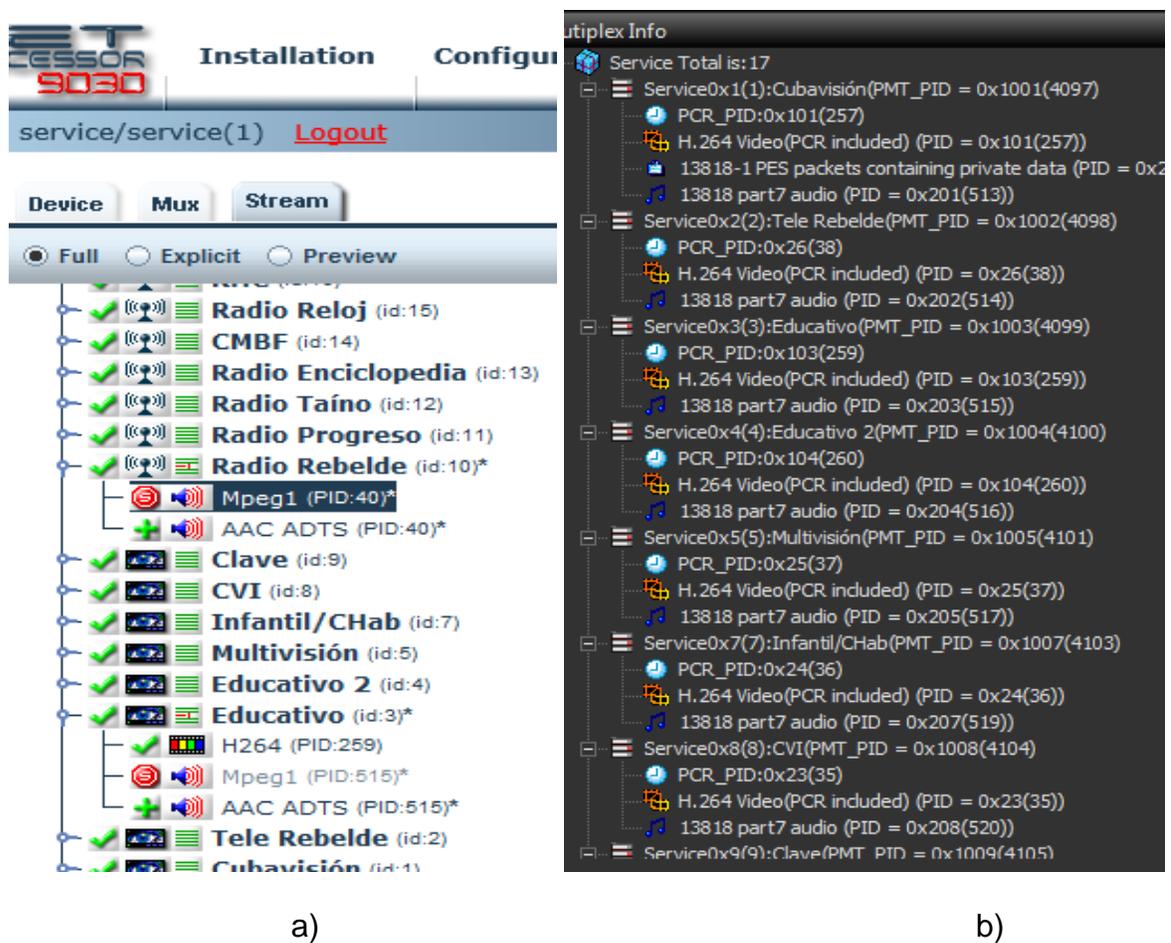


Figura 3.9: Resultados de la sustitución del **TS Nacional**, configuración en el multiplexor(a) y software TS Analyzer(b).

Los valores del empleo del canal se calcularon restándole la mínima razón de bits nulos a la razón binaria total del flujo y ese resultado dividiéndolo por 18 Mbps. El

uso del canal por el códec HE-AACv2 se halló sumando el porcentaje de los valores de audio, de los 17 programas del **TS Nacional**, el resultado se muestra en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Comportamiento del **TS Nacional** con el uso del códec HE-AACv2.

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Lunes	Martes
Tasa Canal	18	18	18	18	18	18	18
Máx. razón de <i>Stuffing</i>	3.044843	3.044845	3.044847	3.044846	3.044845	3.044847	3.044843
Mín. razón de <i>Stuffing</i>	2.868374	2.868376	2.868378	2.868377	2.868376	2.868378	2.868374
% Empleo del Canal	84.064	84.064	84.064	84.064	84.064	84.064	84.064
% Uso del canal por HE-AACv2	3.41	3.40	3.41	3.41	3.42	3.41	3.40

La tabla muestra el por ciento del empleo del canal con el códec HE-AACv2, mientras que un análisis comparativo con la codificación MPEG-1 se muestra en la figura 3.10.

