

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

Diseño del sistema de transmisión satelital para el transporte de la
señal ISDB-T BTS

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

ANDRÉS ERASMO CARHUAMACA ESPINOZA

ASESOR: ING. MARCO MAYORGA MONTOYA

Lima, diciembre del 2011

Resumen

El presente proyecto de tesis consiste en el diseño del sistema de transmisión satelital para el transporte de la señal de Televisión Digital Terrestre (TDT) a provincias de manera que éste sirva como modelo de referencia, para las empresas emisoras de contenido, que deben iniciar este tipo de transmisiones en los próximos años.

El primer capítulo muestra el estado del arte de la TDT, en donde se identifican las consideraciones generales como antecedentes en el Perú, implementación en otros países y el despliegue actual en nuestro país. También se hará una evaluación de la legislación vigente sobre el desarrollo de la TDT.

El segundo capítulo contempla el estudio de las tecnologías relacionadas con la TDT como el estándar Transmisión Digital Terrestre de Servicios Integrados (Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial – ISDB-T) y, en especial, el estándar para transmisión satelital DVB-S2. También se hará un estudio de la señal Broadcast Transport Stream (BTS) que encapsula las señales: High Definition (HD), Standard Definition (SD) y One-Seg.

El tercer capítulo involucra el método que se utilizará para remultiplexar la señal ISDB-T BTS de manera que se logre reducir considerablemente su elevada tasa de bits. También se mostrarán los resultados obtenidos en Brasil con el método, bajo diferentes configuraciones de prueba.

En el cuarto capítulo se plasmará el diseño del sistema de transmisión satelital para transportar la señal ISDB-T BTS desde las estaciones de emisión en Lima hasta las estaciones retransmisoras en provincias. Se detallarán también todos los equipos involucrados en la solución y las consideraciones necesarias para la operación de los mismos.

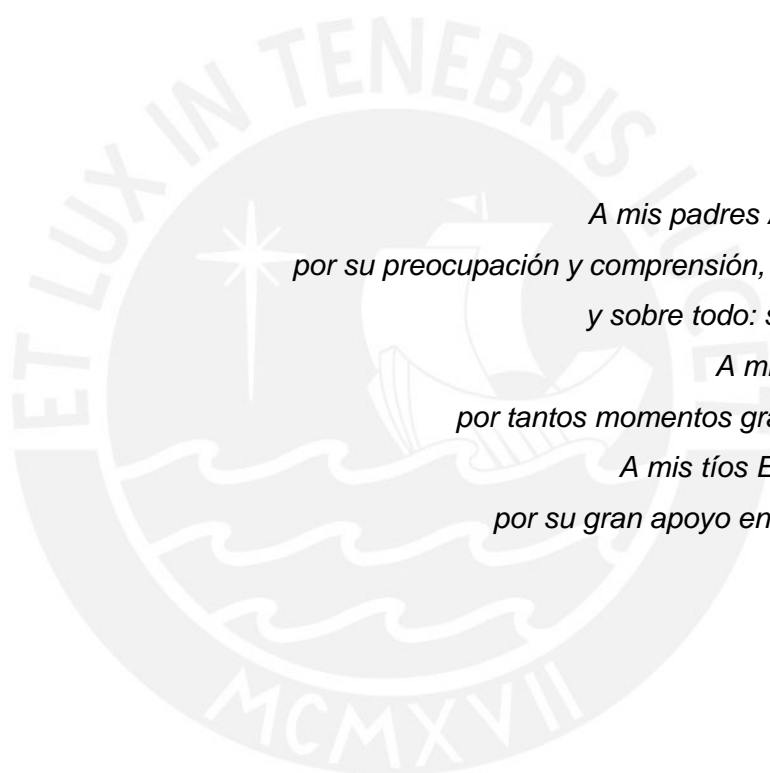
El quinto capítulo se enfoca en un análisis económico de la solución propuesta y se compara los costos de alquiler de espectro que las empresas emisoras de contenido tendrán que afrontar, utilizando el método de remultiplexado y sin éste.

