

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**GENERACIÓN DE UNA TRAMA BROADCAST TRANSPORT  
STREAM (BTS) USANDO EL SOFTWARE LIBRE  
OPENCASTER**

Tesis para optar el Título de Ingeniero de las Telecomunicaciones, que  
presenta el bachiller:

**LUIS ALBERTO VENEGAS PICÓN**

**ASESOR: ING. MARCO MAYORGA MONTOYA**

**Lima, 22 de Mayo del 2012**

## **Resumen**

La presente tesis consiste en la generación de una trama Broadcast Transport Stream (BTS) con contenido de audio, video y datos, así como, la generación de una trama con una aplicación interactiva embebida utilizando el software libre OpenCaster.

Se inició con el análisis del diagnóstico del problema que motivo el desarrollo de esta tesis, buscando explicar el marco actual de la televisión digital terrestre en el Perú y una breve descripción de su problema económico debido a su infraestructura. A continuación, se describen las tecnologías involucradas en el sistema donde se estudió a detalle el funcionamiento de las tablas PSI (Program Specific Information) para su posterior diseño en software.

Luego, se realizó el diseño de los inputs necesarios antes de la multiplexación de paquetes para la generación del BTS. A continuación, se describió la arquitectura del sistema generador del BTS así como también especificaciones del software libre a usar para la multiplexación: OpenCaster. Posteriormente, se procedió con la generación de la trama BTS en 3 escenarios: con un servicio de TV digital SD, 2 servicios de TV digital SD y un servicio SD con una aplicación interactiva (GINGA) embebida.

Finalmente, se realizaron las pruebas de las tramas BTS generadas por medio de un analizador de tramas. Para los servicios de TV digital SD también se hizo pruebas en un escenario IP. Además, se hicieron conclusiones de la presente tesis, algunas recomendaciones y sugerencias para trabajos futuros que permitirán profundizar el tema de investigación sobre sistemas de TV digital basados en software libre.





## ***Dedicatoria***

A mis padres José y Elizabeth,  
mi familia y a mis amigos.

## **Agradecimientos**

A Dios, por guiarme siempre por el buen camino, mantener a mi familia unida y permitir que me desarrolle como persona.

A mis padres José Antonio y Elizabeth, quienes siempre me apoyaron en todo sentido y me dieron las facilidades para poder cumplir mis objetivos y desarrollarme como profesional.

A todos los profesores de la especialidad de Ingeniería de las Telecomunicaciones, quienes intervinieron en mi formación profesional.

Al Ing. Marco Mayorga, Ing. Carlos Solís e Ing. Arturo Díaz por su apoyo en este proyecto.

A todos mis amigos, por todo el apoyo que me brindaron, por compartir muchas anécdotas que me permitieron tener gratos recuerdos en mi vida.

A todos ustedes, ¡muchas gracias!

# Índice

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>IX</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	<b>XI</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO 1 DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>13</b>
1.1 Marco Problemático .....	13
1.2 Definición del problema .....	14
1.3 Justificación .....	15
1.4 Solución planteada .....	16
<b>CAPÍTULO 2 TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE Y DESCRIPCIÓN DE TECNOLOGÍAS INVOLUCRADAS EN EL SISTEMA</b> .....	<b>17</b>
2.1 Televisión digital terrestre .....	17
2.1.1 Ventajas .....	18
a) Calidad de video y sonido .....	18
b) Mejor aprovechamiento del espectro .....	19
c) Más contenidos .....	20
d) Movilidad y portabilidad .....	21
e) Interactividad .....	21
2.2 Aspectos técnicos del estándar ISDB-T .....	22
2.2.1 Codificación .....	23
a) Codificación de video .....	23
b) Codificación de audio .....	24
2.2.2 Multiplexación .....	24
a) Descripción general .....	25
b) Tablas PSI .....	26
2.2.3 Transmisión .....	31
2.2.4 Recepción .....	32
2.2.5 Interactividad .....	33
2.2.6 Televisión Digital Móvil: One-seg .....	33
2.3 Solución basada en software para la transmisión de la señal ISDB-T .....	34
2.3.1 Tarjeta DEKTEC .....	34
2.3.2 Software Village Flow .....	35
2.3.3 Esquema básico de la solución .....	35
2.4 Linux .....	36
2.5 Python .....	36
<b>CAPÍTULO 3 DISEÑO DE LOS INPUTS PARA LA GENERACIÓN DE UNA TRAMA BROADCAST TRANSPORT STREAM (BTS)</b> .....	<b>38</b>

3.1	Arquitectura del sistema generador del BTS .....	38
3.1.1	Inputs y esquema de la arquitectura de la solución .....	38
3.1.2	OpenCaster.....	40
3.2	Diseño de las tablas PSI en código.....	41
3.2.1	Tabla NIT.....	41
3.2.2	Tabla SDT .....	42
3.2.3	Tabla PAT .....	44
3.2.4	Tabla PMT.....	46
3.2.5	Tabla TDT.....	48

## **CAPÍTULO 4 GENERACIÓN DE LA TRAMA BROADCAST TRANSPORT STREAM (BTS)..... 49**

4.1	Instalación del OpenCaster.....	49
4.2	Encapsulamiento del contenido en formato TS (Transport Stream).....	50
4.2.1	Encapsulamiento del Video .....	50
4.2.2	Encapsulamiento del Audio.....	50
4.3	Generación de una trama BTS de un Servicio de TV digital SD .....	51
4.4	Generación de una trama BTS de dos Servicios de TV digital SD .....	53
4.5	Generación de una trama BTS con aplicación Ginga NCL.....	56

## **CAPÍTULO 5 PRUEBAS DE LA TRAMA BTS GENERADA..... 60**

5.1	Escenario de Pruebas.....	60
5.1.1	Escenario RF .....	61
5.1.2	Escenario IP .....	63
5.2	Prueba de la trama BTS de un servicio de TV digital SD.....	64
5.2.1	Escenario RF .....	64
5.2.2	Escenario IP .....	65
5.3	Prueba de la trama BTS de dos servicios de TV digital SD.....	68
5.4	Prueba de la trama BTS con aplicación Ginga NCL.....	70

## **CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS..... 72**

6.1	Conclusiones.....	72
6.2	Recomendaciones .....	73
6.3	Trabajos futuros.....	74

## **BIBLIOGRAFÍA..... 75**

## **ANEXOS..... 77**



## ***Lista de Figuras***

<b>FIGURA 2-1:</b> Resolución de imagen de televisión .....	18
<b>FIGURA 2-2:</b> Aspecto convencional y panorámico .....	19
<b>FIGURA 2-3:</b> Audio analógico y audio digital.....	19
<b>FIGURA 2-4:</b> Ejemplo de asignación de servicios .....	20
<b>FIGURA 2-5:</b> Cadena de Valor para interactividad con Ginga .....	22
<b>FIGURA 2-6:</b> Arquitectura del estándar .....	23
<b>FIGURA 2-7:</b> Multiplexaje de señal digital ISDB-T .....	25
<b>FIGURA 2-8:</b> Paquete TS.....	25
<b>FIGURA 2-9:</b> Trama BTS con tablas PSI.....	26
<b>FIGURA 2-10:</b> Estructura de datos Tabla PAT .....	26
<b>FIGURA 2-11:</b> Estructura de datos Tabla PMT .....	27
<b>FIGURA 2-12:</b> Estructura de datos Tabla CAT .....	27
<b>FIGURA 2-13:</b> Estructura de datos Tabla NIT.....	28
<b>FIGURA 2-14:</b> Estructura de datos Tabla TDT .....	28
<b>FIGURA 2-15:</b> Estructura de datos Tabla SDT .....	29
<b>FIGURA 2-16:</b> Estructura de datos Tabla BIT.....	29
<b>FIGURA 2-17:</b> Estructura de datos Tabla EIT.....	30
<b>FIGURA 2-18:</b> Configuración de Transmisión.....	31
<b>FIGURA 2-19:</b> Configuración básica de sistema de recepción .....	32
<b>FIGURA 2-20:</b> Esquema de la transmisión one-seg .....	33
<b>FIGURA 2-21:</b> Tarjeta DTA-115 DEKTEC .....	34
<b>FIGURA 2-22:</b> Esquema basico de solucion basada en software .....	35
<b>FIGURA 3-1:</b> Esquema de la arquitectura solución.....	39
<b>FIGURA 3-2:</b> Encapsulamiento de datos .....	40
<b>FIGURA 4-1:</b> Ejecucion del Script TablasPSI_SD.....	51
<b>FIGURA 4-2:</b> Tablas generadas del script TablasPSI_SD .....	52
<b>FIGURA 4-3:</b> Ejecución de Script TablasPSI_2SERVICIOS .....	54
<b>FIGURA 4-4:</b> Tablas generadas del script TablasPSI_2SERVICIOS .....	54
<b>FIGURA 4-5:</b> Ejecución de Script GINGA .....	57
<b>FIGURA 4-6:</b> Tablas generadas GINGA .....	57
<b>FIGURA 5-1:</b> Tarjeta DTA-115 instalada en CPU .....	62
<b>FIGURA 5-2:</b> Dektec StreamXpress .....	62
<b>FIGURA 5-3:</b> Escenario RF .....	63
<b>FIGURA 5-4:</b> Pruebas SD.....	64

<b>FIGURA 5-5:</b> Configuración VLC .....	66
<b>FIGURA 5-6:</b> Escenario IP SD.....	67
<b>FIGURA 5-7:</b> Escenario IP SD_1.....	68
<b>FIGURA 5-8:</b> Pruebas Canal SD .....	69
<b>FIGURA 5-9:</b> Pruebas Canal OneSeg .....	69
<b>FIGURA 5-10:</b> Prueba GINGA.....	70

## ***Lista de Tablas***

<b>TABLA 1-1:</b> Precios de equipos de codificación.....	15
<b>TABLA 2-2:</b> Precio de equipo de multiplexación.....	15
<b>TABLA 3-3:</b> Precio de licencia de software Village Flow .....	15
<b>TABLA 3-1:</b> Sintaxis de código NIT .....	42
<b>TABLA 3-2:</b> Sintaxis de código SDT.....	44
<b>TABLA 3-3:</b> Sintaxis de código PAT .....	45
<b>TABLA 3-4:</b> Sintaxis de código PMT .....	47
<b>TABLA 3-5:</b> Sintaxis de código TDT.....	48
<b>TABLA 5-1:</b> Tabla resumen de pruebas .....	61

## ***Introducción***

El año 2009 el Estado peruano adoptó el estándar de Televisión Digital Terrestre japonés con innovaciones brasileñas ISDB-T. Sin embargo, el despliegue de una red de TV digital en nuestro país tiene un costo muy alto que está solo al alcance de grandes empresas.

Entonces, para temas de investigación, disponer de hardware de TV digital es muy complicado por temas económicos. El grupo de TV digital PUCP, en la actualidad está haciendo investigaciones donde se requiere mucho de una trama Broadcast Transport Stream (BTS) cuya generación es tarea de la etapa de multiplexación.

Se han hecho estudios sobre soluciones basadas en software para abaratar costos en infraestructura, sin embargo, con la solución basada en software se tiene que pagar una licencia por el uso del mismo.

Por lo tanto, es entonces donde aparece el objetivo principal de esta tesis que se enfoca especialmente en la generación de una trama Broadcast Transport Stream (BTS) haciendo uso de software libre. Para esto se usa el software libre OpenCaster cuya función, entre muchas, es multiplexar paquetes de formatos TS. Este software fue creado por AVALPA.SRL, sin embargo, está diseñado e implementado en base al estándar europeo DVB-T.

El Laboratorio de Investigación y Formación en Informática Avanzada (LIFIA) de la Universidad de la Plata ha hecho modificaciones a este software con algunas especificaciones del estándar ISDB-T, no son completas, pero suficientes para la generación de una trama BTS. La presente tesis se enfocará en la generación de una trama BTS las cuales se probarán con un analizador de tramas BTS.

## **Capítulo 1**

### ***Diagnóstico del problema***

En este capítulo se explicará el marco actual de la televisión digital terrestre en el Perú y una breve descripción del problema económico de la infraestructura del sistema de TV digital en el Perú.

#### **1.1 Marco Problemático**

El Perú adoptó, el 23 de abril del 2007, el estándar de transmisión ISDB-T con las mejoras e innovaciones brasileras conocido en Brasil y en muchos países como el estándar SBTVD [MAR2010].

El constante cambio tecnológico ha generado que los estándares que existen a nivel mundial tales como DVB-T (europeo), ATSC (americano), DMTB (chino) y el ISDB-T con mejoras brasileras adoptado por el Perú, estén en evolución. Sin embargo, se debe constatar que la elección del estándar ISDB-T se debió a que en

su momento era el estándar mejor desarrollado con respecto a los anteriores [SOL2010].

El estándar ISDB-T, a la fecha, ha evolucionado en gran escala debido al trabajo conjunto de los expertos japoneses y brasileros quienes han logrado mejoras en el estándar. Debido a esto, la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) ha designado un estándar unificado conocido como ISDB-Tb (ISDB-T con modificaciones brasileras). [SOL2010]

## **1.2 Definición del problema**

El grupo de investigación de TV digital PUCP en la actualidad está realizando trabajos de investigación en desarrollo de aplicaciones interactivas compatibles con el middleware GINGA. Para las pruebas de sus aplicaciones requieren el uso de una máquina virtual que realiza todas las tareas de un receptor de TV digital, también denominado Set-top-box (STB). Sin embargo, estas pruebas no aseguran la calidad y performance requerida, para aplicaciones interactivas de alta envergadura, debido a que solo se prueba el funcionamiento de la aplicación y no su funcionamiento en un escenario real de TV digital. Entonces, se necesita de infraestructura de TV digital, especialmente de multiplexores. Esta infraestructura requerida tiene costos muy elevados. [SOL2010]

Asimismo, el grupo de investigación de TV digital PUCP está realizando estudios de diseños de distribución de Gap Fillers para dar cobertura de TV digital a zonas donde no llega esta señal. Sin embargo, para ejecutar sus pruebas muchas veces necesitan de un Broadcast Transport Stream (BTS) que tenga contenido de video y audio. La infraestructura requerida para generar estos BTS tiene costos muy elevados. [SOL2010]

Por último, los pequeños broadcasters que quieren entrar al mercado de servicios de TV digital pueden abaratar costos usando soluciones de software para la generación de servicios de TV digital (BTS) para luego poder hacer su negocio de broadcasting vía RF, IP, etc. Sin embargo, se necesita pagar una licencia para el uso de soluciones de software [SOL2010].

### 1.3 Justificación

Las siguientes tablas confirman el problema planteado líneas arribas. La tabla 1-1 muestra el costo aproximado de los equipos necesarios en la etapa de codificación del estándar ISDB-T o SBTVD-T, y la tabla 1-2 muestra el costo aproximado del equipo necesario en la etapa de multiplexación del estándar ISDB-T o SBTVD-T.

**TABLA 1-1:** Precios de equipos de codificación

Fuente: [SOL2010]

EQUIPOS	MARCA	MODELO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
HD/SD Encoder	NEC	VC-7301	1	60,000	60,000
1seg Encoder	NEC	VC-7010	1	20,000	20,000

**TABLA 2-2:** Precio de equipo de multiplexación

Fuente: [SOL2010]

EQUIPOS	MARCA	MODELO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
Multiplexor ISDB-T	NEC	MX-1500	1	16,000	16,000

Asimismo la siguiente tabla muestra el precio aproximado de la licencia de software que hace tareas de codificación y multiplexación

**TABLA 3-3:** Precio de licencia de software Village Flow

Fuente: [SOL2010]

EQUIPOS	MARCA	MODELO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
SW Village Flow	Village Island	VF-24	1	1500	1500

#### **1.4 Solución planteada**

Se propone utilizar todas las herramientas y mecanismos existentes para la generación de tramas Broadcast Transport Stream (BTS) en software libre.



## **Capítulo 2**

### ***Televisión Digital Terrestre y Descripción de Tecnologías Involucradas en el sistema***

#### **2.1 Televisión digital terrestre**

La Televisión digital terrestre es una técnica de radiodifusión de señales que aprovecha los beneficios del procesamiento, multiplexaje, codificación y modulación digital de señales de audio, video y datos, con la finalidad de optimizar la transmisión [MAR2010]. Presenta diferentes niveles de calidad y formato de señal:

- SDTV (Standard Digital Television)
- EDTV (Enhanced Definition Television)
- HDTV (High Definition Television)

Por otro lado, en la actualidad existen cinco conjuntos de tecnologías o estándares para la TDT. Los cuales son: [MAT2010]

- ATSC (Advanced Television Systems Committee), Sistema Americano.
- DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial), sistema europeo.
- ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting - Terrestrial), sistema japonés.
- DTMB (Digital Terrestrial Multimedia Broadcast), sistema chino.
- SBTVD- T (Sistema Brasileiro de Televisão Digital), sistema brasileño basado en el japonés.

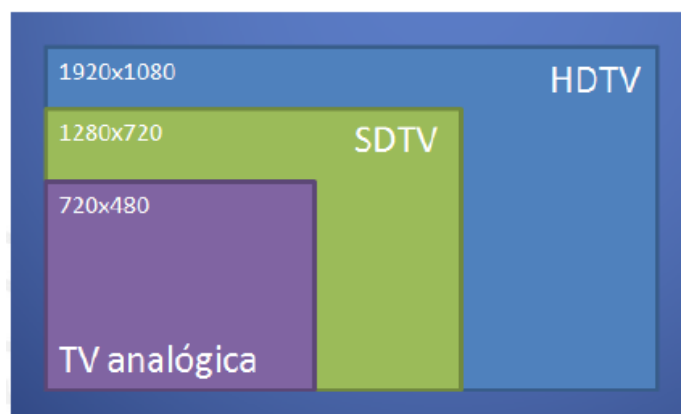
Estos estándares usan diferentes métodos de modulación, para lograr las mejoras frente a la televisión análoga. Donde una de las tecnologías de modulación más importante y destacada es la de COFDM [MAT2010].