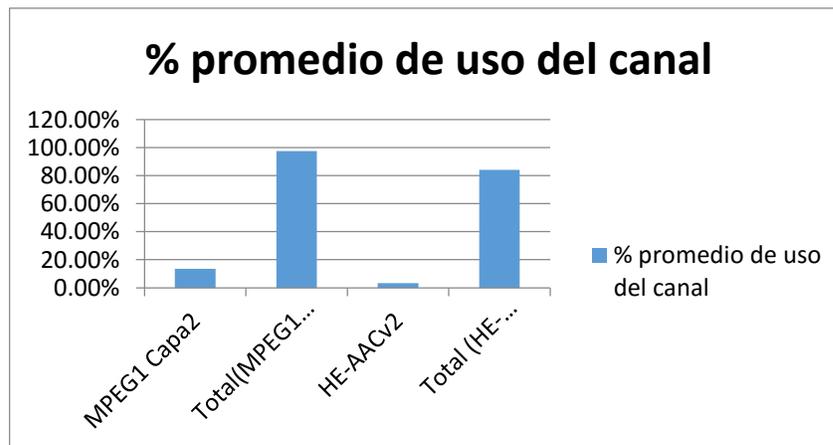


Figura 3.10: Empleo promedio del canal.

Observe que para el uso del códec de audio MPEG-1 Capa dos se muestra un 93.3% de empleo del canal total analizado en el capítulo dos, donde un 13.47% le corresponde al audio codificado. Mientras que para la nueva propuesta de audio MPEG-4 HE-AACv2 se utiliza el 84.06% del canal de transmisión, del cual solo el 3.41% es utilizado para la codificación de audio, con lo que se demuestra un uso más eficiente del canal de transmisión. Con el empleo del nuevo códec de audio se utilizan 15.13 Mbps aproximadamente de canal y se libera cerca de 3 Mbps. Esta razón de bit nulos liberada puede ser empleada para la inserción de nuevos programas de Radio o Televisión, o simplemente mejorar la calidad perceptual de los programas transmitidos.

### 3.7 Resultados de la calidad subjetiva de las codificaciones

Para evaluar la calidad subjetiva del audio generado por el codificador EM2000 y los códec propuestos, se evaluó cinco muestras de distinto contenido de audio para el programa Radio Sancti Spíritus FM, con el auxilio del software reproductor multimedia VLC. La figura 3.11 muestra la recepción del mismo.

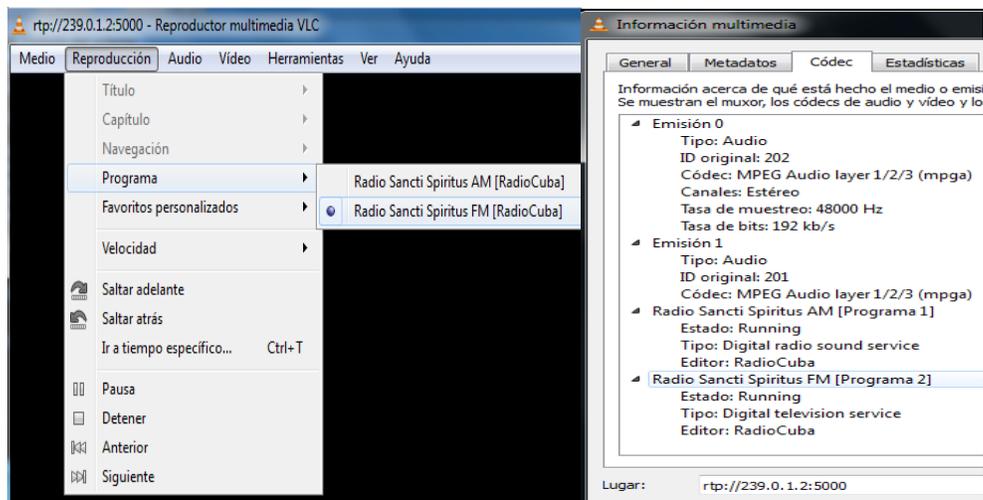


Figura 3.11: Método de prueba subjetiva a través del VLC.

Para determinar el puntaje de la calidad de escucha se tomó una fuente de quince usuarios del universo de trabajadores de empresa RadioCuba, los cuales dieron su opinión sobre el contenido de audio escuchado (Electrónica, Romántico, Jazz,

Clásico y Pop) y se tomó como patrón de referencia el audio no codificado en calidad CD con valor 5.

Se calculó el promedio de los puntajes de opinión de los usuarios para cada muestra de audio con los códec de prueba, con el cual se obtuvo la figura 3.12. La misma muestra que el códec HE-AACv2 a 32 kbps presenta una opinión promedio ligeramente superior a la codificación MPEG-1 capa dos a razón de 128 kbps y en algunos escenarios similar a MPEG-1 capa dos a razón 192 kbps, (un promedio de 4.24 para HE-AACv2, 4.46 para MPEG-1 capa dos a razón de 192 kbps y de 4.08 para MPEG-1 capa dos a 128 kbps). Este resultado valida el análisis realizado en el capítulo uno sobre las codificaciones AAC de baja razón de bit, debido a la mejora de la calidad perceptual para contenidos de audio.