Dedicatoria

*A mis padres Andrés y Clarisol,
por su preocupación y comprensión, apoyo constante,
y sobre todo: su inmenso amor.*

*A mi hermano Daniel,
por tantos momentos gratos compartidos.*

*A mis tíos Eduardo y Beatriz,
por su gran apoyo en los últimos años.*



Agradecimientos

A Dios, por enseñarme el camino para ser mejor y por darme una familia tan maravillosa. Por poner en mi camino a aquellas personas que me ayudaron a culminar esta importante fase de mi vida, y que me seguirán ayudando a diario a mejorar como persona.

A mis padres y hermanos, por ayudarme a crecer y enfrentar los obstáculos que se me presentan en la vida. Gracias por guiarme y apoyar las decisiones que tomo.

A mi asesor, Ing. Marco Mayorga Montoya quien depositó su entera confianza en mi persona, para poder desarrollar el presente tema de tesis, y por su apoyo

Al Profesor Carlos Alcócer, por su gran apoyo y disposición para resolver mis dudas de cara a terminar la tesis.

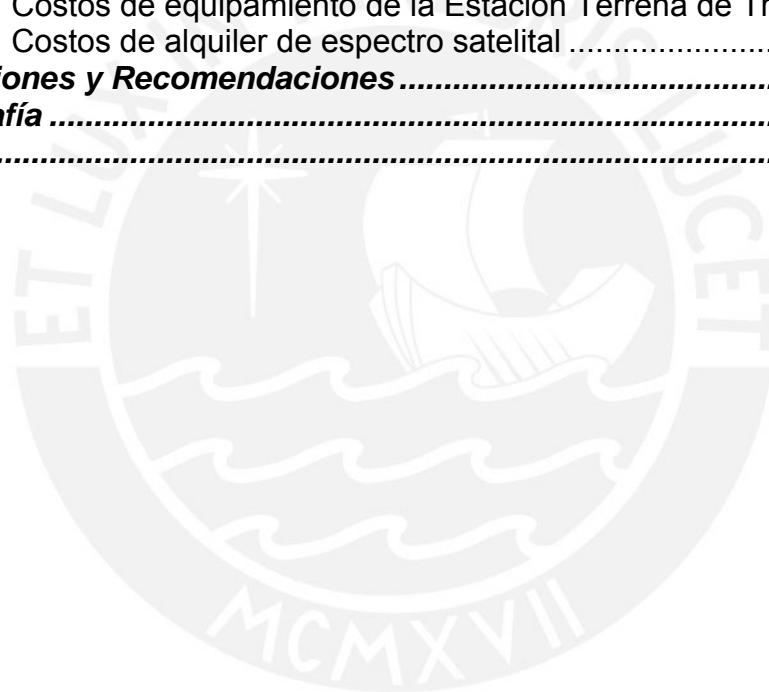
A mi familia, por su preocupación constante y apoyo. En especial a mi madrina Beatriz, que me ha apoyado inmensamente en estos últimos años de la carrera.

A mis amigos, con los que empecé la etapa universitaria y a los que fui conociendo en el camino, por haber hecho tan especial mi paso por la universidad. Gracias a todos aquellos que me enseñaron a ser mejor como alumno y como persona.