### 2.1.1 Ventajas

La señal digital al tratarse de una secuencia de bits, tiene una forma de regeneración con algoritmos más sencillos, con lo que se logra vencer los efectos del ruido y desvanecimiento posibles y transmitir de manera óptima con una menor potencia.

#### a) Calidad de video y sonido

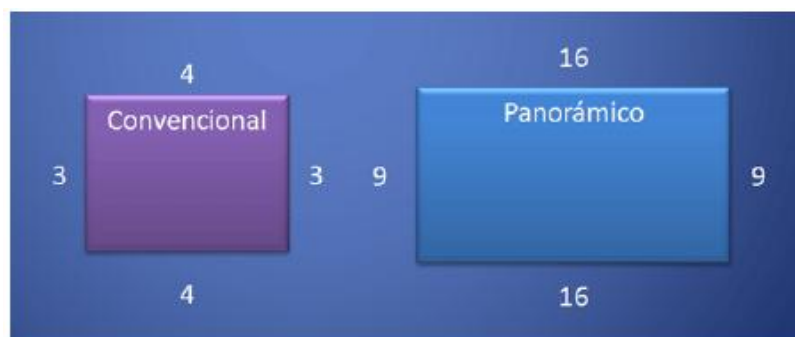
La resolución de video se triplica con respecto a la televisión análoga. La TDT ofrece una calidad de imagen mucho mayor mediante una resolución de 1280x720 píxeles en definición estándar y 1920x1080 píxeles en alta definición; mientras que la televisión analógica solo ofrece 720x480 píxeles de resolución. Esto significa que los programas de televisión se emitirán al nivel de calidad de DVD. [MAT2010]



**FIGURA 2-1:** Resolución de imagen de televisión

Fuente: [CNC2008]

Además de una mejor resolución con la TDT se migra de una imagen de aspecto convencional de proporción 4:3 (el ancho es al alto como 4 es a 3), a una proporción aspecto panorámico 16:9, la cual se utiliza en las pantallas de cine. [MAT2010]



**FIGURA 2-2:** Aspecto convencional y panorámico  
Fuente: [CNC2008]

Con respecto a la calidad de audio, se migra de una transmisión estéreo, dos canales: izquierdo y derecho, a una transmisión por 6 canales Dolby 5.1 o MPEG-2, esto dependerá del estándar. Con esto se tendrá un efecto de sonido envolvente que permitirá al televidente involucrarse más con los contenidos. [MAT2010]



**FIGURA 2-3:** Audio analógico y audio digital  
Fuente: [CNC2008]

## b) Mejor aprovechamiento del espectro

Debido a la mayor robustez de la señal digital, por el uso de técnicas de modulación como COFDM, se puede transmitir incluso en canales adyacentes sin provocar interferencia ya sea en la banda de VHF o UHF, con lo cual se podrían aprovechar los canales de guarda analógicos (3, 6, 8,10 y 12 en la banda de VHF).

Además existe la posibilidad de transmitir la señal de televisión a través de redes de frecuencia única (Single Frequency Networks), lo cual permite usar una misma frecuencia para estaciones transmisoras y repetidoras. De esta forma, se aprovecha mejor el espectro ya que solo se usaría una frecuencia por operador televisivo y mejora la gestión y planificación de la red. [MAR2010]

### c) Más contenidos

La señal de TDT se transmite en un ancho de banda de 6MHz a una tasa de 19.6Mbps. Donde se podrán enviar más programas y contenido por el mismo canal.

La capacidad de transmisión presenta una forma de uso y distribución flexible, es decir, la casa televisora tiene la facultad de escoger si desea enviar una señal de HDTV más datos o 4 señales de SDTV, etc.

<b>EJEMPLO DE ASIGNACIÓN DE SERVICIOS EN UN CANAL DE 6 MHz a 19.6 Mbps</b>				
SDTV 6 Mbps				HDTV (MPEG-4) 9.96 Mbps
SDTV 6 Mbps		HDTV 14.4 Mbps		
SDTV 5 Mbps			HDTV (MPEG-2) 19.6 Mbps	HDTV (MPEG-4) 9.26 Mbps
DATOS 1.1 Mbps		SDTV 3.7 Mbps		
MÓVIL 1.5 Mbps		MÓVIL 1.5 Mbps		MÓVIL 380 kbps

**FIGURA 2-4:** Ejemplo de asignación de servicios

Fuente: [MAT2010]

Esta manera de envío de más contenidos por un solo canal, genera nuevos modelos de negocio. Siendo la propuesta a desarrollar en la presente tesis uno de ellos. Además se generan nuevos conceptos en cuestión de producción y desarrollo de televisión.

#### **d) Movilidad y portabilidad**

Esta característica implica una nueva forma de ver televisión y por ende genera un nuevo mercado televisivo, ya que con la TDT los usuarios pueden captar la señal desde sus dispositivos móviles, como teléfonos celulares, laptops, PDAs, etc. Es decir, se tiene una señal portable. Además se puede recibir la señal en movimiento, por ejemplo, viajando en un automóvil.

Sin embargo, es importante mencionar que la señal para recepción móvil es de menor calidad que la de recepción fija, puesto que tiene menor velocidad de transmisión, lo cual implica menos resolución de audio y video. Pero para las características de estos dispositivos es más que suficiente. [MAT2010]

#### **e) Interactividad**

El televidente deja de ser un simple espectador de televisión, pues ahora podrá interactuar con los broadcasters de televisión. Se puede apreciar dos tipos de interactividad: pasiva y activa.

En la interactividad pasiva, no es necesario el uso de un canal de retorno, puesto que los datos siempre son enviados y el usuario solo decide cuales desea indexar, un ejemplo de esto es la EPG (Electronic Program Guide).

Sin embargo en la interactividad activa si es necesario el uso de un canal de retorno, el cual podría ser la tecnología UMTS o GSM para dispositivos en movimiento o ADSL para dispositivos fijos. Algunas aplicaciones de este caso serían, juegos interactivos, compras, banca, encuestas, video por demanda, etc.

Cabe resaltar que esta característica de la TDT implica una evolución del mercado televisivo, lo cual se puede apreciar en la figura 1-7.

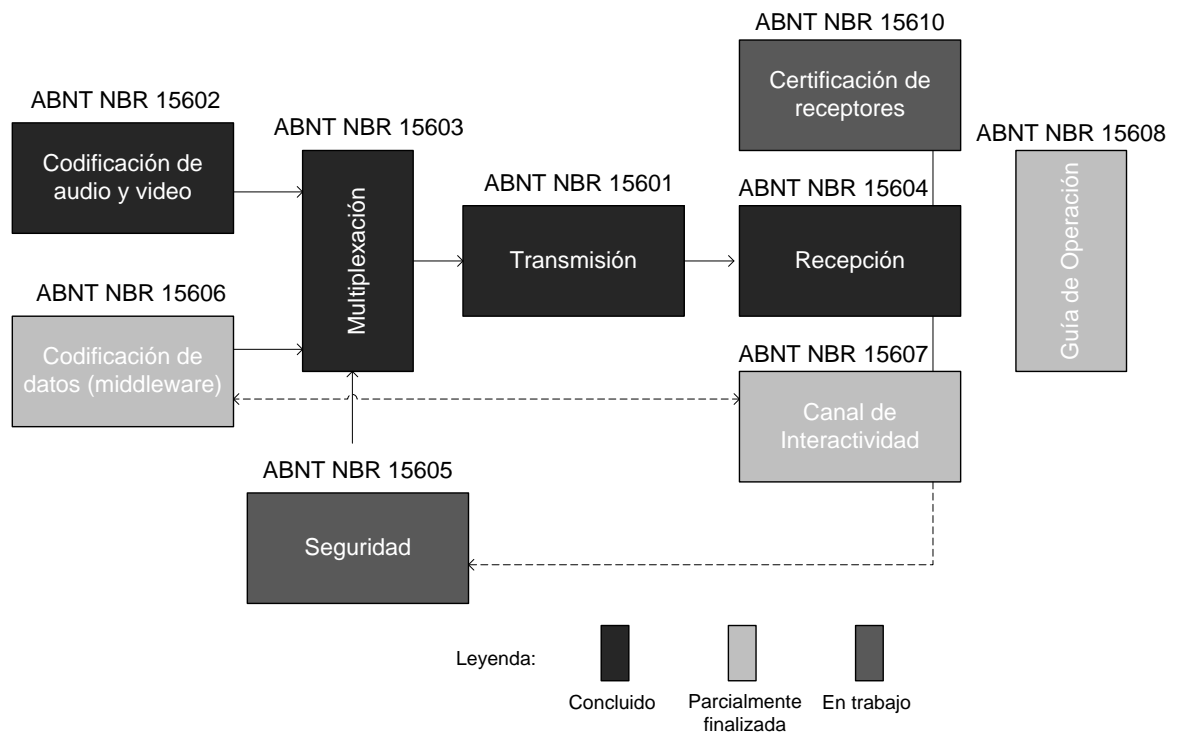


**FIGURA 2-5:** Cadena de Valor para interactividad con Ginga

Fuente: [MAR2010]

## 2.2 Aspectos técnicos del estándar ISDB-T

El estándar ISDB-T tiene muchas ventajas técnicas, las cuales se basan principalmente en su estructura, de acuerdo a las normas técnicas de dicho país ABNT NBR, presenta una arquitectura conformada en base a subsistemas. Entre los cuales se resaltan: el subsistema de transmisión, codificación, multiplexación, recepción, interactividad, guía de operación y seguridad. Los cuales se pueden apreciar en la figura 2-6:



**FIGURA 2-6** Arquitectura del estándar

Fuente: [SOL2010]

Serán materia de estudio lo subsistemas más importantes.

### 2.2.1 Codificación

Este subsistema permite mejorar la tasa de transmisión de la señal de audio y video.

#### a) Codificación de video

El estándar ISDB-T ha implementado la codificación H.264, la cual presenta las siguientes características fundamentales: [SOL2010]

- Uso de bloques de tamaño variable: Permite mejor adaptación a los movimientos mediante la división de la imagen en macro bloques.
- Predicción espacial
- Múltiples cuadros de referencia: Permiten realizar la predicción de movimiento.

H.264 realiza una mayor selección de cuadros de referencia para la predicción que MPEG-2, donde solo utilizaban el cuadro anterior y posterior, lo cual implica una mayor eficiencia.

CABAC (Codificador Aritmético Adaptativo): transforma el contenido a código binario y se adapta automáticamente a la estadística del contenido codificado usando probabilidades, realizando una selección del modelo de probabilidad de acuerdo al contexto involucrado.

## **b) Codificación de audio**

Para el tratamiento de audio, el presente estándar usa la codificación MPEG-4 AAC (Audio Advanced Coding). Además se tienen los perfiles HE-AAC y HE-AACv2 para la recepción en dispositivos móviles, que ofrecen una mejor calidad a tasas de transmisión menores a 64Kbps.[SOL2010]

La estructura del codificador de audio se compone por las siguientes herramientas: [SOL2010]

- Modelo psicoacústico, modela el sistema auditivo humano para ofrecer una mínima degradación posible.
- Banco de filtros, separa la señal procesada en rangos de frecuencias distintos.
- Procesamiento espectral, presenta herramientas para cada perfil. Se destacan perfiles para la transmisión móvil y para la transmisión de alta fidelidad.

Codificación y cuantización, luego del procesamiento espectral la señal es cuantizada utilizando Noise Shaping y Dithering, lo que permite superar el ruido de cuantización en los rangos de frecuencia con mayores problemas. Finalmente el audio es codificado mediante el método de Huffman.

### **2.2.2 Multiplexación**

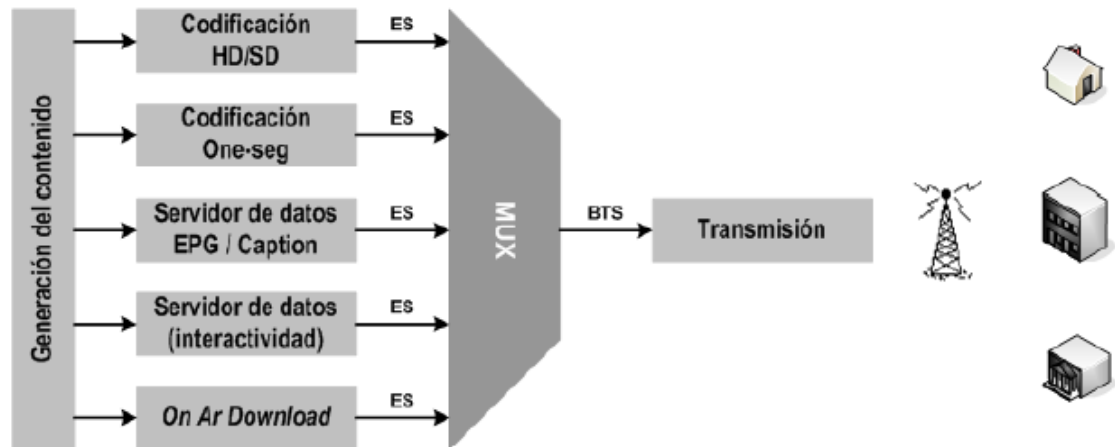
Subsistema que recibe las señales codificadas de audio y video (HD, SD, one seg), datos (EPG, Interactividad) y actualización de los receptores vía aire(OAD – On Air Demand) para encapsularlas y enviarlas en una trama denominada BTS (Broadcast Transport Stream), la cual tiene una tasa fija de 32.507936Mbps.



Las tablas PSI están compuestas por las siguientes tablas [ABM2007]:

**a) Descripción general**

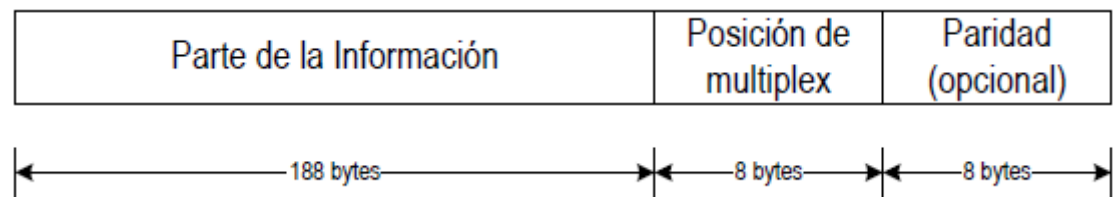
En la figura 1.9 se aprecia una descripción general de la etapa de multiplexación:



**FIGURA 2-7:** Multiplexaje de señal digital ISDB-T

Fuente: [MAY2010]

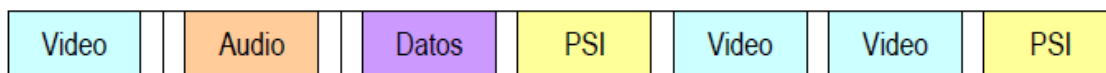
Los ES (Elementary Stream), que contienen información de audio, video y datos, son encapsulados en paquetes TS (Transport Stream) de 204bytes. De los cuales 188bytes son de información útil y el resto abarca información de configuración, como posición de multiplexaje y paridad. [MAY2010]



**FIGURA 2-8:** Paquete TS

Fuente: [MAY2010]

Los paquetes TS se multiplexan logrando formar un BTS (Broadcast Transport Stream). Dentro de la trama BTS el multiplexor combina diversos contenidos de entrada y los señala de forma que el receptor pueda auto-configurarse y decodificar los flujos de audio, video y datos. Para esto se usan las tablas PSI (Program Specific Information) y SI (Service Information) [MAY2010].