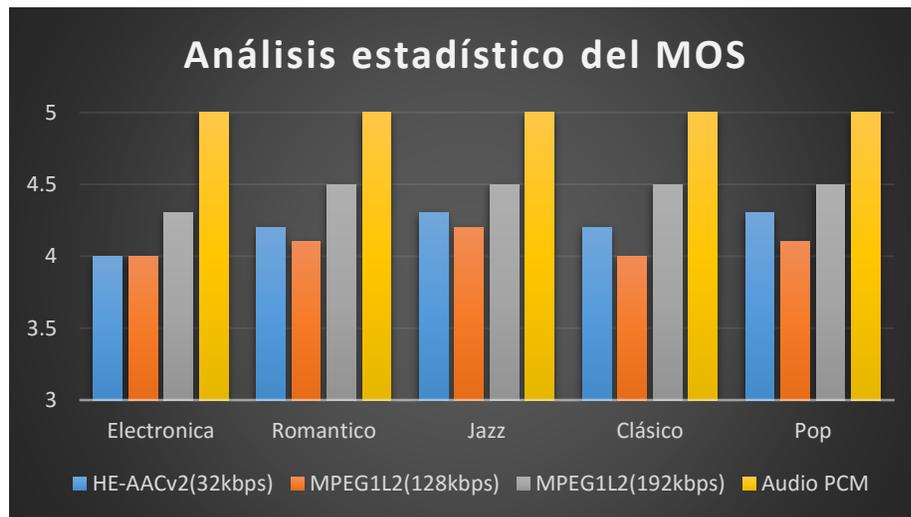


Figura 3.12: Análisis del MOS para diferentes escenarios.

### 3.8 Análisis económico de la propuesta

En el análisis de costo realizado, se han sido incluido los elementos relacionados con el equipamiento necesario para la implementación de la propuesta, incluye el multiplexor y el codificador para dos proveedores Thomson Video Network de Harmonic y Ericsson. Los datos son suministrados por la empresa RadioCuba. Se tiene en cuenta, que estos precios no son definitivos, pues durante el proceso de negociación el costo del equipamiento puede variar en función del volumen total de

la inversión. La licitación y los acuerdos contractuales establecidos con proveedores estratégicos influyen en la decisión final del equipamiento a adquirir.

Tabla 3.2 Evaluación económica de la propuesta con Thomson Video Network

Equipamiento	Descripción	Cantidad	Precio/Unidad USD	Precio/Total USD
N9030	Adaptador de Red y multiplexor de-TS, incluye accesorios y licencias	1	24197.47	24197.47
EM2000	Codificador de audio, incluye los códec de audio, accesorios y licencias MPEG-4 y MPEG-1	1	21559.62	21559.62
Total				45757.09

Tabla 3.3 Evaluación económica de la propuesta con Ericsson

Equipamiento	Descripción	Cantidad	Precio/Unidad USD	Precio/Total USD
MX8400	Adaptador de Red y multiplexor de-TS, incluye accesorios y licencias	1	32912	32912
AVP2000	Codificador de audio, incluye los códec de audio, accesorios y licencias MPEG-4 y MPEG-1	1	21682	21682
Total				54594

Luego de realizarse únicamente un análisis de los costos del equipamiento de los proveedores, es apreciable que la empresa Harmonic presenta mejores ofertas. Con este valor de los productos, se obtiene que el costo por línea del equipamiento

Harmonic es de 45757.09 mientras que el de Ericsson es de 54594; este último superior, aunque en ambos casos es elevado.

Como se puede observar, la cifra es considerablemente grande, sobre todo si se tiene en cuenta que en el proyecto se apoya en una infraestructura existente. Sin embargo, la gran cobertura de este servicio a nivel regional, las disímiles posibilidades tecnológicas de multiplexación, generación de nuevos servicios para la TDT y adaptabilidad, prevé capacidad de crecimientos para un futuro lo que hace viable la inversión de este equipamiento en función de la población

### 3.9 Conclusiones parciales

A modo de conclusión parcial, durante todo el capítulo se realizó un análisis del **TS Regional** con el contenido de audio basado en el códec MPEG-1 capa dos y HE-AACv2, mediante una propuesta tecnológica basado en la red de distribución existente. Los resultados arrojan que el empleo de la codificación HE-AACv2 respecto a MPEG-1 en el **TS Nacional** como en el **TS Regional** muestra una mejor eficiencia en cuanto a empleo del canal, mientras que el análisis de la calidad de audio perceptual corrobora que HE-AACv2 presenta una calidad subjetiva equiparable a MPEG-1 capa dos a razón de 128 kbps.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