Índice

Índice.....	v
Lista de Figuras.....	vii
Lista de Tablas	viii
Introducción	9
Capítulo 1 Estado del Arte de la TDT y Definición del Problema.....	10
1.1 Consideraciones generales de la TDT	10
1.1.1. Antecedentes de la TDT en el Perú.....	10
1.1.2. Implementación de TDT a nivel de Sudamérica	11
1.1.3. Implementación de TDT a nivel de la administración peruana	14
1.2 Legislación de la Televisión Digital Terrestre en el Perú	15
1.2.1. Marco legal de la TDT	16
1.2.2. Plan Maestro.....	17
1.3 Definición del problema y justificación.....	19
Capítulo 2 Estudio de las tecnologías de la TDT y Solución Propuesta ..	20
2.1 Estándar ISDB-T.....	20
2.1.1. Características y ventajas.....	20
2.1.2. Esquema de transmisión ISDB-T.....	22
2.2 Digital Video Broadcasting - 2nd Generation Satellite (DVB-S2) ..	24
2.2.1. Antecedentes: el estándar DVB-S	24
2.2.2. Características y ventajas.....	25
2.2.3. Despliegue comercial	26
2.3 Señal Broadcast Transport Stream (BTS).....	27
2.3.1. Análisis de la trama BTS	28
2.4 La solución propuesta.....	30
Capítulo 3 Remultiplexado de la Señal ISDB-T BTS	32
3.1 Método Brasileño de Remultiplexado de la Señal BTS	32
3.1.1. TS-Adapter	32
3.1.2. BTS-Adapter	35
3.1.3. Resultados obtenidos con el Método.....	36
Capítulo 4 Diseño del Sistema de Transmisión Satelital.....	40
4.1 Enlace Satelital.....	41
4.1.1. Modelo de enlace de subida – Uplink.....	41
4.1.2. El transpondedor	41
4.1.3. Modelo de enlace de bajada – Downlink	42
4.2 Equipos de la Estación de Cabecera.....	43
4.2.1. Encoder HD/One-Seg Z3 MVE-20.....	43
4.2.2. Mux/Remux EITV Playout Professional	44
4.2.3. TS-Adapter: PC + Dektec DTA-140	46
4.2.4. Modulador DVB-S2 Comtech EFData DM240XR.....	47
4.2.5. High Power Amplifier – CPI 750W Outdoor TWT Amplifier.....	50
4.2.6. Antena parabólica VertexRSI Tx/Rx	52
4.3 Equipos de la Estación Terrena de Transmisión	53
4.3.1. Antena parabólica Prodelin Rx Only	53
4.3.2. LNB Norsat PLL 3000 High Stability	54

4.3.3.	Demodulador DVB-S2 EITV Replay	55
4.3.4.	BTS-Adapter: PC + Dektec DTA-140.....	55
4.3.5.	Mux/Remux EITV Replay	56
4.3.6.	ISDB-T Modulator /Transmitter UBS DTX-1200U	57
4.3.7.	GPS Receiver 10 MHz.....	58
4.4	Propuesta de Sistema de Transmisión Satelital para la señal ISDB-T BTS	59
	Capítulo 5 Análisis Económico.....	61
5.1	Costos del Sistema de Transmisión con TS/BTS Adapter	61
5.1.1.	Costos de equipamiento de la Estación Terrena de Emisión.....	61
5.1.2.	Costos de equipamiento de la Estación Terrena de Transmisión....	63
5.1.3.	Costos de alquiler de espectro satelital	65
5.2	Costos del Sistema de Transmisión sin TS/BTS Adapter	65
5.2.1.	Costos de equipamiento de la Estación Terrena de Emisión.....	65
5.2.2.	Costos de equipamiento de la Estación Terrena de Transmisión....	67
5.2.3.	Costos de alquiler de espectro satelital	68
	Conclusiones y Recomendaciones	69
	Bibliografía	71
	Anexos	75