**FIGURA 2-9:** Trama BTS con tablas PSI

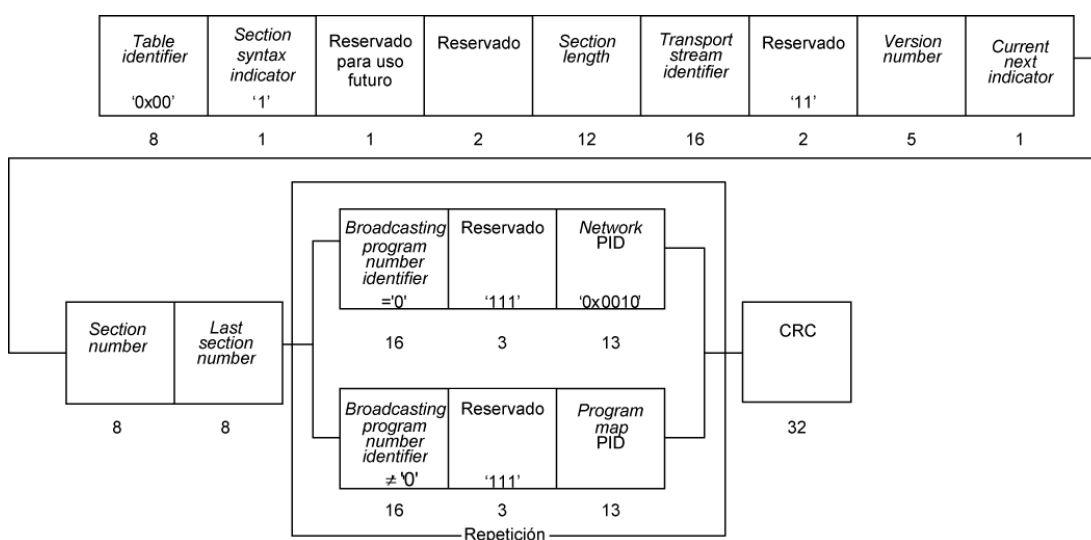
Fuente: [MAY2010]

## b) Tablas PSI

Las tablas PSI están compuestas por las siguientes tablas [ABM2007]:

### Program Associate Table (PAT)

Se asigna un PID a los paquetes TS para cada servicio en el multiplexor. Esta tabla es encargada de enlazar los TS ID, números de programas y los ID del mapa del programa. Su estructura de datos es la siguiente:



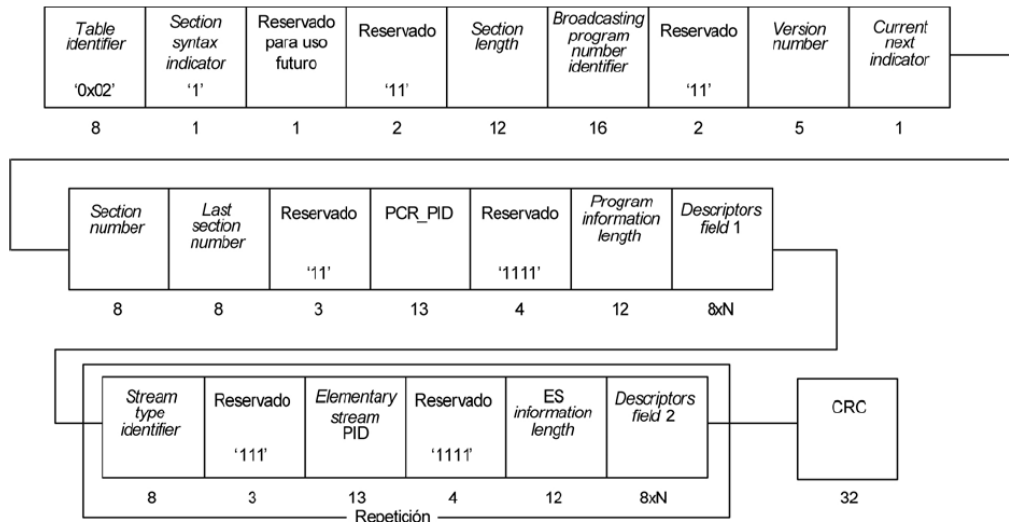
**FIGURA 2-10:** Estructura de datos Tabla PAT

Fuente: [ABM2007]

Los valores asignados a la estructura de datos tienen que ser acorde a la norma ABNT NBR 15603-2 [ABM2007].

### Program Map Table (PMT)

Identifica la localización de cada servicio de radiodifusión y el PCR (Program Clock Reference) de dicho servicio. Su estructura de datos es la siguiente:



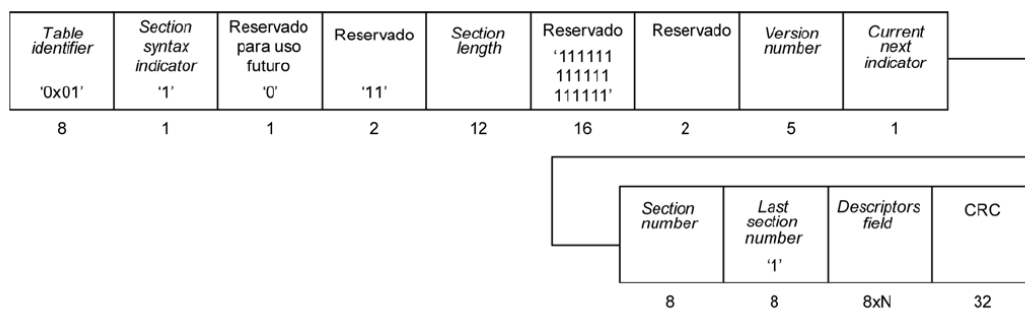
**FIGURA 2-11:** Estructura de datos Tabla PMT

Fuente: [ABM2007]

Los valores asignados a la estructura de datos tienen que ser acorde a la norma ABNT NBR 15603-2 [ABM2007].

### **Conditional Access Table (CAT)**

Brinda información sobre acceso condicional que se utilizan en el multiplexor y provee información de la trama.



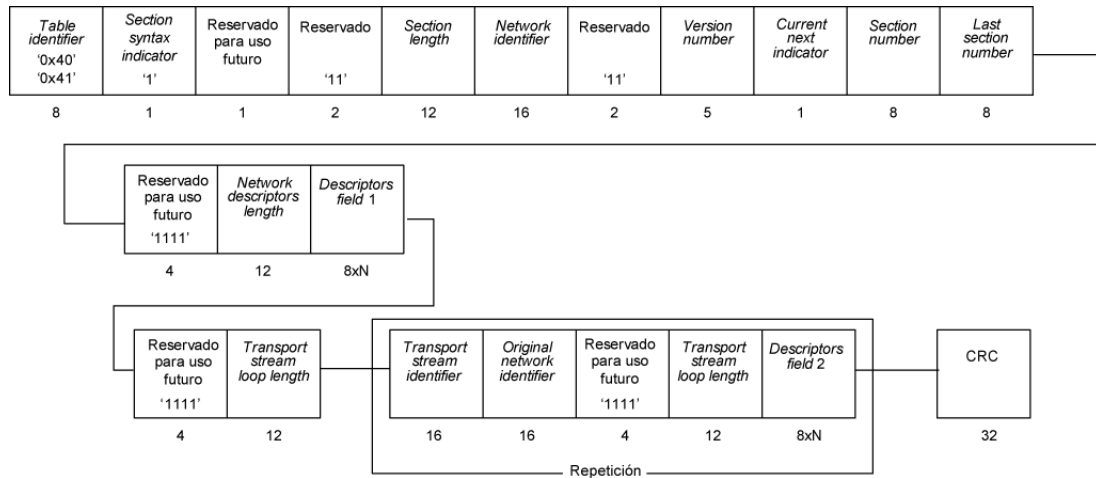
**FIGURA 2-12:** Estructura de datos Tabla CAT

Fuente: [ABM2007]

Los valores asignados a la estructura de datos tienen que ser acorde a la norma ABNT NBR 15603-2 [ABM2007].

## Network Information Table (NIT)

Especifica información del canal de transmisión con el programa que va a transmitir. Agrupa información de distintos multiplexores pertenecientes a una misma red y todos los datos importantes de sintonía del canal de transmisión.



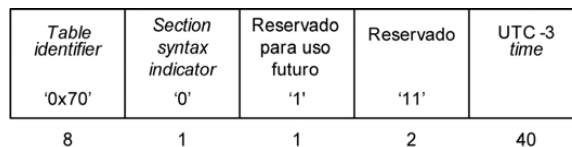
**FIGURA 2-13:** Estructura de datos Tabla NIT

Fuente: [ABM2007]

Los valores asignados a la estructura de datos tienen que ser acorde a la norma ABNT NBR 15603-2 [ABM2007].

## Time and Data table (TDT)

Permite el envío de información de horario del sistema.



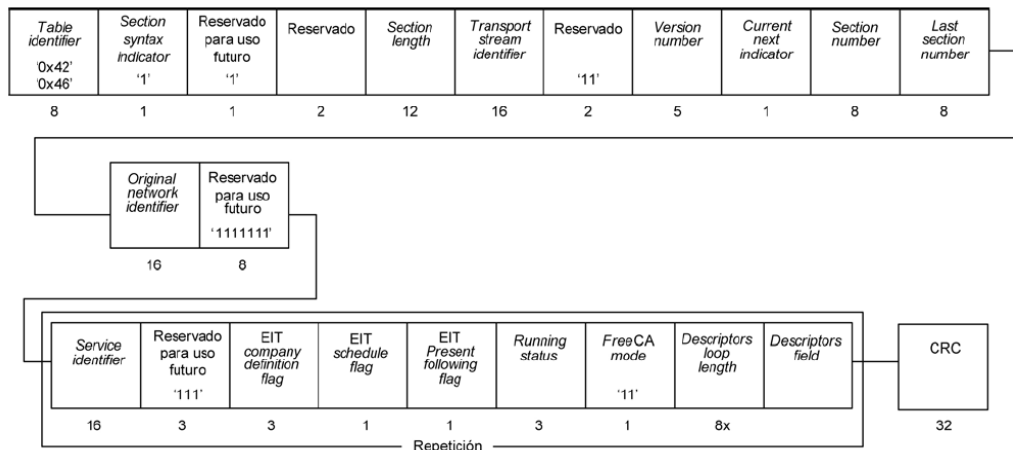
**FIGURA 2-14:** Estructura de datos Tabla TDT

Fuente: [ABM2007]

Los valores asignados a la estructura de datos tienen que ser acorde a la norma ABNT NBR 15603-2 [ABM2007].

## Service Description Table (SDT)

Envío de información de los servicios que existen en un BTS.



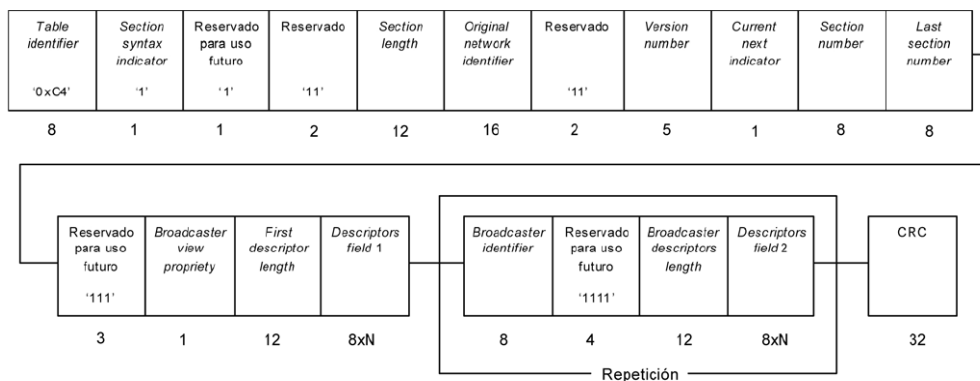
**FIGURA 2-15:** Estructura de datos Tabla SDT

Fuente: [ABM2007]

Los valores asignados a la estructura de datos tienen que ser acorde a la norma ABNT NBR 15603-2 [ABM2007].

### **Broadcast Information Table (BIT)**

Es encargada del envío de información de red que permite obtener información sobre la radiodifusora generadora del contenido [SOL2010].



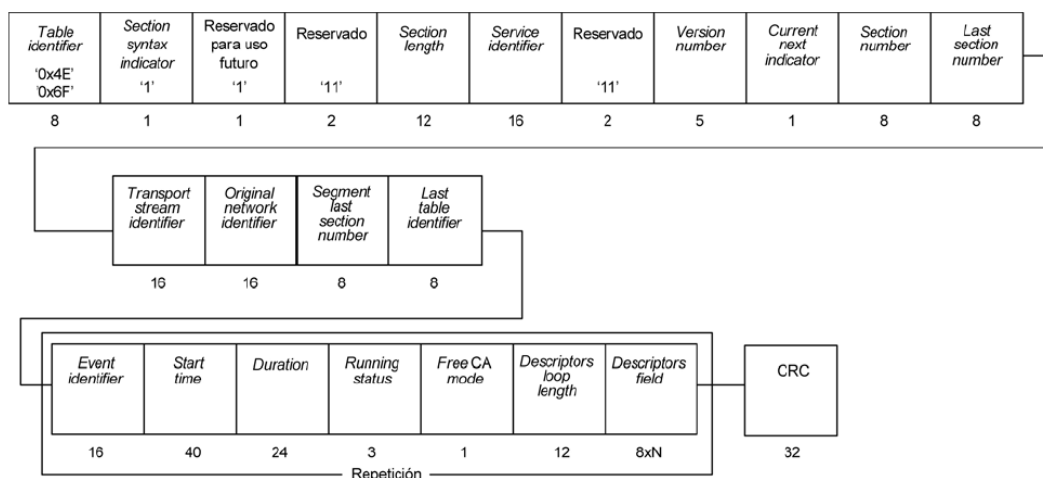
**FIGURA 2-16:** Estructura de datos Tabla BIT

Fuente: [ABM2007]

Los valores asignados a la estructura de datos tienen que ser acorde a la norma ABNT NBR 15603-2 [ABM2007].

## Event Information Table (EIT)

Encargada del envío de información de eventos, EPG (Guía de programación electrónica) [SOL2010].



**FIGURA 2-17:** Estructura de datos Tabla EIT

Fuente: [ABM2007]

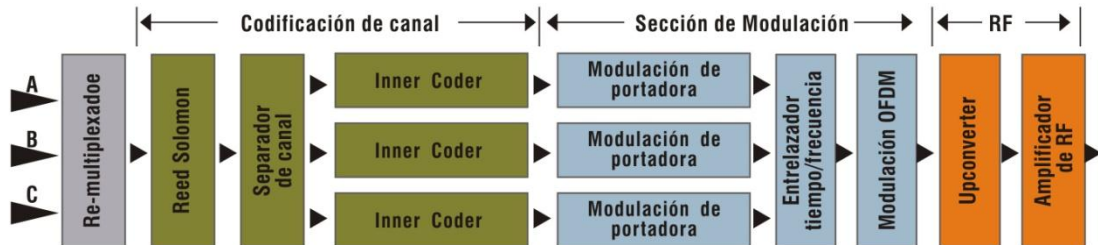
Los valores asignados a la estructura de datos tienen que ser acorde a la norma ABNT NBR 15603-2 [ABM2007].

Ahora, la multiplexación ha sido realizada con las especificaciones del estándar japonés ISDB-T, sin embargo, el modelo brasileño SBTVD-T ha realizado modificaciones con el fin de hacer que este subsistema sea compatible a la geografía brasileña. Las modificaciones hechas son:

- **Transmisión del horario:** Se modifica el horario enviado por la TDT con el fin de que sea compatible con el horario de Brasil UTC-3. Este parámetro se deberá modificar adecuadamente para Perú. [SOL2010]
- **Modificación de la tabla EIT:** La tabla EIT (Event Information Table) contiene información sobre codificación de audio y video que será utilizada en la EPG [SOL2010].
- **Actualización del receptor vía aire (OAD):** Envío de actualización que permitirán al receptor STB (Set Top box) recibir actualización de software. [SOL2010].

### 2.2.3 Transmisión

El subsistema de transmisión se encarga de la modulación y transmisión de la señal. A continuación se muestra el diagrama de bloques por los cuales atraviesan las tramas de TS Transport Stream (en adelante TS) antes de su transmisión.



**FIGURA 2-18:** Configuración de Transmisión

Fuente: [SOL2010]

Como se puede apreciar en la figura, se pueden agrupar o transmitir hasta 3 tramas provenientes del subsistema de multiplexación mediante el módulo re-multiplexor. [SOL2010]

Además se aprecia que el presente subsistema cuenta con tres secciones: codificación de canal, sección de modulación y RF. Las cuales tienen por finalidad contribuir con la robustez de la señal.

#### **Codificación de canal:**

La trama resultante es sometida al código de corrección de errores Reed Salomon, con lo cual se agregan 16 bytes de paridad a cada trama.

Luego atraviesa un separador de canal para la transmisión jerárquica (transmisión de varios servicios SD, HD o one-seg). Ahora a cada TS se le aplican tres métodos que son el dispersor de energía (evita secuencia larga de unos o ceros), ajuste de atraso (permite tiempos de retraso de transmisión y recepción idénticos para las tres TS) y byte interleaving (modifica el orden de los 204 bytes de cada TS).

Finalmente cada trama TS atraviesa por el codificador interno que es del tipo convolucional para obtener una mayor robustez [SOL2010].

### Sección de modulación:

Se entrelaza los bits de la señal de entrada y son mapeados de acuerdo a modulaciones QPSK, 16QAM o 64QAM, donde la cantidad de bits por símbolo aumenta la tasa útil del mapeo pero disminuye la robustez de la señal.

Luego se aplican los métodos de entrelazamiento en tiempo y frecuencia para una mayor robustez contra el desvanecimiento e interferencia. Posteriormente se aplica el procedimiento matemático de IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) a la trama única entrelazada junto con la modulación OFDM, además se agregan intervalos de guarda luego de realizar la IFFT para eliminar interferencias entre símbolos sucesivos. [SOL2010]

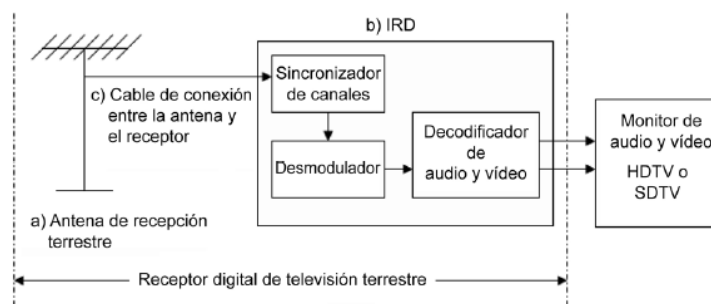
### Sección de RF:

La señal de Frecuencia Intermedia (FI) de 44MHz es convertida a la frecuencia propia de cada canal de televisión y sometida a una amplificación de potencia. [SOL2010]

#### 2.2.4 Recepción

Realiza la demodulación, decodificación y demultiplexación de la señal recibida. Existen dos tipos para la recepción fija: televisor con receptor digital integrado (built-in) y el televisor con Set-Top-Box (STB) el cual es un convertidor digital externo. En el caso de la recepción móvil, los receptores deben contar con un circuito integrado que realice las funciones mencionadas. [ABN2007]

En la figura 1.10 se puede observar la configuración básica de un sistema de recepción.