Con los resultados alcanzados mediante la realización del presente trabajo de tesis se arribó a las siguientes conclusiones:

1. Las codificaciones de audio en materia de radiodifusión de TDT en la actualidad tienden al empleo de los códec de alta eficiencia de la familia AAC, del cual MPEG-4 HE-AAC v2 es el perfil de codificación de audio más eficiente que puede implementarse en la TDT en Cuba, sus valores típicos de razón de bit son de 24-32 kbps para una señal estéreo y tiene soporte multicanal.
2. La arquitectura y distribución de **TS Nacional** en la provincia de Sancti Spíritus responde a una topología punto a multipunto entre las estaciones de TDT, con un nodo central en CTV San Isidro. El **TS Nacional** posee un ancho de banda de 18.2 Mbps, constituido por 17 programas (8 de televisión y 9 de radio más un servicio de interactividad), 9 tablas de información de servicios y una razón de bits nulos superior a 1 Mbps lo cual permite la inserción de contenido regional.
3. La propuesta realizada a través del codificador y multiplexor demuestra la posibilidad de inserción de dos programas de radio respetando la señalización de información y configuración de componentes nacionales, debido a que se aumentó la cantidad de programas de radio 9 a 11. No se generó nuevos errores en la estructura y consistencia del **TS Regional**, y se mantuvo las 9 tablas de información de servicios, lo cual garantizó una remultiplexación transparente.

4. El desempeño del flujo **TS Regional** con la inserción de dos programas de radio mostró un comportamiento similar al **TS Nacional** en el set de mediciones. La remultiplexación regional es más eficiente con el empleo del códec HE-AAC v2 que con el códec actual MPEG-1 capa dos, ya que solo se empleó el 0.8 por ciento del canal de transmisión para estos programas. La calidad de audio obtenida con HE-AAC v2 presenta una calidad subjetiva equiparable a MPEG-1 capa dos a razón de 128 kbps y en algunos escenarios mejor.
5. La sustitución del códec de audio MPEG-1 capa dos por HE-AAC v2 de todos los componentes de audio en el **TS Nacional** disminuye el empleo del canal de 93.3% a 84.06%, del cual el 3.41% del canal es utilizado para la codificación de audio respecto al 13.47% actual, lo cual permitiría mejorar la cantidad o calidad de los programas transmitidos.

**Recomendaciones**

Se considera que las siguientes recomendaciones pueden ser de utilidad para enriquecer el estudio realizado y los resultados obtenidos:

1. Proponer a la empresa RadioCuba implementar el codec HE-AAC v2 de audio para futuras transmisiones del componente de audio en la TDT, en concordancia con las posibilidades de que sean decodificadas por los receptores de TDT.
2. Emplear el ancho de banda generado al reemplazar el códec de audio para mejorar o implementar nuevos servicios en la TDT.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

AAC	<i>Advanced Audio Coding</i>	Códec de Audio Avanzado
ACR	<i>Absolute Category Rating</i>	Evaluación de Categoría Absoluta
ADTS	<i>Data of Audio Transport Stream</i>	Flujo de Transporte de Datos de Audio
ASI	<i>Asynchronous Serial Interface</i>	Interfaz Serial Asíncrono
ATSC Avanzado	<i>Advanced Television Systems Committee</i>	Comité de Sistemas de Televisión
AVS	<i>Audio Video Standard</i>	Estándar de Audio y Video
BAT	<i>Bouquet Association Table</i>	Tabla de Asociación de <i>Bouquet</i>
BC	<i>Backwards Compatible</i>	Compatibilidad hacia Atrás
CAT	<i>Conditional Access Table</i>	Tabla de Acceso Condicional
CBR	<i>Constant Bit Rate</i>	Razón de Bit Constante
DTMB Digital Terrestre	<i>Digital Terrestrial Multimedia Broadcast</i>	Radiodifusión de Multimedia
DVB	<i>Digital Video Broadcasting</i>	Radiodifusión de Video Digital
DVB-T Terrestre	<i>Digital Video Broadcasting – Terrestrial</i>	Radiodifusión de Video Digital
EIT	<i>Event Information Table</i>	Tabla de Información de Eventos
EPG	<i>Electronic Program Guide</i>	Guía Electrónica de Programas
ES	<i>Elementary Stream</i>	Flujo Elemental
HD	<i>High Definition</i>	Alta Definición