Lista de Figuras

Figura 1.1- Distribución Geográfica de las Estaciones Transmisoras de Televisión Digital en Argentina.....	13
Figura 1.2 – Situación de la TDT en Lima.....	14
Figura 1.3 – Transición analógico-digital.....	15
Figura 2.1– Sistema Jerárquico de Transmisión ISDB-T	21
Figura 2.2– Esquema de Transmisión ISDB-T	22
Figura 2.3 – Cadena de Transmisión DVB-S	24
Figura 2.4 – Equipos para MPEG-4 Y DVB-S2 - Argentina	27
Figura 2.5 – Paquete de datos BTS	28
Figura 2.6 – Trama Multiplexada de BTS.....	28
Figura 2.7 – Encapsulamiento BTS.....	29
Figura 2.8 – Cadena de Transmisión DVB-S2	31
Figura 3.1– Diagrama de bloques del TS-Adapter	33
Figura 3.2– Diagrama de bloques del BTS-Adapter.....	35
Figura 3.3– Diagrama de bloques del escenario de prueba.....	36
Figura 3.4– Distribución de la tasa de bits usando el método brasileño	39
Figura 4.1 – Diagrama de bloques del Uplink	41
Figura 4.2 –Diagrama de bloques del Transponedor	42
Figura 4.3 – Diagrama de bloques del Downlink.....	42
Figura 4.4 – Encoder Z3 MVE-20 (dual canal).....	44
Figura 4.5 – Mux/Remux EITV Playout Professional	44
Figura 4.6 – PC + Tarjeta Dektec DTA 140.....	46
Figura 4.7 – Diagrama de bloques funcional del sistema DVB-S2.....	47
Figura 4.8 – Modulador DVB-S2 Comtech DM240XR	50
Figura 4.9 – 750 Watt TWT HPA.....	51
Figura 4.10 – Antena VertexRSI Tx/Rx (modelo 4.8m)	52
Figura 4.11– Antena Prodelin Rx Only (modelo 3.7m).....	53
Figura 4.12– Norsat C-Band PLL 3000 High Stability	54
Figura 4.13 – PC + Tarjeta Dektec DTA 140.....	56
Figura 4.14– Mux/Remux EITV Replay	56
Figura 4.15 – Modulator /Transmitter UBS DTX-1200U	57
Figura 4.16 – GPS Receiver 10 MHz.....	58
Figura 4.17 – Sistema de Transmisión Satelital para la señal ISDB-T BTS.....	60

Lista de Tablas

Tabla 1.1 – Inicio de transmisión con tecnología digital	19
Tabla 2.1 – DVB-S vs. DVB-S2.....	26
Tabla 3.1 – Número de TSP incluido en una trama multiplexada	34
Tabla 3.2 – Longitud de la trama por Modo	34
Tabla 3.3 – Configuraciones probadas	38
Tabla 4.1 – Configuración modulador DVB-S2 y resultados – MPEG-TS	49
Tabla 4.2 – Configuración modulador DVB-S2 y resultados - BTS.....	49
Tabla 5.1 – Costos de equipos ISDB-T - ETE.....	62
Tabla 5.2 – Costos de equipos para el Uplink - ETE.....	62
Tabla 5.3 – Costos de equipos ISDB-T - ETT.....	63
Tabla 5.4 – Costos de equipos para el Uplink - ETT.....	64
Tabla 5.5 – Costos de equipos para el Uplink – ETT sin Método.....	67



Introducción

De acuerdo al Plan Maestro de Televisión Digital Terrestre (Decreto Supremo N° 017-2010-MTC), los plazos máximos para el inicio de transmisiones con tecnología digital a provincias, en los denominados Territorios 02, 03 y 04, empiezan a expirar desde el tercer trimestre del 2016.

Por este motivo, resulta entonces de suma importancia para los canales de televisión, definir cuanto antes las características de transmisión que utilizarán para llevar la señal de televisión digital a provincias, de tal manera que el sistema les resulte rentable, eficiente, brinde una buena calidad de imagen y se ajuste a la realidad peruana.

El presente tema de tesis contempla el diseño de un sistema de transmisión satelital para el envío de la señal de Televisión Digital Terrestre (TDT) a provincias que, según lo mencionado anteriormente, será obligatorio para las empresas emisoras de contenido a partir del tercer trimestre del año 2016.

El diseño del sistema mencionado estará basado en un detallado estudio de las tecnologías y arquitecturas involucradas, así como también el impacto y beneficios de llevarse a cabo.

Por ello también se realizarán estudios de sistemas implementados en otros países, para obtener información real que permita visualizar el impacto que tendrá la red en nuestro país.

Capítulo 1

Estado del Arte de la TDT y Definición del Problema

1.1 Consideraciones generales de la TDT

La transmisión de imágenes en movimiento y su sonido asociado mediante la Televisión Digital Terrestre (TDT) ha ido evolucionando en los últimos años, cada vez con mejores prestaciones y servicios de alta calidad.

A continuación se detallan conocimientos importantes para el entendimiento de la situación actual de la TDT en nuestro país.