**FIGURA 2-19:** Configuración básica de sistema de recepción

Fuente: [ABN2007]



IRD (Integrated Receiver Decoder) se refiere al Set-Top-box o al equipo con decodificador integrado built-in.

### 2.2.5 Interactividad

El estándar ISDB-T ofrece un sistema de interactividad a través del middleware Ginga. La peculiaridad del middleware mencionado es que la aplicación interactiva es independiente del resto del sistema y representa un punto de encuentro entre la informática y la televisión.

Se realiza en lenguajes Ginga-NCL para receptores fijos y Ginga-J para receptores móviles.

### 2.2.6 Televisión Digital Móvil: One-seg

Tecnología únicamente ofrecida por el estándar ISDB-T que es característica propia de la transmisión jerárquica.

La transmisión en ISDB-T se realiza en forma segmentada. Toda la trama está dividida en 14 segmentos, donde uno de ellos es utilizado como segmento de guarda y los demás 13 para la transmisión propiamente dicha. De los trece segmentos útiles uno de ellos es destinado para la transmisión móvil.

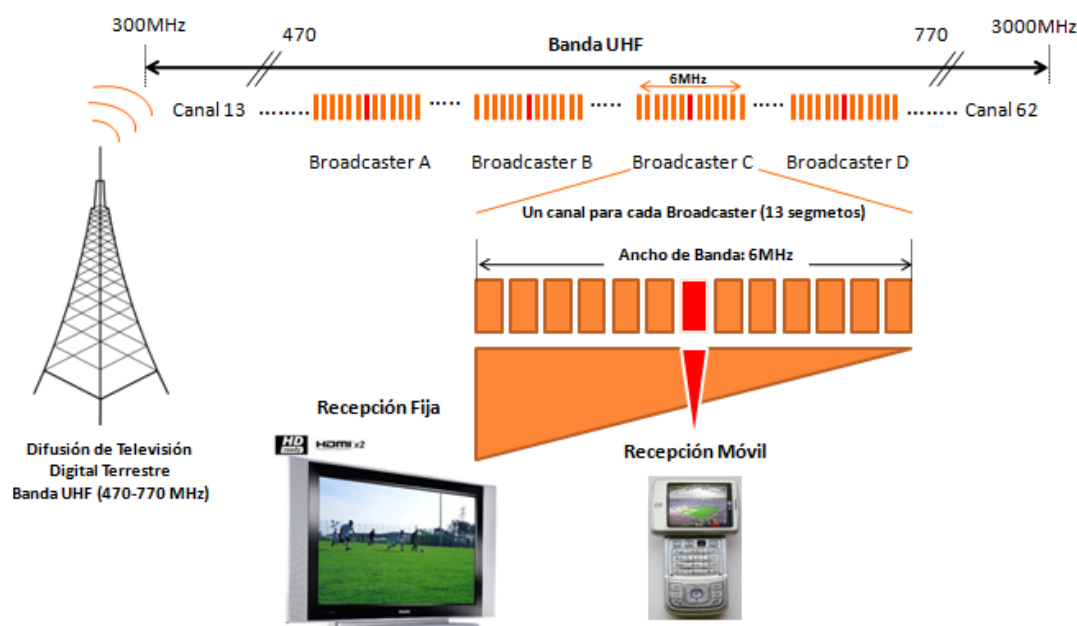


FIGURA 2-20: Esquema de la transmisión one-seg

Fuente: Elaboración propia

## 2.3 Solución basada en software para la transmisión de la señal ISDB-T

Debido al alto costo de equipos que conforman un sistema de transmisión de TV digital se ha hecho estudios de soluciones basadas en software para economizar el sistema de transmisión y el ahorro de equipos de hardware [SOL2010]. Dentro de las herramientas más importantes de este sistema basado en software están la tarjeta DEKTEC DTA-115, responsable de la etapa de transmisión, y el software Village Flow que será la encargada de la etapa de codificación y multiplexación el sistema de TV digital a implementar [SOL2010].

### 2.3.1 Tarjeta DEKTEC

Tarjeta moduladora PCI para VHF o UHF. En el presente proyecto se usará específicamente el modelo DTA-115 para las pruebas del BTS a generar, ya que permite transmitir una señal ISDB-T desde un computador.



**FIGURA 2-21:** Tarjeta DTA-115 DEKTEC

Fuente: [DEK2010]

La tarjeta consta de tres conectores. Dos de los cuales son del tipo BNC y uno del tipo F. De estos conectores existen dos salidas en formato ASI (Transport Stream), que son un conector BNC y otro F. La última salida con conector BNC corresponde a la señal de RF modulada en VHF/UHF [SOL2010]

### 2.3.2 Software Village Flow

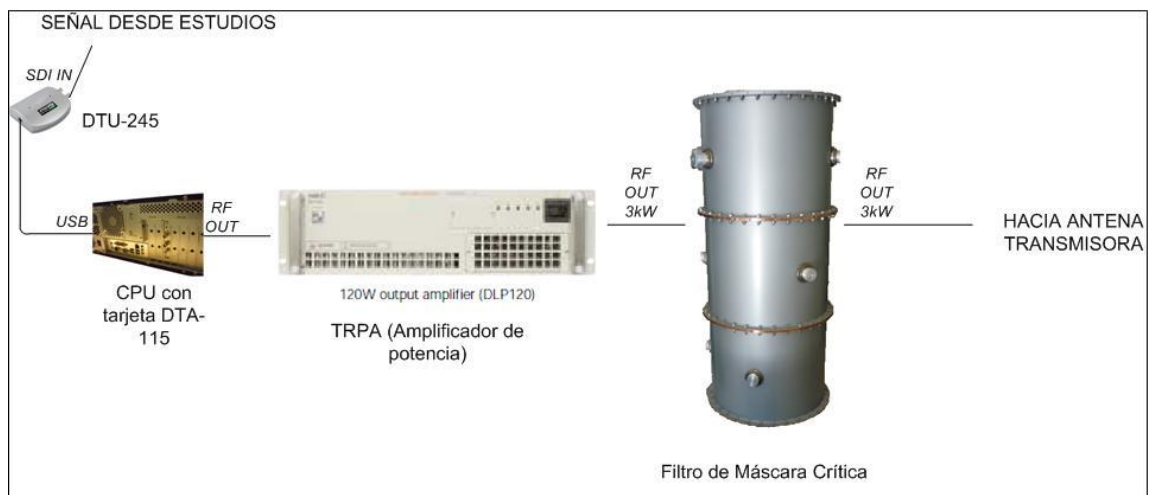
Software propietario que procesa las señales de video con audio embebido realizando las siguientes funciones:

- Realiza la codificación mediante la compresión H.264
- Permite introducir varias señales y realizar varias codificaciones a la vez
- Realiza la multiplexación de señales para obtener la trama única BTS (Broadcast Transport Stream) en el estándar ISDB-T
- Realiza la modulación de la portadora, así como la modulación OFDM.

Este software presenta como funcionalidad principal el hecho que permite la transmisión en vivo de uno o varios programas de televisión, puesto que realiza la codificación y multiplexación internamente. [SOL2010]

### 2.3.3 Esquema básico de la solución

El siguiente diagrama muestra el esquema de configuración básico requerido para un sistema de transmisión de TV digital [SOL2010].



**FIGURA 2-22:** Esquema básico de solución basada en software

Fuente: [SOL2010]

La señal SDI (Serial Digital Interface) llega desde la producción de contenidos de un canal de televisión que puede ser de calidad HD o SD. Esta señal SDI entra al CPU a través de una interfaz USB donde, gracias al software Village Flow, el

contenido de audio y video es codificado, según el estándar de TV digital usado. Asimismo, el Village Flow, luego de la etapa de codificación, encapsula este contenido en formatos TS para luego multiplexarlos y obtener una trama BTS.

La trama BTS es modulada y procesada por la tarjeta DEKTEC DTA-115 cuya salida para por un amplificador de potencia dependiendo de la cobertura que se desee tener. Finalmente con el fin de emitir dentro de los 6 MHz asignados para TV la señal pasa por un filtro pasabanda.

Esta es una configuración básica para transmitir señal de TV digital, sin embargo existen otras opciones de soluciones de basadas en software para infraestructuras más sofisticadas [SOL2010].

## **2.4 Linux**

Es un sistema operativo compatible con UNIX que tiene, entre tantas, dos características importantes que diferencian a este sistema operativo de otros que existen en el mercado [LIN2011].

La primera característica es que este sistema operativo es libre, esto significa que no se tiene que pagar ningún tipo de licencia a ninguna empresa desarrolladora de software por el uso del sistema operativo [LIN2011].

La segunda característica es que el sistema operativo Linux viene acompañado del código fuente. Esto permite que cualquier usuario de este sistema operativo pueda modificar el código del mismo y usar el sistema operativo a su gusto bajo los términos del GNU General Public License [LIN2011].

## **2.5 Python**

Es un lenguaje de programación de uso libre que permite trabajar más rápido y fácil integrando tus sistemas de manera más eficiente y efectiva. Corre en distintos sistemas operativos Windows, Linux/Unix, Mac OS X, y se integra fácilmente con las máquinas virtuales de Java and .NET [PHY2011]

Es fácil de usar debido a que tiene una sintaxis muy clara y entendible, la orientación de objetos es intuitiva, tiene una modularidad completa, y lo más

importante para el presente proyecto es que es integrable en las aplicaciones como una interfaz de scripting [PHY2011].

## **Capítulo 3**

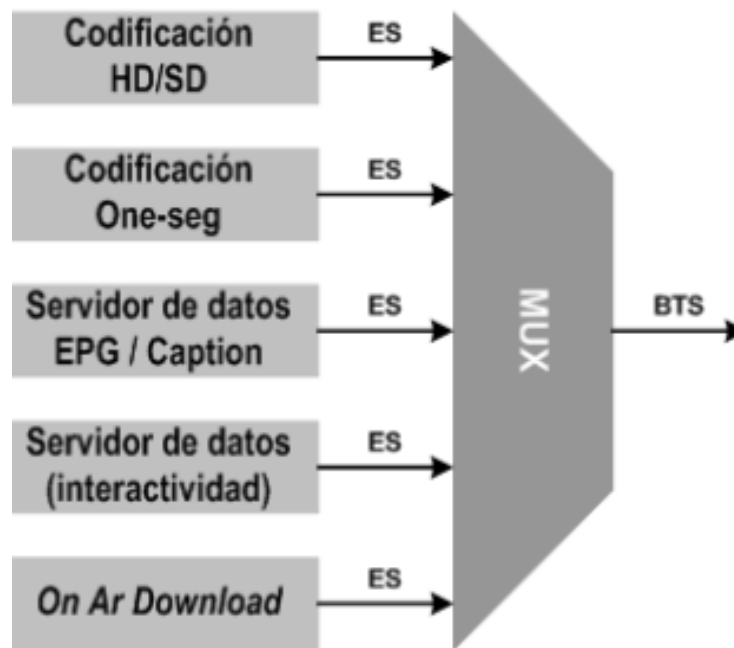
### ***Diseño de los inputs para la generación de una trama Broadcast Transport Stream (BTS)***

#### **3.1 Arquitectura del sistema generador del BTS**

En este subcapítulo vamos a detallar la arquitectura del sistema solución que permitirá generar una trama BTS. Asimismo, se hará una descripción de los inputs del sistema y las características necesarias de los mismos.

##### **3.1.1 Inputs y esquema de la arquitectura de la solución**

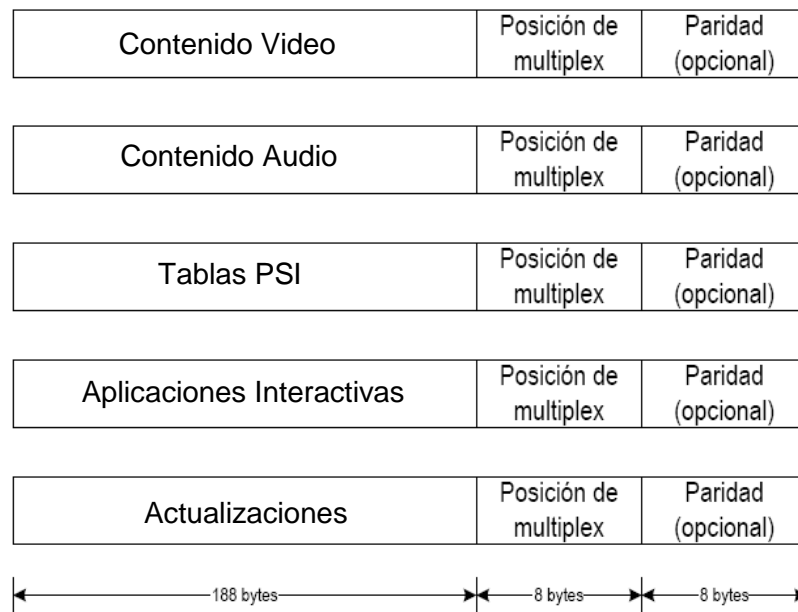
Debido a que un BTS es una multiplexación de paquetes TS, el sistema que permitirá generar una trama BTS es un multiplexor implementado en software libre. Existe una herramienta (software libre) generadora de tramas BTS diseñada y creada por AVALPA Digital Engineering SRL. En el próximo capítulo se explicará brevemente las utilidades y limitaciones que tiene este software [OPC2011].



**FIGURA 3-1:** Esquema de la arquitectura solución

Fuente: [MAY2010]

El diagrama muestra una descripción general de este sistema que generará la trama BTS. Las entradas son paquetes de formato TS que se multiplexarán formando un BTS. El contenido HD/SD así como One-seg, luego de su codificación respectiva, tendrán que ser encapsulados en paquetes de formato TS. La salida del servidor de datos, que también tendrá que tener un formato TS, son las tablas PSI que permitirán informar al receptor sobre las características del contenido transmitido, asimismo el servidor envía datos relacionados a aplicaciones interactivas y actualizaciones de software del receptor también en formato TS. La siguiente figura muestra el encapsulamiento de contenido de audio, video y datos (tablas PSI, aplicaciones interactivas y actualizaciones firmware) en un paquete TS.



**FIGURA 3-2:** Encapsulamiento de datos

Fuente: [MAY2010]

En los próximos capítulos se diseñarán e implementarán las tablas PSI más importantes y obligatorias, según norma, para transmitir un servicio de TV digital.

### 3.1.2 OpenCaster

El OpenCaster es un software libre desarrollado por AVALPA Digital Engineering SRL, para generación de transport streams MPEG2. Sin embargo, el software desarrollado por AVALPA genera BTS con especificaciones del estándar europeo DVB-T y no tiene soporte para las extensiones a DVB que definen la norma japonesa ISDB-T y la brasilera SBTVD-T [LIF2011].

Debido a esto, el Laboratorio de Investigación y Formación en informática avanzada (LIFIA) de la Universidad Nacional de la Plata modificó el OpenCaster para agregar una parte de la norma SBTVD-T faltante, sin embargo, estas modificaciones no son completos pero si suficientes para la transmisión de un servicio de TV digital [LIF2011]. Se utilizará este software con las modificaciones hechas por el LIFIA para multiplexar los paquetes TS, previamente generados, y obtener una trama BTS. Este software libre tiene muy pocos requerimientos para su uso. Estos son:

- ⋮ Un sistema operativo GNU/Linux
- ⋮ El compilador de C de GCC
- ⋮ Python



Las versiones necesarias de estas herramientas son importantes. Para el presente proyecto se usarán la versión del GCC 4.4.3 y la versión de Python 2.6.5. El sistema operativo que se usará es Linux Ubuntu [LIF2011].

## 3.2 Diseño de las tablas PSI en código

En el presente subcapítulo se detallará el diseño, en código, de la sintaxis de las tablas, según la norma brasilera ABNT NBR 15603-2 [ABM2007], para su posterior implementación en software usando el OpenCaster.

### 3.2.1 Tabla NIT

La NIT contiene información relacionada a la organización física de los multiplexores generadores de BTS y las características de la red. Parte de esta información está contenida en los descriptores que son similares a funciones para la asignación de datos específicos dentro de la tabla. Los descriptores obligatorios según la norma brasilera ABNT NBR 15603-2 [ABM2007] que deben estar incluidos en esta tabla son:

- ⌋ network\_descriptor: Es el descriptor de nombre de red.
- ⌋ system\_management\_descriptor: Define propiedades del sistema, definiendo que se está transmitiendo ahora el sistema ISDB-T.
- ⌋ terrestrial\_delivery\_system\_descriptor: Define las propiedades de modulación como frecuencia de transmisión, intervalos de guarda, etc.
- ⌋ partial\_reception\_descriptor: Es el descriptor que define la lista de servicios de recepción parcial. Esta lista tendrá que tener la lista de servicios One-Seg.
- ⌋ transport\_stream\_information\_descriptor: Define otras propiedades del BTS que se va a generar, como la tecla de control remoto, el nombre del BTS, información de los tipos de servicios ofrecidos, etc [LIF2011].

La combinación de *original\_network\_id* y *transport\_stream\_id* permite a cada BTS ser identificado únicamente por toda el área donde se aplica el estándar de TV digital. De acuerdo con la estructura de datos de la tabla NIT (subcapítulo 2.2.2) se genera la sintaxis de código de esta estructura la cual se muestra en la siguiente tabla. Más información sobre la estructura de datos de esta tabla se encuentra en la norma brasilera ABNT NBR 15603-2 [ABM2007].