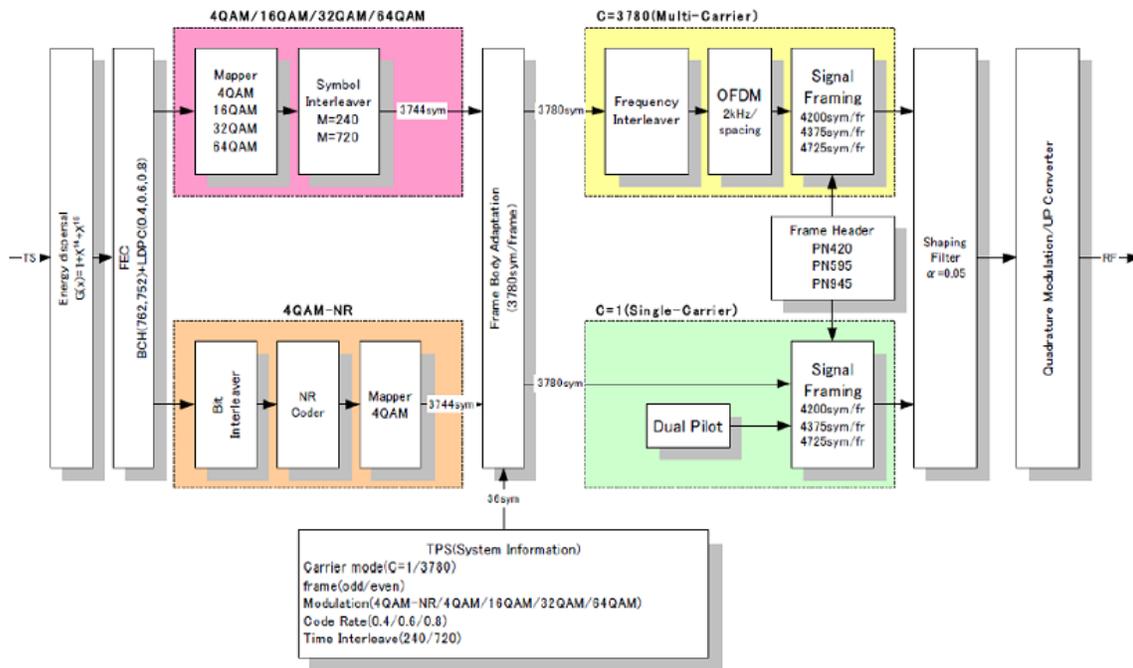
HEVC	<i>High Efficiency Video Coding</i>	Codificación de Video de Alta Eficiencia
IEC Internacional	<i>International Electrotechnical Commission</i>	Comisión Electrotécnico Internacional
IP	<i>Internet Protocol</i>	Protocolo de Internet
IRD	<i>Digital Integrated Receptor</i>	Receptor Digital Integrado
ISO de Estandarización	<i>International Organization for Standardization</i>	Organización Internacional de Estandarización
ISDB-T Digital de Servicios	<i>Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial</i>	Radiodifusión Digital de Servicios
UIT		Unión Internacional de Telecomunicaciones
LC	<i>Low Complexity</i>	Complejidad Baja
LFE	<i>Low Frequency Effects</i>	Emisión de Bajas Frecuencias
MOS	<i>Mean Opinion Scores</i>	Anotación de Opinión Media
MPEG	<i>Moving Picture Experts Group</i>	Grupo Experto de Imágenes en Movimiento
NIT	<i>Network Information Table</i>	Tabla de Información de la Red
PAT	<i>Program Allocation Table</i>	Tabla de Asociación de Programa
PCR	<i>Program Clock Reference</i>	Reloj de Referencia de Programa
PES	<i>Packetized Elementary Stream</i>	Paquetes de Flujos Elementales
PID	<i>Packet Identifier</i>	Identificador de Paquetes
PMT	<i>Program Map Table</i>	Tabla de Mapa de Programa
PS	<i>Parametric Stereo</i>	Estéreo Paramétrico
PSNR	<i>Relation Sign to Noise of Crest</i>	Relación Señal a Ruido de Cresta
RFC	<i>Request for Comments</i>	Petición de Comentarios
SBR	<i>Spectral Band Replication</i>	Replicación de Banda Espectral
SD	<i>Standard Definition</i>	Definición Estándar
SDI	<i>Interface Digital Serial</i>	Interfaz Digital Serie
SDT	<i>Service Description Table</i>	Tabla de Descripción de Servicio
TDT	<i>Time and Date Table</i>	Tabla de Datos y Hora

---

TDT	<i>Digital Television Terrestrial</i>	Televisión Digital Terrestre
TOT	<i>Time Offset Table</i>	Tabla de Compensación de Tiempo
TS	<i>Transport Stream</i>	Flujo de Transporte
UHD	<i>Television Ultra High Definition</i>	Televisión de Ultra Alta Definición
VBR	<i>Variable Bit Rate</i>	Razón de Bit Variable

# ANEXOS

## Anexo 1 Estructura de un Transmisor DTMB. Fuente: [54]



## Anexo 2 Tecnologías de codificación de audio del codificador EM2000. Fuente: Propia

**Audio Configuration / AUD1**

General AAC Dolby Misc. Level Adjustment

Source Analog

Group/Channel 1/1

Alignment Level -2.0 dBu

Headroom 18 dB (0 dB to 24 dB)

Additional Delay 0 ms (-500 ms to +500 ms)