1.1.1. Antecedentes de la TDT en el Perú

La TDT es la aplicación de diversas tecnologías de transmisión y recepción de imagen, sonido y datos que codifican digitalmente la señal de televisión y la convierten en series binarias de números ceros y unos los cuales son transmitidos en determinadas frecuencias del espectro electromagnético, permitiendo de esta manera que las imágenes que se reciban tengan mayor nitidez, que el sonido se de mejor calidad y que, además, puedan ser captadas por dispositivos móviles (celulares) o por televisores en vehículos en movimiento.

La TDT permite que por cada canal de 6 MHz del espectro electromagnético, se pueda transmitir hasta ocho contenidos de televisión de definición estándar, más uno de señal para receptores portátiles como los celulares. De la misma forma, cada canal

puede soportar hasta dos señales de televisión digital de alta definición. Ambas posibilidades permiten un aprovechamiento más eficiente del espectro radioeléctrico.

El sistema digital es también de doble vía o interactiva por su fácil interconexión y hace que el televidente sea algo más que eso, pues podrá interactuar con las emisoras enviando correos electrónicos, respondiendo encuestas en vivo y en directo, etc. [MTC2011]

Selección del estándar

El Estado Peruano mediante la Resolución Suprema N° 019-2009-MTC del 24 de abril del 2009, tomó la decisión de adoptar el estándar japonés-brasileño, Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial (ISDB-T), con base en la propuesta de la Comisión Multisectorial Encargada de Recomendar al Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) el estándar más conveniente.

Esta comisión, en conjunto con una participación activa de los radiodifusores, analizó en profundidad:

- i. Las características técnicas de los estándares.
- ii. La eficiencia en el uso del espectro radioeléctrico.
- iii. La convergencia de servicios.
- iv. La reducción de la brecha digital, el fomento de la sociedad de la información y la ampliación del acceso universal del conocimiento.

También se realizaron las pruebas de campos de todos los estándares en localidades de la costa, sierra y selva, y las encuestas sobre las preferencias de los consumidores respecto a las características más atractivas de la TDT. [MTC2011]

1.1.2. Implementación de TDT a nivel de Sudamérica

A continuación se detallarán casos de algunos gobiernos de la región que han optado por la implementación de la TDT en sus países.

✓ Brasil

Es el país pionero en TDT en la región sudamericana. En Junio del 2006 adoptó, mediante decreto, una versión modificada del estándar japonés ISDB-T, conocida como Sistema Brasileño de Televisión Digital Terrestre (SBTVD-T). La diferencia de esta versión radica en que utiliza compresión MPEG-4 en lugar de MPEG-2. Además,

cambia el sistema de aplicaciones interactivas por uno desarrollado con Fondos de la Unión Europea denominado “GINGA MIDDLEWARE”.

El pasado diciembre la TDT en Brasil completó 3 años de operación y, de acuerdo a su Ministerio de las Comunicaciones, esta nueva tecnología ya está presente en 425 ciudades y cubre un aproximado de 89,5 millones de personas. El apagón analógico en Brasil está programado para junio del 2016.

Para el sector industrial brasileño, los números también se han mostrado positivos. En el periodo de Enero a Setiembre del 2010 fueron vendidos 5,652 millones de televisores LCD, número 136% mayor que en el mismo periodo del 2009, y se generó una facturación de US\$ 3.990 millones de dólares.

Por otro lado, todavía existen algunos obstáculos para una mayor penetración de la TV digital en Brasil en lo que se refiere a precios de conversor, la programación, la poca interactividad e incluso la falta de información. [BRA2010]

✓ Chile

Chile en setiembre del 2009, anunció la adopción de la norma ISDB-Tb con MPEG 4 creado por Japón y adoptado por Brasil. La selección del estándar se dio debido a su mejor recepción dadas las condiciones geográficas el territorio chileno, la posibilidad de recepción en dispositivos móviles, la alta definición y una mayor cantidad de canales.

Actualmente 7 canales chilenos de televisión abierta transmiten en forma experimental con esta norma, cada uno con sus respectivas señales para teléfonos móviles. Estas transmisiones experimentales se están dando únicamente en Santiago y Concepción.