**TABLA 3-1:** Sintaxis de código NIT

Fuente: [ABM2007]

Sintaxis	Numero de bits
<i>network_information_section(){</i>	8
<i>section_syntax_indicator</i>	1
<i>reserved_future_use</i>	1
<i>reserved</i>	2
<i>section_length</i>	12
<i>network_id</i>	16
<i>reserved</i>	2
<i>version_number</i>	5
<i>current_next_indicator</i>	1
<i>section_number</i>	8
<i>last_section_number</i>	8
<i>reserved_future_use</i>	4
<i>network_descriptors_length</i>	12
<i>for(i=0;i&lt;N;i++){</i>	
<i>reserved_future_use</i>	4
<i>transport_stream_loop_length</i>	12
<i>for(i=0;i&lt;N;i++){</i>	16
<i>original_network_id</i>	16
<i>reserved_future_use</i>	4
<i>transport_descriptors_length</i>	12
<i>for(j=0;j&lt;N;j++) {</i>	
<i>}</i>	
<i>CRC_32</i>	32
<i>}</i>	

### 3.2.2 Tabla SDT

La SDT debe contener información de los servicios que se va a transmitir en un BTS. El descriptor obligatorio, según la norma brasilera ABNT NBR 15603-2 [ABM2007], que debe estar incluido en esta tabla es:

- ▬ Service\_descriptor: Es el descriptor que asigna el tipo de servicio que se va a transmitir (valor asignado según norma [ABM2007]), el proveedor de los servicios y el nombre del servicio a transmitir en el BTS.

Al igual que en la tabla NIT, la combinación de *original\_network\_id* y *transport\_stream\_id* permite a cada BTS ser identificado únicamente por toda el área donde se aplica el estándar de TV digital. De acuerdo con la estructura de datos de la tabla SDT (subcapítulo 2.2.2) se genera la sintaxis de código de esta estructura la cual se muestra en la siguiente tabla. Más información sobre la estructura de datos de esta tabla se encuentra en la norma brasilera ABNT NBR 15603-2 [ABM2007].

**TABLA 3-2:** Sintaxis de código SDT

Fuente: [ABM2007]

Sintaxis	Numero de bits
<i>service_description_section(){</i>	
<i>table_id</i>	8
<i>section_syntax_indicator</i>	1
<i>reserved_future_use</i>	1
<i>reserved</i>	2
<i>section_length</i>	12
<i>transport_stream_id</i>	16
<i>reserved</i>	2
<i>version_number</i>	5
<i>current_next_indicator</i>	1
<i>section_number</i>	8
<i>last_section_number</i>	8
<i>original_network_id</i>	16
<i>reserved_future_use</i>	8
<i>for(i=0;i&lt;N;i++){</i>	
<i>service_id</i>	16
<i>reserved future use</i>	6
<i>EIT_schedule_flag</i>	1
<i>EIT_present_following_flag</i>	1
<i>running_status</i>	3
<i>free_CA_mode</i>	1
<i>descriptors_loop_length</i>	12
<i>for(j=0;j&lt;N;j++){</i>	
<i>descriptor()</i>	
<i>}</i>	
<i>}</i>	
<i>CRC_32</i>	32
<i>}</i>	

### 3.2.3 Tabla PAT

La PAT se encarga de asociar los servicios de TV digital con el contenido transmitido cuyas características se encuentran en la tabla PMT. Para cada servicio

de TV digital se necesita una tabla PMT y la tarea de la PAT es asociar cada tabla PMT con su respectivo servicio. No hay descriptores obligatorios, según norma brasileña, para esta tabla. De acuerdo con la estructura de datos de la tabla PAT (subcapítulo 2.2.2) se genera la sintaxis de código de esta estructura la cual se muestra en la siguiente tabla. Más información sobre la estructura de datos de esta tabla se encuentra en la norma brasileira ABNT NBR 15603-2 [ABM2007].

**TABLA 3-3:** Sintaxis de código PAT

Fuente: [ABM2007]

Sintaxis	Numero de bits
<i>program_association_section() {</i>	
<i>table_id</i>	8
<i>section_syntax_indicator</i>	1
<i>reserved_future_use</i>	1
<i>reserved</i>	2
<i>section_length</i>	12
<i>transport_stream_id</i>	16
<i>reserved</i>	2
<i>version_number</i>	5
<i>current_next_indicator</i>	1
<i>section_number</i>	8
<i>last_section_number</i>	8
<i>for(i=0;i&lt;N;i++){</i>	
<i>program_number</i>	16
<i>Reserved</i>	3
<i>if(program_number == '0'){</i>	
<i>network_PID</i>	13
<i>}</i>	
<i>else{</i>	
<i>program_map_PID</i>	13
<i>}</i>	
<i>}</i>	
<i>CRC_32</i>	32
<i>}</i>	

### 3.2.4 Tabla PMT

La PMT indica las características del contenido de cada servicio. Por lo tanto, tiene que informar obligatoriamente sobre los números y elementos del programa. Para cada servicio de TV digital tiene que haber una tabla PMT que defina las características del contenido a transmitir en dicho servicio. El descriptor obligatorio, según la norma brasilera ABNT NBR 15603-2 [ABM2007], que debe estar incluido en esta tabla es:

- `program_info_descriptor`: Es el descriptor que asigna información sobre las características de los flujos de datos que componen un servicio respectivo.

De acuerdo con la estructura de datos de la tabla PMT (subcapítulo 2.2.2) se genera la sintaxis de código de esta estructura la cual se muestra en la siguiente tabla. Más información sobre la estructura de datos de esta tabla se encuentra en la norma brasilera ABNT NBR 15603-2 [ABM2007].

**TABLA 3-4:** Sintaxis de código PMT

Fuente: [ABM2007]

<b>Sintaxis</b>	<b>Numero de bits</b>
<i>program_map_section()</i> {	
<i>table_id</i>	8
<i>section_syntax_indicator</i>	1
<i>reserved_future_use</i>	1
<i>reserved</i>	2
<i>section_length</i>	12
<i>program_number</i>	16
<i>reserved</i>	2
<i>version_number</i>	5
<i>current_next_indicator</i>	1
<i>section_number</i>	8
<i>last_section_number</i>	8
<i>PCR_PID</i>	13
<i>Reserved</i>	4
<i>program_info_length</i>	12
<i>for(i=0,i&lt;N,i++){</i>	
<i>descriptor()</i>	
<i>}</i>	
<i>for(i=0,i&lt;N1,i++){</i>	
<i>stream_type</i>	8
<i>Reserved</i>	3
<i>elementary_PID</i>	13
<i>Reserved</i>	4
<i>ES_info_length</i>	12
<i>for(i=0,i&lt;N2,i++){</i>	
<i>Descriptor()</i>	
<i>}</i>	
<i>CRC_32</i>	32
<i>}</i>	

### 3.2.5 Tabla TDT

La TDT debe contener información de horario UTC-3 e información de la fecha. No hay descriptores obligatorios, según norma brasileña, para esta tabla. De acuerdo con la estructura de datos de la tabla TDT (subcapítulo 2.2.2) se genera la sintaxis de código de esta estructura la cual se muestra en la siguiente tabla. Más información sobre la estructura de datos de esta tabla se encuentra en la norma brasilera ABNT NBR 15603-2 [ABM2007].

**TABLA 3-5:** Sintaxis de código TDT

Fuente: [ABM2007]

<b>Sintaxis</b>	<b>Numero de bits</b>
<i>time_date_section(){</i>	
<i>table_id</i>	<i>8</i>
<i>section_syntax_indicator</i>	<i>1</i>
<i>reserved_future_use</i>	<i>1</i>
<i>reserved</i>	<i>2</i>
<i>UTC-3 time</i>	<i>40</i>



## **Capítulo 4**

### ***Generación de la trama Broadcast Transport Stream (BTS)***

En este capítulo se detallarán los pasos a seguir para el encapsulamiento de contenidos de audio y video en formatos TS, así como los pasos a seguir para la generación de una trama BTS en tres escenarios: con un servicio de TV digital SD, con dos servicios de TV digital SD, y con un servicio de TV digital SD con una aplicación interactiva.

#### **4.1 Instalación del OpenCaster**

La versión actual del OpenCaster es la 3.1, sin embargo, el LIFIA modificó el OpenCaster para la versión 2.4. Por este motivo, se usará esta versión y su manual de instalación detallado se encuentra en el Anexo 1.

## 4.2 Encapsulamiento del contenido en formato TS (Transport Stream)

Para este proyecto, estamos asumiendo que los contenidos de audio y video ya se encuentran codificados en MPEG-2 y convertidos en formatos TS, puesto que utilizaremos aquellos archivos .ts de audio y video que vienen en los tutoriales del software OpenCaster. Estos archivos son: firstvideo.ts y firstaudio.ts [OPC2011]. En los próximos subcapítulos se detallará la ruta de estos archivos. Sin embargo, existen mecanismos con software libre que permiten codificar contenido de audio y video en MPEG-2, mas información en el manual de OpenCaster [OPC2011]. A continuación, se hará una breve explicación de cómo se puede convertir contenidos de audio y video, codificados en MPEG-2, en formatos TS. [OPC2011]

### 4.2.1 Encapsulamiento del Video

Para encapsular el contenido de video, el cual se encuentra en un formato MPEG-2 o .mp2, el OpenCaster usa una herramienta de conversión, para esto se escribirá en línea de comandos lo siguiente [OPC2011]:

```
esvideompeg2pes video.mp2 > video.pes
```

Este comando convierte el contenido de video en un formato program stream (pes). Adicionalmente se tiene que ejecutar el siguiente comando:

```
pesvideo2ts 2064 25 112 5270000 0 video.pes > video.ts
```

Donde 2064 es el PID del video, 25 es el valor en cuadros por segundo de transmisión, 112 es una característica del video buffer (vbv) y 5270000 es el bit rate del TS. El bit rate del TS tiene que ser mayor al bit rate del video, se recomienda un 15% mayor. Más información sobre el detalle de estos comandos en el manual del OpenCaster [OPC2011].

### 4.2.2 Encapsulamiento del Audio

Para encapsular el contenido de audio, el cual se encuentra en un formato MPEG-2 o .mp2, el OpenCaster usa una herramienta de conversión, para esto se escribirá en línea de comandos lo siguiente [OPC2011]:

```
esaudio2pes audio.mp2 1152 48000 768 -1 3600 > audio.pes
```

Esto convierte el audio en un formato program stream (pes). Adicionalmente se tiene que ejecutar el siguiente comando:

```
pesaudio2ts 2068 1152 48000 768 -1 0 audio.pes > audio.ts
```

Más información sobre el detalle de estos comandos en el manual del OpenCaster [OPC2011].

### 4.3 Generación de una trama BTS de un Servicio de TV digital SD

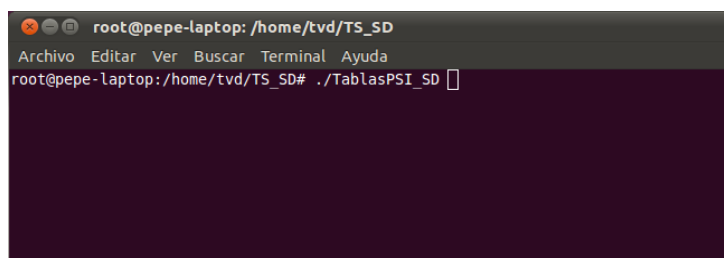
Es conveniente primero que creamos un directorio para cada escenario. En este caso crearemos un directorio /home/tvd/TS\_SD. Luego, crearemos las tablas PSI. Para esto en el Anexo 2 se adjuntan estas tablas las cuales son scripts generadas en código python. En este caso, copiaremos el script “TablasPSI\_SD” del Anexo 2 a nuestro directorio de trabajo:

```
$ cp <Directorio del script TablasPSI_SD> /home/tvd/TS_SD
```

Una vez hecho esto correremos el script con el siguiente comando:

```
$ cd /home/tvd/TS_SD/  
$ chmod u+x TablasPSI_SD  
$ ./TablasPSI_SD
```

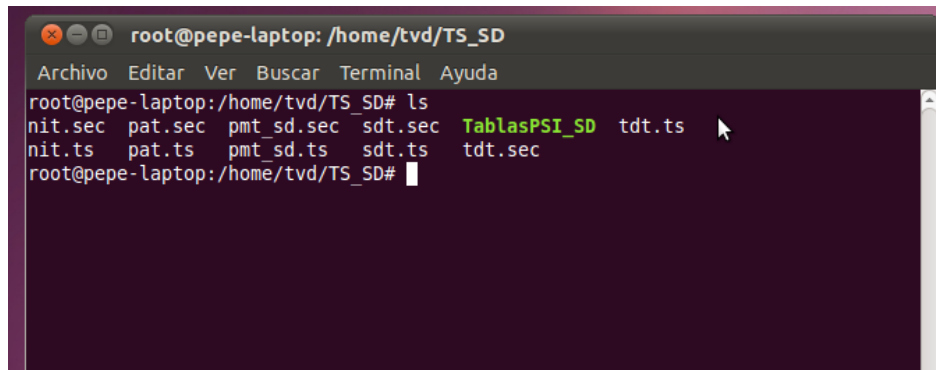
La siguiente figura muestra la ejecución del script en línea de comandos:



**FIGURA 4-1:** Ejecucion del Script TablasPSI\_SD

Fuente: Elaboración Propia

Luego de correr el script se tiene que generar las tablas PSI en formatos TS. La siguiente figura muestra la generación de estas tablas:



```
root@pepe-laptop: /home/tvd/TS_SD
Archivo Editar Ver Buscar Terminal Ayuda
root@pepe-laptop:/home/tvd/TS_SD# ls
nit.sec pat.sec pmt_sd.sec sdt.sec TablasPSI_SD tdt.ts
nit.ts pat.ts pmt_sd.ts sdt.ts tdt.sec
root@pepe-laptop:/home/tvd/TS_SD#
```

**FIGURA 4-2:** Tablas generadas del script TablasPSI\_SD

Fuente: Elaboración Propia

Cabe resaltar que solo se han generado las tablas más importantes y básicas para un servicio de TV digital.

Ahora se tiene que copiar al directorio con las tablas generadas los archivos de video y audio, así como también el archivo null.ts. Este último es un paquete nulo que sirve para que el BTS generado sea del ancho de banda requerido por la norma ISDB-T y SBTVD-T. Para esto se hace lo siguiente:

```
$ cd /home/tvd/TS_SD
```

```
$ cp /home/tvd/OpenCaster/OpenCaster2.4/tutorials/OCTutorial2/firstvideo.ts .
```

```
$ cp /home/tvd/OpenCaster/OpenCaster2.4/tutorials/OCTutorial2/firstaudio.ts .
```

```
$ cp /home/tvd/OpenCaster/OpenCaster2.4/tutorials/OCTutorial2/null.ts .
```

Finalmente, se multiplexa estos archivos .ts con el siguiente comando:

```
$ tscbrmuxer 600000 b:15040 pat.ts b:15040 pmt_sd.ts b:3008 sdt.ts b:3008 nit.ts
b:2300000 firstvideo.ts b:188000 firstaudio.ts b:2000 tdt.ts b:27432198 null.ts >
Servicio_SD.ts
```

Se genera el BTS en el archivo Servicio\_SD.ts. Debemos tener en cuenta lo siguiente:

600000: es la cantidad de paquetes que se van a multiplexar.

b:15040: La PAT y la PMT deben ser enviadas al menos 10 veces por segundo, según norma. Cada una de las tablas entra en un paquete de 188 bytes, entonces tenemos que enviar 10 paquetes por segundo. Cada paquete es de 188 bytesx8 = 1504 bits, queremos que el ancho de banda sea de 1504 bitsx10 = 15040 bps. Se hace lo mismo para la NIT y la SDT.

b:2300000, b:188000: son los anchos de banda del video y del audio respectivamente.

b:2000: Es el ancho de banda de la tabla TDT.

b:27434198: Es el ancho de banda de paquetes nulos. El sistema SBTVD-T tiene un ancho de banda fijo de 29.958.294 bps, y como estamos usando:  $15040+15040+3008+3008+2300000+188000+2000=2526096$  bps, en total, tenemos que completar el BTS con paquetes nulos. El ancho de banda para estos paquetes nulos entonces es:  $29958294-2526096=27432198$

Ahora, al multiplexar cambiamos la posición de los paquetes de video y el PCR (referencia de reloj del sistema) que viaja junto con el stream de video hace que la llegada de estos paquetes al receptor sea imprecisa. Para esto se utiliza el comando `tsstamp` del OpenCaster de la siguiente manera:

```
$ tsstamp Servicio_SD.ts 29958294 > Servicio_SD_.ts
```

Se generará el archivo `Servicio_SD_.ts` que corrige el problema antes mencionado. Todos los archivos `.ts` generados se encuentran en el Anexo 5.