Standard MPEG-1 Layer II

Mode AAC LC  
AAC HE  
AAC HE v2  
Dolby AC3  
AC3 Transport  
AC3+ Transport

PCR  On  Off

Language Spanish (spa) spa

Audio type Undefined

Status On Air

submit reset

## Anexo 3 Sintaxis de configuración AAC del codificador EM2000. Fuente: Propia

EM2000 : Encoder 1 : Service 3 : Audio 515

**Audio Configuration / AUD1**

General AAC Dolby Misc. Level Adjustment

Syntax MPEG-4

Packet ADTS

 MPEG-4 HE-AAC audio coding technology licensed by [Fraunhofer IIS](#)

submit reset

## Anexo 4 Generación de servicios AAC-HEv2 del codificador EM2000. Fuente: Propia

EM2000 : Summary

The screenshot shows the 'Encoder 1' configuration window in the EM2000 interface. It displays two identical encoder configurations for 'TEST AAC HE 1' services. Each configuration lists audio components with their respective PID numbers, patterns, and bitrates. The first configuration is for 'TS 1' with a bitrate of 500 kbit/s, and the second is for 'TS 2' with a bitrate of 500 kbit/s. The interface includes buttons for 'add component', 'add service', 'add\_ghost TS1', and 'add\_ghost TS2'. The 'Expert parameters:OFF' option is also visible.

Component	PID	Pattern	Audio	Bitrate
TEST AAC HE 1	40	Pattern/AUD2	AAC stereo	32 kbit/s
Radio Service	273	Pattern/AUD3	AAC stereo	32 kbit/s
	261	Pattern/AUD4	AAC stereo	32 kbit/s
	262	Pattern/AUD5	AAC stereo	32 kbit/s
	263	Pattern/AUD6	AAC stereo	32 kbit/s
	264	Pattern/AUD7	AAC stereo	32 kbit/s
	265	Pattern/AUD8	AAC stereo	32 kbit/s
	515	Pattern/AUD1	AAC stereo	32 kbit/s

## Anexo 5 Estrategia de sustitución de componentes. Fuente: Propia

The screenshot shows the 'NET PROCESSOR 9030' interface. The top navigation bar includes 'Installation', 'Configuration', and 'Maintenance'. The user is logged in as 'service/service(1)'. The 'Monitoring' tab is active, displaying a tree view of components. The left pane shows 'IN\_4 (TS id:1 from IPTV Telecentro)' with a list of 'TEST\_AAC\_HE' components and their AAC ADTS PIDs. The right pane shows a detailed view of the 'Full' stream configuration, listing various radio services like 'Radio Reloj', 'CMBF', 'Radio Enciclopedia', 'Radio Taíno', 'Radio Progreso', 'Radio Rebelde', 'Clave', 'CVI', 'Infantil/CHab', 'Multivisión', 'Educativo 2', 'Educativo', 'Tele Rebelde', and 'Cubavisión'. The interface also includes buttons for 'Save', 'Apply', and 'Alarm'.

## Anexo 6 Resultados de la información de servicios del TS Regional. Fuente: Propia

The screenshot displays the PSI/SI Info tool interface, showing a hierarchical tree view of service information. The left pane is titled "PSI/SI Info" and contains the following structure:

- PSI
  - PAT (PID =0x0000(0))
  - CAT (PID =0x0001(1))
  - NIT (PID =0x0010(16) ,0x0001(1) Nits)
  - PMT (0x0013(19)programs)
    - program0x0001(1)(program\_number=0x0001)
    - program0x0002(2)(program\_number=0x0002)
    - program0x0003(3)(program\_number=0x0003)
    - program0x0004(4)(program\_number=0x0004)
    - program0x0005(5)(program\_number=0x0005)
    - program0x0007(7)(program\_number=0x0007)
    - program0x0008(8)(program\_number=0x0008)
    - program0x0009(9)(program\_number=0x0009)
    - program0x000a(10)(program\_number=0x000a)
    - program0x000b(11)(program\_number=0x000b)
    - program0x000c(12)(program\_number=0x000c)
    - program0x000d(13)(program\_number=0x000d)
    - program0x000e(14)(program\_number=0x000e)
    - program0x000f(15)(program\_number=0x000f)
    - program0x0010(16)(program\_number=0x0010)
    - program0x0011(17)(program\_number=0x0011)
    - program0x0012(18)(program\_number=0x0012)
    - program0x0013(19)(program\_number=0x0013)
    - program0x0014(20)(program\_number=0x0014)
- SI
  - SDT (PID =0x0011(17),0x0001(1) Tables)
    - table\_id = 0x0042(66)
      - transport\_stream\_id =0x0001(1),or
      - section\_number =0x0000(0)
  - EIT (PID =0x0012(18))
  - TDT (PID =0x0014(20))
  - TOT (PID =0x0014(20))

The right pane shows the expanded details for a service descriptor (service\_id=0x0014(20)). The fields are:

- Service Desc(service\_id=0x000d(13))
- Service Desc(service\_id=0x000e(14))
- Service Desc(service\_id=0x000f(15))
- Service Desc(service\_id=0x0010(16))
- Service Desc(service\_id=0x0011(17))
- Service Desc(service\_id=0x0012(18))
- Service Desc(service\_id=0x0013(19))
  - EIT\_schedule\_flag=0x0000(0)
  - EIT\_present\_following\_flag=0x0000(0)
  - running\_status=0x0004(4)
  - free\_CA\_mode=0x0000(0)
  - descriptor\_loop\_length=0x0026(38)
- service\_descriptor
  - descriptor\_tag=0x0048(72)
  - descriptor\_length=0x0024(36)
  - service\_type=0x0002(2)
  - service\_provider\_length=0x0009(9)
  - service\_provider\_name=RadioCuba
  - service\_name\_length=0x0018(24)
  - service\_name=Radio Sancti Spiritus FM
- Service Desc(service\_id=0x0014(20))
  - EIT\_schedule\_flag=0x0000(0)
  - EIT\_present\_following\_flag=0x0000(0)
  - running\_status=0x0004(4)
  - free\_CA\_mode=0x0000(0)
  - descriptor\_loop\_length=0x0026(38)
- service\_descriptor
  - descriptor\_tag=0x0048(72)
  - descriptor\_length=0x0024(36)
  - service\_type=0x0002(2)
  - service\_provider\_length=0x0009(9)
  - service\_provider\_name=RadioCuba
  - service\_name\_length=0x0018(24)
  - service\_name=Radio Sancti Spiritus AM
- CRC\_32
  - CRC\_32=0x46b9e2f9

At the bottom of the tool, there are two tabs: "Tree Display" and "Table Display".

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ITU, "Regional Workshop: Digital Television Migration Technical Aspects, " Barbados, 2012.
- [2] A. Martínez Alonso y R. Martínez Alonso, "EVALUACIÓN COMPARATIVA DE ESTÁNDARES DE RADIODIFUSIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE, " de *3 Foro Internacional de TDT*, La Habana, 2015.
- [3] J. Castillo, *El futuro de la televisión. Comunicación y Hombre*, 2015.
- [4] R. Mark S., P. Laven, C. Bernard y L. Hon-Jin, "Future of Broadcast Terrestrial Television. Initiative Memorandum of Understanding, " 2013.
- [5] Digitag, "ROADMAP FOR THE EVOLUTION OF DTT – A bright future, " London, 2012.
- [6] ITU, "The roadmap for UHDTV, " Budapest, 2014.
- [7] Ofcom, "Report for Penetration of DTT in Worl Wide for Europe, " London, 2013.
- [8] C. Zhang, "Design and Implementation of Single Frequency Networks for DTMB System, " de *3 Foro de TV Digital*, La Habana, 2015.
- [9] J. V. PRADILLA CERÓN, "Tecnología de canal de retorno para el estándar DVB-T mediante el uso de WRAN, " Santiago de Cali, 2012.
- [10] EBU, "Image Formats for Television Production, " Geneva, 2010.
- [11] UIT, "RECOMENDACION UIT-R BS.646-1, " Geneva, 1992.

- 
- [12] UIT, "Recomendación UIT-R BS.1548-4, Requisitos de usuario para sistemas de codificación de audio en radiodifusión digital", Geneva, 2013.
- [13] Ministerio de las Comunicaciones, "Resolución 230/2014, " La Habana, 2014.
- [14] ITU, "Recommendation ITU-R BT.1870-1, Video coding for digital television broadcasting emission", Geneva, 2015.
- [15] ITU, "Recommendation ITU-R BT.2073-1, Use of the high efficiency video coding (HEVC) standard for UHD TV and HDTV Broadcasting", Geneva, 2015.
- [16] ITU, "Recommendation ITU-R BS.1196-5, Audio coding for digital broadcasting, " Geneva, 2015.
- [17] G. Bosi, "Introduction to audio coding and standards, " Boston, 2003.
- [18] Fraunhofer Institute, "The AAC Audio Coding Family for Broadcast and Cable TV, " Erlangen, 2012.
- [19] M. Dietz, L. Liljeryd y K. Kjolring, "Spectral Band Replication, a Novel Approach in Audio Coding, " de *AES Convention*, Munich, 2002.
- [20] L. Herrera y C. Tipantuña, "Revisión del Estado del Arte de los Estándares de Codificación y Compresión de Audio MPEG y sus Aplicaciones, " *Revista Politécnica*, vol. 35, nº 1, 2015.
- [21] M. Herrera Martínez, D. Páez Soto y M. Ricardo Pérez, "Pruebas subjetivas de audio-codecs durante el periodo 2010-2012 en la Universidad de San Buenaventura, " Bogotá, 2013.
- [22] M. Schnell, R. Geiger, M. Schmidt, M. Jander y M. Multrus, "Enhanced MPEG-4 Low Delay AAC - Low Bitrate High Quality Communication, " Erlange, 2012.