#### **4.4 Generación de una trama BTS de dos Servicios de TV digital SD**

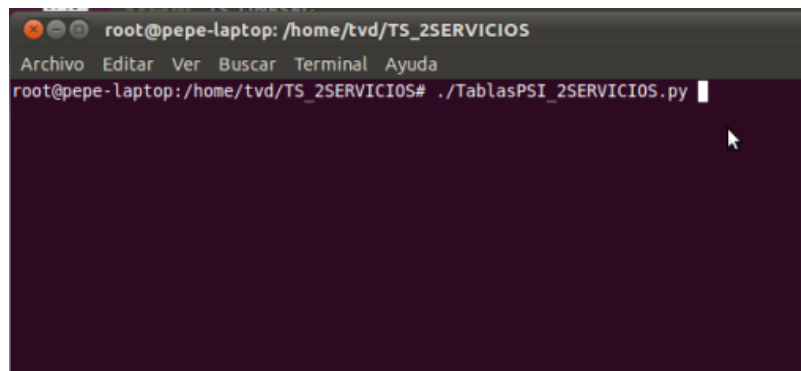
En este caso crearemos un directorio `/home/tvd/TS_2SERVICIOS`. Luego, crearemos las tablas PSI. Para esto en el Anexo 2 se adjuntan estas tablas las cuales son scripts generadas en código python. En este caso, copiaremos el script "TablasPSI\_2SERVICIOS.py" del Anexo 2 a nuestro directorio de trabajo:

```
$cp<Directorio del script TablasPSI_2SERVICIOS.py > /home/tvd/TS_2SERVICIOS
```

Una vez hecho esto correremos el script con el siguiente comando:

```
$ cd /home/tvd/TS_2SERVICIOS/  
$ chmod u+x TablasPSI_2SERVICIOS.py  
$ ./TablasPSI_2SERVICIOS.py
```

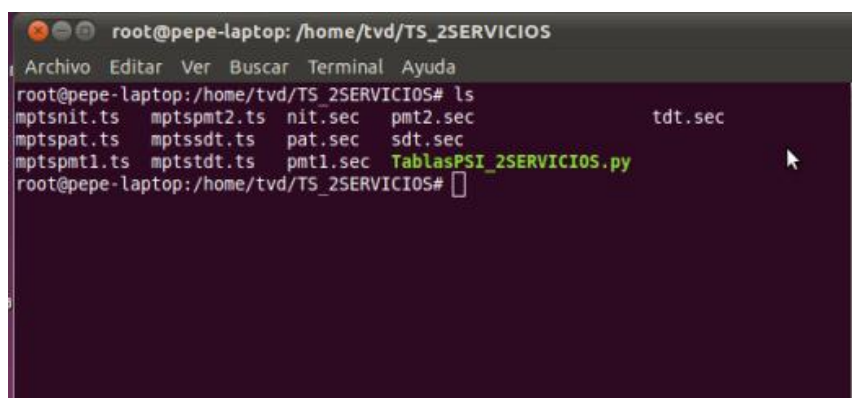
La siguiente figura muestra la ejecución del script en línea de comandos:



```
root@pepe-laptop: /home/tvd/TS_2SERVICIOS
Archivo Editar Ver Buscar Terminal Ayuda
root@pepe-laptop:/home/tvd/TS_2SERVICIOS# ./TablasPSI_2SERVICIOS.py
```

**FIGURA 4-3:** Ejecución de Script TablasPSI\_2SERVICIOS  
Fuente: Elaboración Propia

Luego de correr el script se tiene que generar las tablas PSI en formatos TS. La siguiente figura muestra la generación de estas tablas:



```
root@pepe-laptop: /home/tvd/TS_2SERVICIOS
Archivo Editar Ver Buscar Terminal Ayuda
root@pepe-laptop:/home/tvd/TS_2SERVICIOS# ls
mptsnit.ts  mptspmt2.ts  nit.sec  pmt2.sec  tdt.sec
mptspat.ts  mptssdt.ts  pat.sec  sdt.sec
mptspmt1.ts  mptstdt.ts  pmt1.sec  TablasPSI_2SERVICIOS.py
root@pepe-laptop:/home/tvd/TS_2SERVICIOS#
```

**FIGURA 4-4:** Tablas generadas del script TablasPSI\_2SERVICIOS  
Fuente: Elaboración Propia

Cabe resaltar que sólo se han generado las tablas más importantes y básicas para dos servicios de TV digital. Asimismo, se puede observar que se han generado dos tablas de tipo PMT (Program Map Table), cuyos nombres están definidos como: “mptspmt1” y “mptspmt2”. El nombre de estas tablas se refiere a una tabla de Transport Stream de Múltiples programas, mpts (Multiprogram Transport Stream) [OPC2011]. Estas tablas contienen cada una información específica del contenido de audio y video de cada servicio (programa) de la trama BTS. Como en este caso estamos generando dos servicios de TV digital, entonces tendremos dos de estas tablas PMT.

Ahora se tiene que copiar al directorio, junto con las tablas generadas, los archivos de los contenidos de video y audio de los dos servicios de TV digital, así como también el archivo null.ts. Este último es un paquete nulo que sirve para que el BTS generado sea del ancho de banda requerido por la norma ISDB-T y SBTVD-T. Se debe tener en cuenta que los archivos firstvideo.ts y firstaudio.ts se encuentran en los tutoriales que vienen con el OpenCaster2.4, adicionalmente, necesitamos generar un segundo contenido de video de nombre secondvideo.ts, el cual no se encuentra dentro de los tutoriales del OpenCaster2.4, para la generación de un TS con dos servicios de TV digital. Este segundo contenido, secondvideo.ts, se encuentra en el ANEXO 2.

Para esto se hace lo siguiente:

```
$ cd /home/tvd/TS_2SERVICIOS
```

```
$ cp <Directorio contenido de video secondvideo.ts> .
```

```
$ cp /home/tvd/OpenCaster/OpenCaster2.4/tutorials/OCTutorial2/firstvideo.ts .
```

```
$ cp /home/tvd/OpenCaster/OpenCaster2.4/tutorials/OCTutorial2/firstaudio.ts .
```

```
$ cp /home/tvd/OpenCaster/OpenCaster2.4/tutorials/OCTutorial2/null.ts .
```

Finalmente, se multiplexa estos archivos .ts con el siguiente comando:

```
tscbrmuxer 600000 b:3008 mptspat.ts b:3008 mptspmt1.ts b:3008 mptspmt2.ts  
b:1500 mptssdt.ts b:1400 mptsnit.ts b:2300000 firstvideo.ts b:188000 firstaudio.ts  
b:2300000 secondvideo.ts b:2000 mptstdt.ts b:25156370 null.ts >  
2_Servicios_oneseg.ts
```

Se genera el BTS en el archivo 2\_Servicios\_oneseg.ts. Debemos tener en cuenta lo siguiente:

600000: Es la cantidad de paquetes que se van a multiplexar.

b: 3008: Es el ancho de banda de las tablas mptspat(PAT), mptspmt1(PMT) y mptspmt2(PMT).

b:1500, b:1400: Son los anchos de banda de las tablas mptssdt(SDT) y mptsnit(NIT) respectivamente.

b:2300000, b:188000: Son los anchos de banda de los contenidos de videos (firstvideo y secondvideo) y del audio respectivamente.

b:2000: Es el ancho de banda de la tabla mptstdt(TDT).

b: 25156370: Es el ancho de banda de paquetes nulos. El sistema SBTVD-T tiene un ancho de banda fijo de 29.958.294 bps, y como estamos usando:

$2300000+2300000+188000+3008+3008+3008+1400+1500+2000 = 4801924$  bps,

en total, tenemos que completar el BTS con paquetes nulos. El ancho de banda para estos paquetes nulos entonces es:  $29958294-4801924 = 25156370$

Ahora, al multiplexar cambiamos la posición de los paquetes de video y el PCR (referencia de reloj del sistema) que viaja junto con el stream de video hace que la llegada de estos paquetes al receptor sea imprecisa. Para esto se utiliza el comando `tsstamp` del OpenCaster de la siguiente manera:

```
$ tsstamp 2_Servicios_oneseq.ts 29958294 > 2_Servicios_oneseq_.ts
```

Se generará el archivo `2_Servicios_oneseq_.ts` que corrige el problema antes mencionado. Todos los archivos `.ts` generados se encuentran en el Anexo 5.

Con la generación de un BTS con dos servicios podemos usar un servicio para el canal de ONESEG (para equipos portátiles) y otro para un servicio de TV digital SD (para televisores fijos). Este trabajo es realizado en la etapa de Transmisión del Estándar ISDB-T o SBTVD-T. [ABM2007]

#### **4.5 Generación de una trama BTS con aplicación Ginga NCL**

En este caso crearemos un directorio `/home/tvd/TS_GINGA`. Antes de todo tenemos que generar el carousel de objetos que contendrán la aplicación GINGA que se instalará en el receptor cuando llegue al mismo.

```
$ cd /home/tvd/TS_GINGA
```

```
$ cp -r <path a la aplicación>/* Partido/
```

Partido es una aplicación GINGA obtenida de la página del LIFIA para hacer las pruebas del BTS. [LIF2010]

Después usaremos la herramienta `oc-update.sh` que viene con el OpenCaster para generar el carousel de objetos. Ejecutamos el siguiente comando:

```
$ oc-update.sh Partido 0x0C 1 2004 2
```

Las especificaciones y los detalles de los valores de los parámetros del comando `oc-update.sh` se encuentran en el manual del OpenCaster. [LIF2011]

Esto va a generar un archivo `Partido.ts` que contiene los paquetes que llevan las secciones del carousel. Luego, crearemos las tablas PSI. Para esto en el Anexo 2 se adjuntan estas tablas las cuales son scripts generadas en código python. En este caso, copiaremos el script “TablasPSI\_GINGA” del Anexo 2 a nuestro directorio de trabajo:

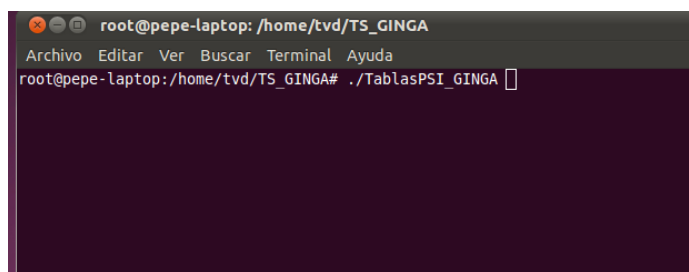


```
$ cp <Directorio del script TablasPSI_GINGA > /home/tvd/TS_GINGA
```

Una vez hecho esto correremos el script con el siguiente comando:

```
$ cd /home/tvd/TS_GINGA/  
$ chmod u+x TablasPSI_GINGA"  
$ ./TablasPSI_GINGA"
```

La siguiente figura muestra la ejecución del script en línea de comandos:

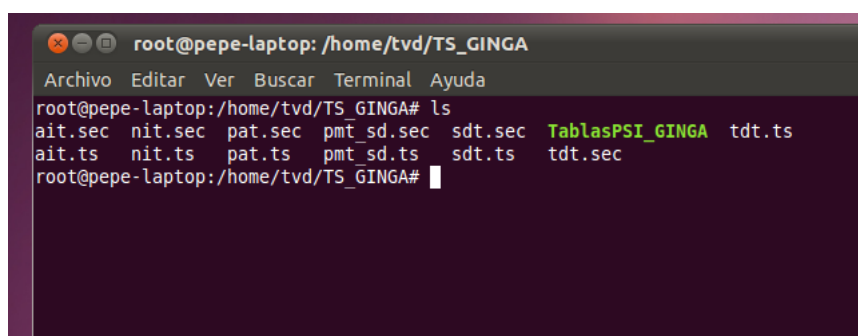


```
root@pepe-laptop: /home/tvd/TS_GINGA  
Archivo Editar Ver Buscar Terminal Ayuda  
root@pepe-laptop:/home/tvd/TS_GINGA# ./TablasPSI_GINGA
```

**FIGURA 4-5:** Ejecución de Script GINGA

Fuente: Elaboración Propia

Luego de correr el script se tiene que generar las tablas PSI en formatos TS. La siguiente figura muestra la generación de estas tablas:



```
root@pepe-laptop: /home/tvd/TS_GINGA  
Archivo Editar Ver Buscar Terminal Ayuda  
root@pepe-laptop:/home/tvd/TS_GINGA# ls  
ait.sec  nit.sec  pat.sec  pmt_sd.sec  sdt.sec  TablasPSI_GINGA  tdt.ts  
ait.ts   nit.ts   pat.ts   pmt_sd.ts   sdt.ts   tdt.sec  
root@pepe-laptop:/home/tvd/TS_GINGA#
```

**FIGURA 4-6:** Tablas generadas GINGA

Fuente: Elaboración Propia

Cabe resaltar que adicionalmente a las tablas básicas para un servicio de TV digital se ha generado una tabla AIT que, en el estándar SBTVD-T, sirve para llevar información de las aplicaciones interactivas embebidas en un BTS. Estas se instalarán automáticamente en el receptor. [ABM2007]

Ahora se tiene que copiar al directorio, junto con las tablas generadas, los archivos de video y audio, así como también el archivo null.ts. Este último es un paquete nulo que sirve para que el BTS generado sea del ancho de banda requerido por la norma ISDB-T y SBTVD-T. Para esto se hace lo siguiente:

```
$ cd /home/tvd/TS_GINGA
```

```
$ cp /home/tvd/OpenCaster/OpenCaster2.4/tutorials/OCTutorial2/firstvideo.ts .
```

```
$ cp /home/tvd/OpenCaster/OpenCaster2.4/tutorials/OCTutorial2/firstaudio.ts .
```

```
$ cp /home/tvd/OpenCaster/OpenCaster2.4/tutorials/OCTutorial2/null.ts .
```

Finalmente, se multiplexa estos archivos .ts con el siguiente comando:

```
tsbrmuxer 600000 b:15040 pat.ts b:15040 pmt_sd.ts b:3008 sdt.ts b:3008 nit.ts  
b:3008 ait.ts b:400000 Partido.ts b:2300000 firstvideo.ts b:188000 firstaudio.ts  
b:2000 tdt.ts b:27029190 null.ts > servicio_GINGA.ts
```

Se genera el BTS en el archivo servicio\_GINGA.ts. Debemos tener en cuenta lo siguiente:

600000: es la cantidad de paquetes que se van a multiplexar.

b:15040: La PAT y la PMT deben ser enviadas al menos 10 veces por segundo, según norma. Cada una de las tablas entra en un paquete de 188 bytes, entonces tenemos que enviar 10 paquetes por segundo. Cada paquete es de  $188 \text{ bytes} \times 8 = 1504 \text{ bits}$ , queremos que el ancho de banda sea de  $1504 \text{ bits} \times 10 = 15040 \text{ bps}$ . Se hace lo mismo para el cálculo del bitrate de la NIT, SDT y AIT.

b:400000: Es el ancho de banda del archivo que contiene los paquetes que llevan la aplicación interactiva GINGA

b:2300000, b:188000: son el ancho de banda del audio y del video respectivamente.

b:2000: Es el ancho de banda de la tabla TDT.

b:27434198: Es el ancho de banda de paquetes nulos. El sistema SBTVD-T tiene un ancho de banda fijo de 29.958.294 bps, y como estamos usando:  $15040+15040+3008+3008+3008+400000+2300000+188000+2000=2526096 \text{ bps}$ , en total, tenemos que completar el BTS con paquetes nulos. El ancho de banda para estos paquetes nulos entonces es:  $29958294-2929104=27029190$

Ahora, al multiplexar cambiamos la posición de los paquetes de video y el PCR (referencia de reloj del sistema) que viaja junto con el stream de video hace que la llegada de estos paquetes al receptor sea imprecisa. Para esto se utiliza el comando tsstamp del OpenCaster de la siguiente manera:

```
$ tsstamp Servicio_GINGA.ts 29958294 > Servicio_GINGA_.ts
```

Se generará el archivo Servicio\_GINGA\_.ts que corrige el problema antes mencionado. Todos los archivos .ts generados se encuentran en el Anexo 5.

## **Capítulo 5**

### ***Pruebas de la trama BTS generada***

En este capítulo se describirán las pruebas en dos escenarios: el escenario RF (Radio Frecuencia) y el escenario IP (solo para un servicio de TV digital SD). Para el escenario RF se utilizará un hardware adicional, una tarjeta DEKTEC moduladora. Asimismo, se usará un software analizador de tramas DEKTEC StreamXpress. Para el escenario IP se usará el software reproductor de video VLC.

#### **5.1 Escenario de Pruebas**

La siguiente tabla muestra un resumen de las pruebas que se realizaron en laboratorio respecto a los escenarios RF e IP. Para un BTS de 2 servicios de TV Digital y un BTS con aplicación GINGA NCL no se realizaron pruebas en el escenario IP debido a que el software OpenCaster, utilizado en la presente tesis, no soporta la generación de este tipo de pruebas.

**TABLA 5-1:** Tabla resumen de pruebas

Fuente: Elaboración propia

Escenario	BTS de 1 servicio de TV Digital	BTS de 2 servicios de TV Digital	BTS con aplicación GINGA NCL
IP	✓	-	-
RF	✓	✓	✓

### 5.1.1 Escenario RF

Se usara un hardware adicional: DEKTEC. El modelo a usar es el DTA-115. Esta es una tarjeta moduladora PCI para VHF o UHF. Permite transmitir una señal ISDB-T desde un computador. La tarjeta consta de tres conectores. Dos de los cuales son del tipo BNC y uno del tipo F. De estos conectores existen dos salidas en formato ASI (Transport Stream), que son un conector BNC y otro F. La última salida con conector BNC corresponde a la señal de RF modulada en VHF/UHF. La figura 2-21 muestra dicha tarjeta, la cual también se describió en el capítulo 2.3.1 [SOL2010].

Las características mínimas de la computadora a utilizar, de acuerdo al fabricante Dektec, son las siguientes:

- **CPU:** Core2Quad (2.83GHz) o similar.
- **RAM:** 2GB
- **HDD:** HDD1 de 160GB (7200rpm) y HDD2 de 500GB (7200rpm)
- Incluir Mouse, teclado y monitor.
- **SISTEMA OPERATIVO:** Las aplicaciones a usar corren bajo el sistema operativo de Windows XP.

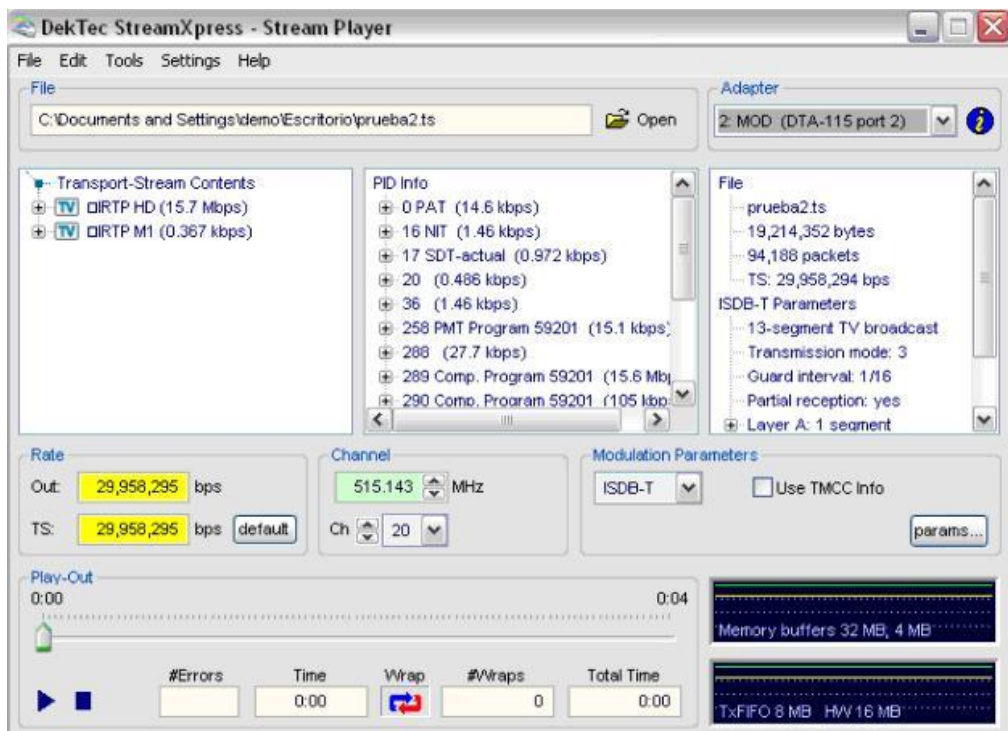
La siguiente figura muestra el CPU con la tarjeta PCI DTA-115 ensamblada.



**FIGURA 5-1:** Tarjeta DTA-115 instalada en CPU

Fuente: [SOL2010]

Asimismo, se usara la aplicación DEKTEC StreamXpress que tiene la siguiente interfaz gráfica:



**FIGURA 5-2:** Dektec StreamXpress

Fuente: [SOL2010]

El funcionamiento del software Stream Xpress debe seguir el siguiente procedimiento de configuración [SOL2010]:

- ▬ Elegir el archivo en formato .ts ubicándolo en la ruta donde se encuentre.
- ▬ Seleccionar el adaptador de salida (parte superior derecha). En este caso esta elegida la salida MOD (modulada) de la tarjeta DTA-115.
- ▬ Elegir el canal de salida en la opción channel
- ▬ Lanzar el archivo haciendo click en el botón play.

De esta manera, la siguiente figura muestra el diagrama que corresponde a la conexión necesaria para las pruebas de la transmisión del BTS. Finalmente es necesaria una antena UHF conectada a la tarjeta Dektec para la transmisión de la señal en frecuencia UHF.



**FIGURA 5-3:** Escenario RF

Fuente: Elaboración Propia

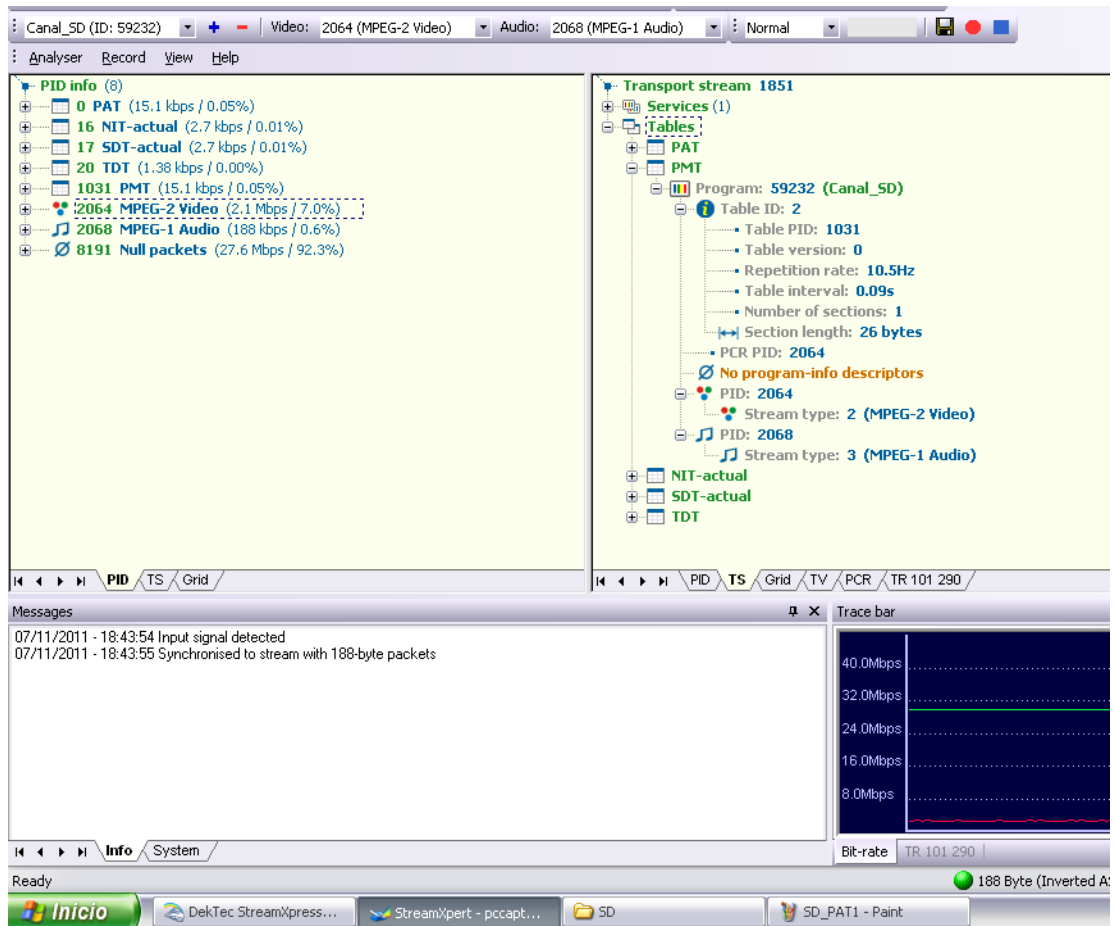
### 5.1.2 Escenario IP

Para las pruebas en el escenario IP se usará el VLC, el cual es un reproductor de video multimedia que reproduce casi cualquier tipo de formato de audio y video entre ellos el formato de BTS que vamos a generar [VLC2011]. Esto se ejecutará sobre el sistema operativo libre Linux.

## 5.2 Prueba de la trama BTS de un servicio de TV digital SD

### 5.2.1 Escenario RF

Como se explicó anteriormente para las pruebas de una trama BTS se usará un analizador de tramas: DEKTEC StreamXpress. En la siguiente figura se muestra una gráfica de la trama BTS del servicio de TV digital SD capturada.



**FIGURA 5-4:** Pruebas SD

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que efectivamente la trama BTS contiene los paquetes de contenido de audio y video codificado en MPEG-2, asimismo se observa las tablas PSI (básicas para un servicio de TV digital SD, según el estándar) que acompañan a este contenido para señalarlos en el receptor. Por último se observa los paquetes nulos que permitirán que el ancho de banda del BTS sea el requerido por el estándar ISDB-T o SBTVD-T. Con esto se demuestra que se logró generar una



trama BTS con un servicio de TV Digital SD. La información completa y detallada que arroja el analizador de tramas para este escenario se encuentra en el Anexo 6.

### 5.2.2 Escenario IP

Para realizar las pruebas en un escenario IP se ejecutará en línea de comandos el comando del OpenCaster “tsudpsend” de la siguiente manera:

```
tsudpsend <archivo.ts> <direccion de IP destino> <puerto> <bitrate>
```

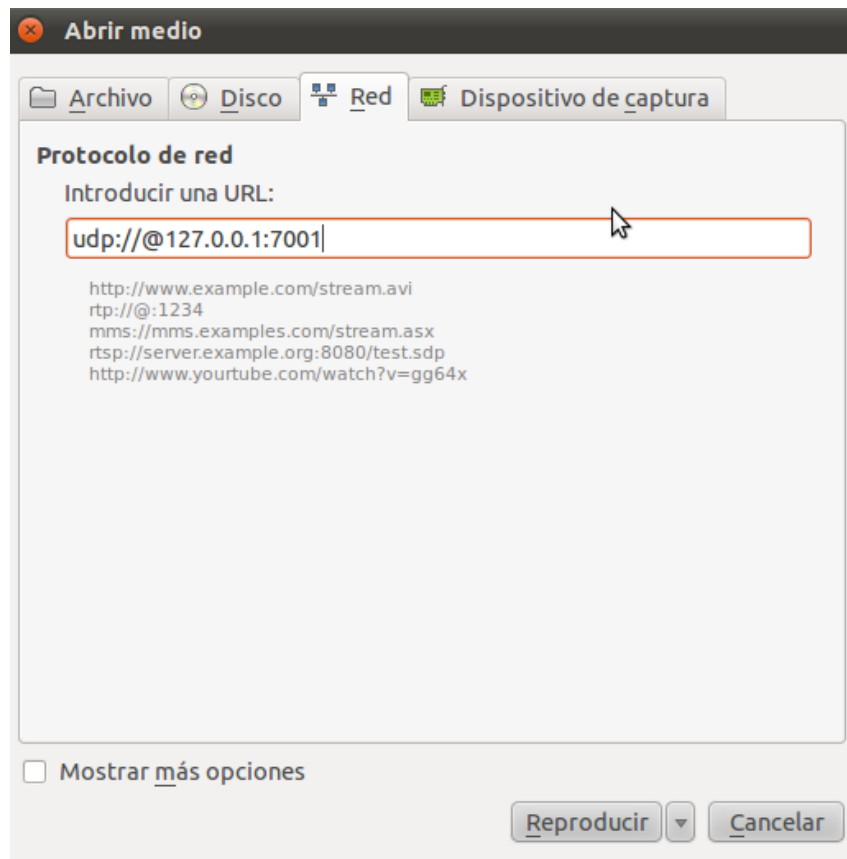
Este comando encapsula paquetes TS con cabecera IP y usa el protocolo UDP, de la capa de transporte del modelo OSI, para el envío de paquetes sobre una arquitectura IP.

Para las pruebas entonces se crearán previamente dos colas, en el directorio de trabajo /home/tvd/ts\_sd, por medio del comando “mkfifo” de la siguiente manera:

```
$ mkfifo cola1
```

```
$ mkfifo cola2
```

La cola1 permitirá almacenar los paquetes multiplexados por el comando tscbrmuxer y la cola 2 recibirá los datos de la cola1 y los enviará hacia el entorno IP. El host destino tiene que configurar su reproductor VLC tal como lo muestra la siguiente figura:



**FIGURA 5-5:** Configuración VLC

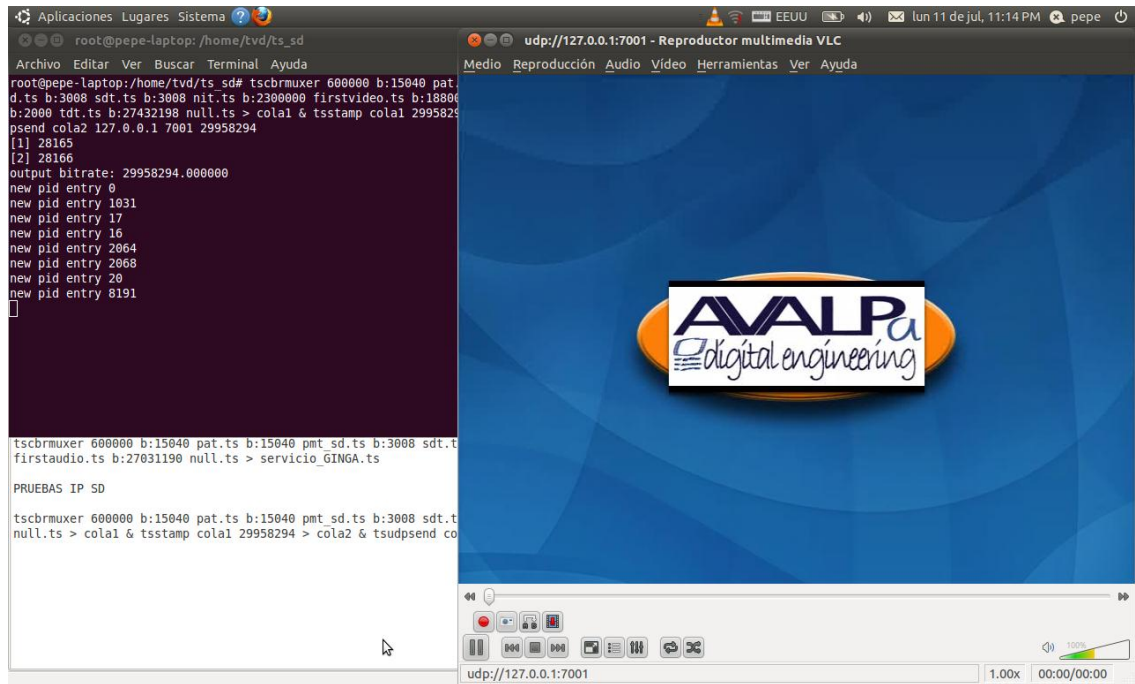
Fuente: Elaboración Propia

Luego ejecutamos en línea de comando lo siguiente:

```
$ tscbrmuxer 600000 b:15040 pat.ts b:15040 pmt_sd.ts b:3008 sdt.ts b:3008 nit.ts  
b:2300000 firstvideo.ts b:188000 firstaudio.ts b:2000 tdt.ts b:27432198 null.ts >  
cola1 & tsstamp cola1 29958294 > cola2 & tsudp send cola2 127.0.0.1 7001  
29958294
```

De esta manera, enviaremos el flujo multiplexado hacia la cola1, luego cada paquete que ingrese a la cola1 será fijado con el comando “tsstamp” para evitar el efecto que le hace la multiplexación al PCR. Esto se coloca automáticamente en la cola2. Luego el contenido de la cola2 se envía inmediatamente hacia la dirección IP 127.0.0.1 (que en este caso es nuestra dirección loopback) y por el puerto destino (en este caso se usará el puerto 7001). Usar la dirección loopback como la dirección destino a la que vamos a enviar el stream de audio y video quiere decir que seremos nosotros mismos los que recibiremos este contenido.

La siguiente figura muestra cómo la información de video llega al VLC, via IP.



**FIGURA 5-6:** Escenario IP SD

Fuente: Elaboración Propia

Asimismo, la siguiente figura muestra que el contenido de video sigue siendo reproducido aun cuando ya la totalidad del BTS se ha transmitido hacia la cola1. Esto se genera porque el contenido que finalmente se aprecia por el VLC es aquel que sale de la cola2 y esta cola sigue enviando el contenido que la cola1 le dio.