- 
- [23] J. Herre y M. Dietz, "MPEG-4 HIGH-EFFICIENCY AAC CODING, " Erlangen, 2010.
- [24] NAB, NAB Engineering HandBook 10 Edition, 2007.
- [25] A. Manas y M. Neha, "Audio Compression in MPEG, " *International Journal of Scientific and Research Publications*, vol. 3, nº 12, 2013.
- [26] ANSI/SCTE, "MPEG-4 AAC Family Audio System – Part 1 Coding Constraints for Cable Television, " 2014.
- [27] S. Meltzer y G. Moser, "MPEG-4HE-AAC v2 — audio coding for today's digital media world, " 2006.
- [28] Dolby Laboratories, Inc., " Audio for Next-Generation Broadcast Services: The Dolby MS10 Multistream Decoder Solution", 2012.
- [29] ISO/IEC, "Recommendation IISO/IECC 13818-1, Generic Coding of moving picture and associated audio information: Systems, " 2000.
- [30] ETSI, "Recommendation ETSI TS 101 211 V1.12.1, Guidelines on implementation and usage of Service Information (SI), " 2013.
- [31] ETSI, "Recommendation ETSI TS 102 154 V1.2.1, Implementation guidelines for the use of Video and Audio Coding in Contribution and Primary Distribution Applications based on the MPEG-2 Transport Stream, " 2004.
- [32] ETSI, "Recommendation ETSI EN 300 468 V1.14.1, Specification for Service Information (SI) in DVB systems, " 2014.
- [33] ETSI, "Recommendation ETSI TS 101 154, Specification for the use of Video and Audio Coding in Broadcasting Applications based on the MPEG-2 TS, " 2015.

- [34] DVB, "Técnicas de multiplexación MPEG-2 TS, " Madrid, 2008.
- [35] UIT, "Recomendación UIT-R BT.1300-3, Métodos múltiplex de servicio, transporte e identificación para la radiodifusión", Geneva, 2005.
- [36] Xilinx, "Statical Multiplexing/ Remultiplexers. Programmable Solutions for the Broadcast Industry, " London, 2014.
- [37] A. Florin Antone, "A Study on the Optimal Implementation of Statical Multiplexing in DVB Distribution System, " 2013.
- [38] P. Vidal, "FLEXTREAM: Efficient data handling, " TV Networks, 2013.
- [39] RedIntercable, "Headend IP/DVB, " Buenos Aires, 2013.
- [40] ETSI, "Recommendation ETSI TS 102 005 V1.4.1 Specification for the use of Video and Audio Coding in DVB services delivered directly over IP protocols, " 2010.
- [41] DVB, "Introduction to the DVB Project, " 2014.
- [42] Harmonics, "Data Transmission Efficiency,» Digital Video Solutions, 2002.
- [43] Imagine Communications, "Imagine Communications, " (2016). [En línea]. Available:  
[http://www.imaginecommunications.com/sites/default/files/tvtechnology\\_product\\_innovation\\_awards\\_12-2015\\_-\\_selenio\\_mcp\\_uhd\\_and\\_ucip.pdf](http://www.imaginecommunications.com/sites/default/files/tvtechnology_product_innovation_awards_12-2015_-_selenio_mcp_uhd_and_ucip.pdf).
- [44] ETSI, "Recommendation: ETSI TR 101 290 v1.3.1, Measurement guidelines for DVB systems, " 2014.
- [45] A. Remancha, "Profesional Congress Broadcasting Experience, " 2013.

- 
- [46] IEEE Broadcast, "Monitoring DTT Real Time Applications, " Montreal, 2008.
- [47] ITU, "Recommendation BS. 1543-1, Method for the subjective assessment of intermediate sound quality (MUSHRA), " Geneva, 2001.
- [48] UIT, " Recomendación UIT-R BS.1283-1, Guía de las Recomendaciones UIT-R sobre la evaluación subjetiva de la calidad de sonido", Geneva, 2003.
- [49] UIT, " Recomendación UIT-P 800: Métodos de evaluación objetiva y subjetiva de la calidad, " Geneva, 1996.
- [50] J. Joskowicz, "Calidad de Voz y Video, " Montevideo, 2012.
- [51] A. Walker Heredia, L. Giraldo y R. Rodr, "Proyecto de asignacion de canales para la trasmision de television digital terrestre en Cuba, " 1 Foro de TV Digital, La Habana, 2013.
- [52] Lacetel, "Lacetel, “. (2016). [En línea]. Available: <http://www.lacetel.cu>.
- [53] ETECSA, "Informe de estado conectividad para servicios a Empresa RadioCuba, " La Habana, 2013.
- [54] C. Zhang, "Technical Review for DTMB Standard and System, " 3er Foro de la TDT, La Habana, 2015.