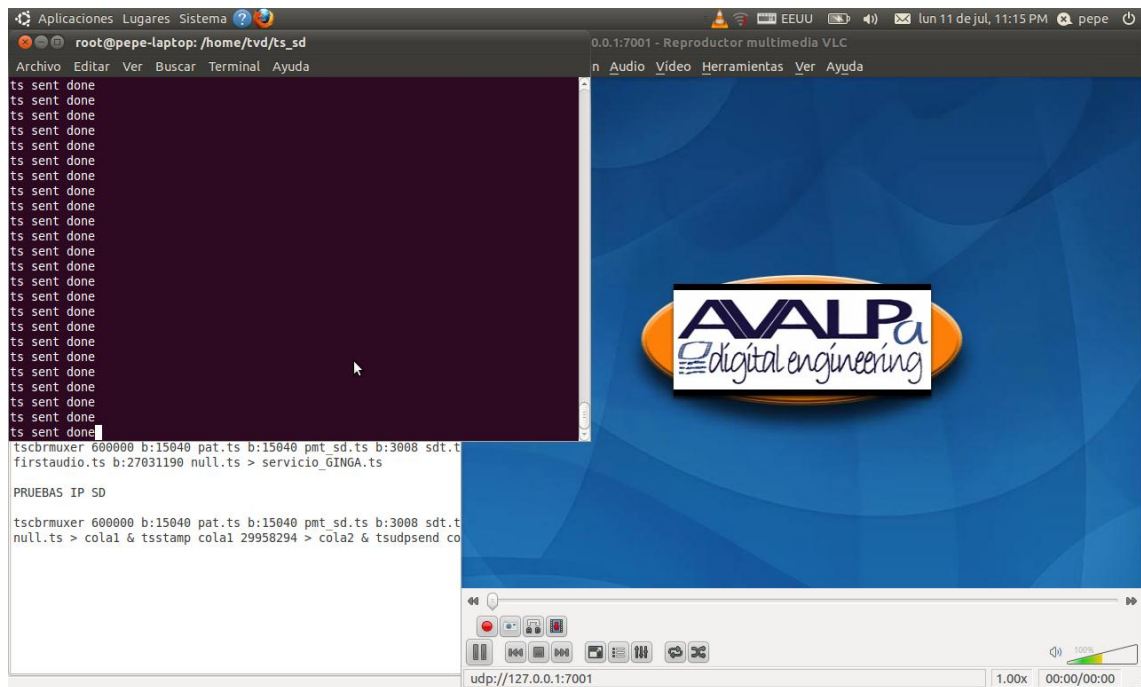
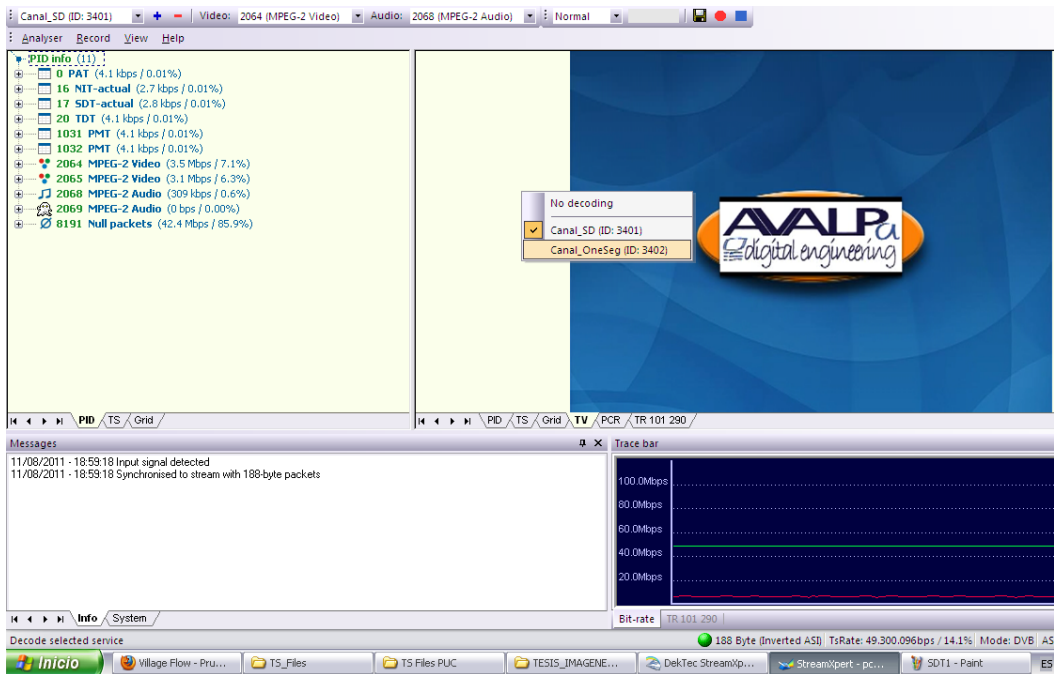


FIGURA 5-7: Escenario IP SD\_1

Fuente: Elaboración Propia

### 5.3 Prueba de la trama BTS de dos servicios de TV digital SD

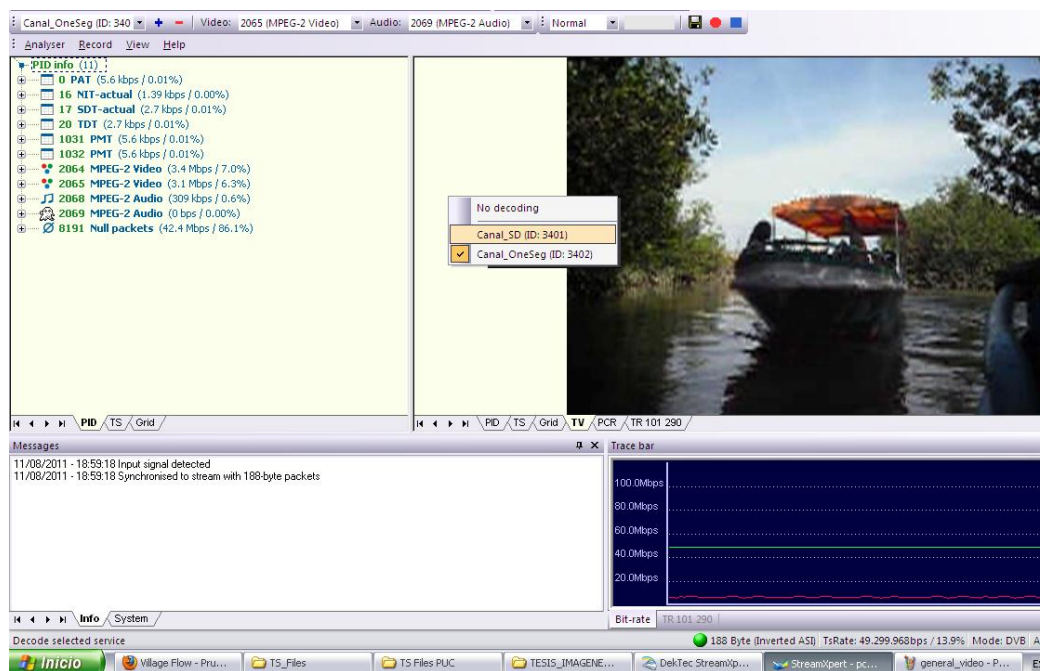
En la siguiente figura se muestra una gráfica de la trama BTS de dos servicios de TV digital SD capturadas. Asimismo, la figura muestra al lado derecho la reproducción de uno de los servicios que contiene la trama BTS. Para las pruebas realizadas, este servicio es el que será enviado hacia los televisores digitales estáticos (servicio denominado Canal SD).



**FIGURA 5-8: Pruebas Canal SD**

Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente figura se muestra al lado derecho la reproducción del otro servicio que contiene la trama BTS. Para las pruebas realizadas, este servicio es el que será enviado hacia los televisores digitales portátiles (servicio denominado Canal OneSeg).



**FIGURA 5-9: Pruebas Canal OneSeg**

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a lo mencionado en el capítulo anterior, la etapa de Transmisión del Estándar ISDB-T o SBTVD-T es la encargada de efectuar el proceso de segmentación de los contenidos y enviarlos hacia el Canal SD o hacia el canal OneSeg. [ABM2007]

En ambas figuras se observa que efectivamente la trama BTS contiene los paquetes de dos contenidos de audio y video codificado en MPEG-2, asimismo se observa las tablas PSI (básicas para uno o dos servicios de TV digital SD, según el estándar) que acompañan a estos contenidos para señalarlos en el receptor. Por último se observa los paquetes nulos que permitirán que el ancho de banda del BTS sea el requerido por el estándar ISDB-T o SBTVD-T. Con esto se demuestra que se logró generar una trama BTS con dos servicios de TV Digital SD. La información completa y detallada que arrojó el analizador de tramas para este escenario se encuentra en el Anexo 6.

#### 5.4 Prueba de la trama BTS con aplicación Ginga NCL

En la siguiente figura se muestra una gráfica de la captura de la trama BTS del servicio de TV digital SD con una aplicación interactiva GINGA.

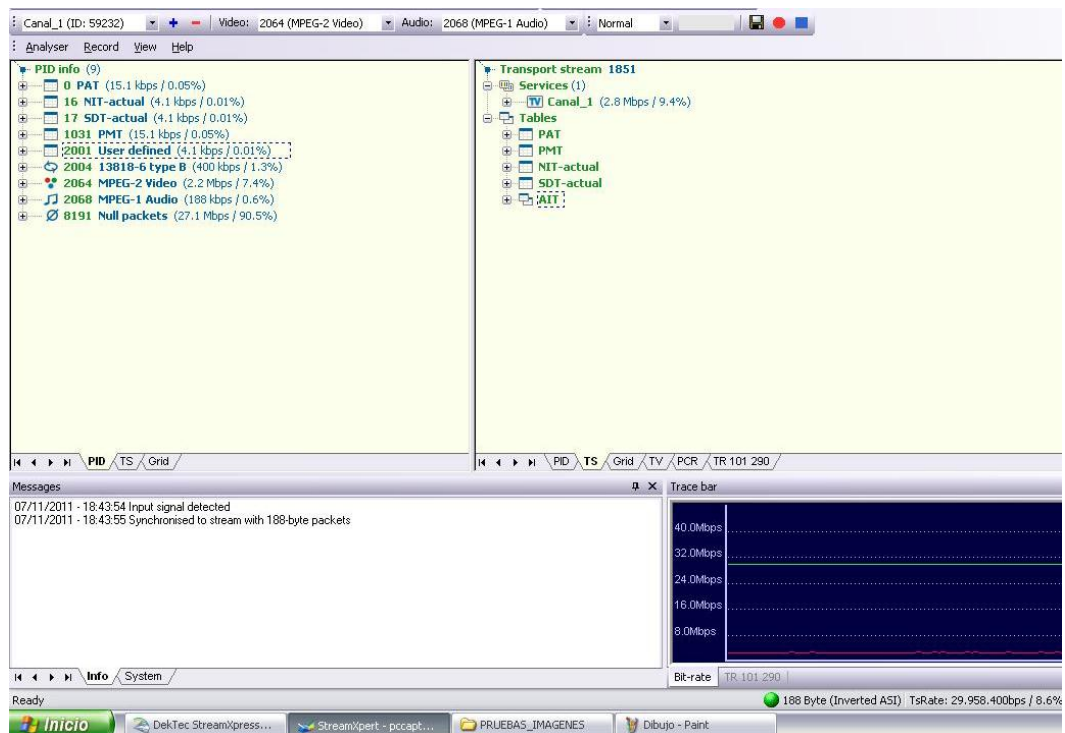


FIGURA 5-10: Prueba GINGA

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que efectivamente la trama BTS contiene los paquetes de contenido de audio y video codificado en MPEG-2, asimismo se observa las tablas PSI (básicas para un servicio de TV digital SD, según el estándar) que acompañan a este contenido para señalarlos en el receptor. Adicionalmente, se observa que se generó la tabla AIT la cual permitirá señalar el carousel de objetos que contiene la aplicación GINGA que se transmite en el BTS junto con el stream de audio y video. Esta aplicación se instalará automáticamente cuando llegue al receptor. Por último, se observa los paquetes nulos que permitirán que el ancho de banda del BTS sea el requerido por el estándar ISDB-T o SBTVD-T. Con esto se comprueba que se ha generado efectivamente la trama BTS con una aplicación GINGA contenida en ella. La información completa y detallada que arrojó el analizador de tramas para este escenario se encuentra en el Anexo 6.

## ***Conclusiones, Recomendaciones y Trabajos Futuros***

### **6.1 Conclusiones**

Al terminar la presente tesis, se pudieron llegar a las siguientes conclusiones:

- Las soluciones en hardware para funciones de codificación y multiplexación en un sistema de TV digital tienen un costo muy elevado que está al alcance de sólo grandes empresas.
- Para fines de abaratar costos en el despliegue de TV digital se usa soluciones en software, sin embargo, se tiene que pagar una licencia de uso que no está al alcance de los estudiantes pertenecientes al grupo de investigación de TV digital PUCP.
- Existen herramientas que permiten ejecutar las tareas básicas de un codificador y multiplexor en software libre, sin embargo, trabajan en base al estándar europeo de TV digital DVB-T.



- Se logró realizar el diseño e implementación en software de las tablas PSI que señalizan los contenidos de video y audio en un sistema de TV digital, según el estándar ISDB-T
- Se logró generar una trama Broadcast Transport Stream (BTS) que contiene información de audio, video y datos (Tablas PSI). Se logró incluso generar un BTS con una aplicación GINGA embebida. Por lo cual, se logró implementar la trama BTS propuesta en la tesis.
- Se realizaron pruebas en RF de la trama BTS logrando visualizar el contenido de la trama en un Televisor. Asimismo, se comprobó la generación de la Trama BTS en un analizador de tramas, software que viene con la tarjeta moduladora DEKTEC.
- Se realizaron pruebas en un escenario IP para los servicios de TV digital Standard Definition (SD) enviando la trama BTS sobre la tecnología IP. Esto deja un claro inicio de soluciones de broadcast de TV digital híbrido.
- Se deja un claro inicio del desarrollo de un sistema de TV digital basado en software libre.

## 6.2 Recomendaciones

Se sugieren, a continuación, algunas recomendaciones que se deben tener en cuenta en el presente proyecto:

- Para hacer transmisiones en vivo de TV digital, bajo un sistema de software libre, se necesita un encoder libre que permita codificar los contenidos de audio y video e inmediatamente multiplexarlos para generar la trama BTS.
- Se debe tener especial cuidado en la capacidad de procesamiento de la computadora que se va a utilizar para la generación de una trama BTS. Más aún si previamente se va a utilizar un enconder para la codificación de audio y video puesto que codificar un video y audio consume gran parte de recursos del CPU.

- Para la presente tesis se recomienda usar un encoder basado en hardware para las tareas de codificación de los contenidos de audio y video. Los encoders libres no lo hacen con buena performance.
- Se recomienda usar la versión del OpenCaster 2.4 debido a que las modificaciones hechas por el LIFIA con algunas especificaciones del estándar ISDB-T están hechas para esta versión.

### 6.3 Trabajos futuros

Se proponen a continuación diversos trabajos derivados del presente proyecto:

- Es de gran utilidad el realizar el diseño e implementación de un analizador de tramas hecho en software libre.
- Enfocándonos en la tarea de codificación, es de gran utilidad el desarrollo de un encoder H.264 y MPEG-4 (AAC) en software libre, o el mejoramiento de alguno que exista, que tenga una gran performance para fines de ahorrar costos excesivos en soluciones de hardware
- Partiendo de la iniciativa de esta tesis, el siguiente paso es implementar un entorno completo de configuración de TV digital que se encargue de las tareas de codificación y multiplexación, todo según las especificaciones del estándar ISDB-T y SBTVD-T.
- Debido al gran despliegue de las comunicaciones móviles, es de mucho interés el hacer una propuesta de infraestructura híbrida (etapa de transmisión de TV digital sobre infraestructura IP) para soluciones de IPTV móvil.

## Bibliografía

- [ABM2007] Associação Brasileira de Normas Técnicas  
NBR 15604. Norma Brasileira ABNT.1 de diciembre del 2007
- [CNC2008] Consejo Consultivo de Radio y Televisión CONCERTV  
URL: <http://www.concertv.gob.pe/>  
Consulta: 28 de Febrero del 2012
- [DEK2010] Dektec Stream Xpert Leaflet  
URL: <http://www.dektec.com>  
Consulta: 28 de Febrero del 2012
- [LIF2010] Aplicaciones Interactivas del LIFIA  
URL: <http://wiki.ginga.org.ar/doku.php?id=lifia:aplicaciones>  
Consulta: 28 de Febrero del 2012
- [LIF2011] OpenCaster para SATVD-T  
URL: <http://wiki.ginga.org.ar/lib/exe/fetch.php?media=lifia:guiaopencaster2.pdf>  
Consulta: 28 de Febrero del 2012
- [LIN2011] Sobre Linux  
[http://www.linux-es.org/sobre\\_linux](http://www.linux-es.org/sobre_linux)  
Consulta: 28 de Febrero del 2012
- [MAR2010] GRUPO DE TELEVISION DIGITAL – PUCP  
2007 *Capacitación en TV Digital* [diapositivas]. Lima: PUCP.
- [MAT2010] MATAMOROS RIOJAS, Ronald Adolfo  
2009 *Análisis técnico y de mercado para una infraestructura de TDT propuesta para lima metropolitana bajo SBTVD*. Tesis de licenciatura en Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería de las Telecomunicaciones. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería
- [MTC2010] TV Digital Perú – MTC  
URL: <http://tvdigitalperu.mtc.gob.pe>  
Consulta: 28 de Febrero del 2012

[OPC2011] Avalpa Broadcast Server user manual

[URL:http://www.avalpa.com/assets/freesoft/opencaster/AvalpaBroadcastServerUserManual-v3.0.pdf](http://www.avalpa.com/assets/freesoft/opencaster/AvalpaBroadcastServerUserManual-v3.0.pdf)

Consulta: 28 de Febrero del 2012

[PER2006] PERALES BENITO, Tomás

2006 *Radio y television digitales: tecnología de los sistemas DAB, DVB, IBUC Y ATSC*, Primera edición, México D.F: LIMUSA

[PHY2011] Python Programming Language – Official Website

<http://www.python.org/>

Consulta: 28 de Febrero del 2012

[SOL2010] SOLIS SÁNCHEZ, Carlos Daniel

2009 *Propuesta para la implementación de un sistema de televisión digital terrestre para pequeños radiodifusores con el uso de soluciones en software*. Tesis de licenciatura en Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería de las Telecomunicaciones. Lima: Pontificia Universidad Católica el Peru, Facultad de Ciencias e Ingeniería

## **Anexos**

### **Anexo 1: Manual del OpenCaster – Lifia**

Se presenta el manual hecho por el LIFIA sobre la instalación del OpenCaster y sobre de generación de tramas BTS

### **Anexo 2: Tablas PSI**

Se presentan archivos que contienen el código (en python) para la generación de las Tablas PSI básicas que permitirán transmitir un servicio de televisión digital.

### **Anexo 3: OpenCaster2.4**

Se presenta la versión 2.4 del software OpenCaster desarrollado por AVALPA.SRL con sus respectivos tutoriales.

### **Anexo 4: Aplicación Ginga**

Se presenta una aplicación ginga extraída de la página web del LIFIA para nuestras pruebas de una BTS conteniendo una aplicación interactiva.

### **Anexo 5: BTS generados**

Se presentan todos los BTS generados en la implementación de estos.

### **Anexo 6: Información de pruebas**

Se presentan toda la información completa y detallada que arrojó el analizador de tramas y que concuerdan con los datos configurados. Asimismo, se presentan videos de las pruebas realizadas en laboratorio.