El apagón analógico en Chile está establecido para el año 2017, sin embargo, esta fecha puede prolongarse hasta el 2019.

Actualmente, el pasado 24 de mayo, representantes de los gobiernos de Chile y Brasil firmaron un proyecto de cooperación técnica en el área de TV digital. Este convenio establece que el gobierno brasileño, va a capacitar técnicamente profesionales, académicos, técnicos y estudiantes chilenos en todos los aspectos que envuelven la implementación de la TV Digital en Chile. [CHI2009] [CHI2010]

✓ Argentina

El estado argentino eligió en 1998 el estándar ATSC, sin embargo no hubo transmisiones regulares utilizando el estándar. En el año 2006, la decisión fue revocada mediante la Resolución 4/2006, a través de la cual la Secretaría de Comunicaciones determinó los criterios para una nueva elección de estándar. Luego de realizar las pruebas para determinar la conveniencia de distintos estándares, en agosto del 2009 se publicó la resolución 171/20094 que recomienda la adopción del estándar ISDB-Tb o SBTVD.

El gobierno argentino firmó un convenio con el gobierno de Japón y otro con Brasil, creando un Consejo a nivel gubernamental para hacer el seguimiento adecuado de la puesta en marcha de la norma. Se creó el Sistema Argentino de Televisión Digital Terrestre y se estableció el apagón analógico para el 1 de setiembre del 2019.

A abril del 2011, en la ciudad de Buenos Aires pueden recepcionarse más de 20 canales con señal de TV digital y 16 adicionales se encuentran en licitación. Por otro lado, para el interior del país alrededor de un centenar de canales se encuentran en licitación.

A la par de lo mencionado anteriormente, se está desplegando la distribución de los canales de TDT por medio de satélite (AMC-6) utilizando la norma DVB-S2. Esta distribución de las señales de TDT se está implementando por etapas, empezando por el interior del país (ver figura 1.1). [ARG2009] [LNA2009] [FID2011]



Figura 1.1- Distribución Geográfica de las Estaciones Transmisoras de Televisión Digital en Argentina

Fuente: "Alcance y cobertura ARSAT S.A" [SAT2010]

1.1.3. Implementación de TDT a nivel de la administración peruana

El estado peruano luego de la adopción del estándar ISDB-T en el 2009, empezó a realizar una serie de acciones para llevar a cabo la implementación de la TDT en nuestro país. Entre las acciones realizadas tenemos: la aprobación de las especificaciones técnicas mínimas de los receptores de TDT, la aprobación del Plan Maestro para la implementación de TDT, la aprobación del Plan de Canalización de Televisión UHF de Lima y el inicio de las transmisiones en señal digital del Instituto Nacional de Radio y Televisión (IRTP).

El lanzamiento de la primera señal digital de una televisora privada fue realizado por ATV en marzo del 2010. Actualmente para la localidad de Lima y Callao se han asignado 10 canales digitales de gestión exclusiva, IRTP (CH 16), ATV (CH 18), Frecuencia Latina (CH20), Red Global (CH22), América (CH24), Panamericana (CH26), Alliance (CH28), TNP (32), Enlace (34) y Bethel (CH36). De estos canales, los siguientes se encuentran al aire:



Figura 1.2 – Situación de la TDT en Lima

Fuente: “Implementación de la televisión digital terrestre en el Perú” [ITD2010]

De acuerdo al Plan Maestro, la implementación de la TV digital tiene 3 etapas, las cuales son esquematizadas en la siguiente figura:

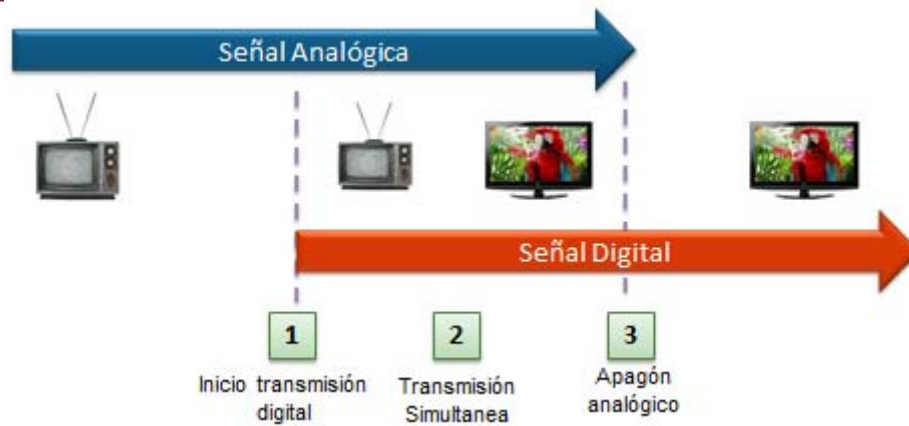


Figura 1.3 – Transición analógico-digital

Fuente: “Implementación de la televisión digital terrestre en el Perú”

[ECR2010]

El Perú se encuentra en la segunda etapa del proceso de implementación: transmisión simultánea, donde las emisoras de contenido utilizan dos canales para el envío de la señal analógica y digital, únicamente en Lima y Callao. El envío de la señal digital se realiza mediante microondas utilizando estaciones digitales que transmiten desde el Cerro Marcavilca (Morro Solar). Sin embargo, se está evaluando la ubicación de retransmisores en las zonas donde no se reciba la señal proveniente del Morro Solar con la finalidad de ampliar la cobertura.

El Plan Maestro también ha establecido plazos máximos para el inicio de transmisiones de señal digital por parte de las empresas emisoras de contenido, tanto para Lima y Callao como para el resto del país. Para el caso de Lima y Callao el plazo máximo vence el segundo trimestre del 2014, y no debería haber mayores inconvenientes para cumplirlo por cómo se viene desarrollando hasta el momento. Por otra parte, para el resto del país, dividido en 3 territorios por el Plan Maestro, los plazos máximos empiezan a expirar desde el tercer trimestre del 2016. Sin embargo, esto puede resultar más complicado debido a la escasa infraestructura para el transporte de servicios de telecomunicaciones en el interior del país, así como también, a la compleja geografía del mismo. [ITD2010] [SAP2010] [MTC2010]

1.2 Legislación de la Televisión Digital Terrestre en el Perú

El gobierno peruano desde que decidió implementar el servicio de Televisión Digital ha elaborado y promulgado una serie de Resoluciones Supremas, con la finalidad de crear el marco legal adecuado para conseguir un desarrollo eficiente y sostenido de la

TDT en el Perú. A continuación se presentan las Resoluciones Supremas promulgadas por el Estado desde antes de la elección del estándar hasta la actualidad, en orden cronológico:

1.2.1. Marco legal de la TDT

A continuación se presentan las Resoluciones Supremas promulgadas por el Estado desde antes de la elección del estándar hasta la actualidad, en orden cronológico:

RESOLUCIÓN SUPREMA Nº 010-2007-MTC, publicada el 21 de febrero de 2007, constituye la Comisión Multisectorial encargada de recomendar al Ministerio de Transportes y Comunicaciones el estándar de televisión digital terrestre a ser adoptado en el Perú.

RESOLUCIÓN SUPREMA Nº 019-2009-MTC, publicada el 24 de abril del 2009, mediante la cual el Gobierno Peruano toma la decisión de adoptar el estándar japonés-brasileño, Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial (ISDB-T), con base en la propuesta de la Comisión Multisectorial Encargada de Recomendar al Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) el estándar más conveniente.

RESOLUCIÓN SUPREMA Nº 082-2009-PCM, publicada el 24 de abril de 2009, crea la Comisión Multisectorial Temporal encargada de formular recomendaciones al MTC para la elaboración del Plan Maestro de Implementación de la Televisión Digital Terrestre.

RESOLUCIÓN MINISTERIAL Nº 317-2009-MTC/03, publicada el 24 de abril de 2009, reserva las bandas 470 -608 y 614 – 746 MHz para el servicio de radiodifusión por Televisión Digital Terrestre (TDT) a nivel nacional y suspende nuevas asignaciones en ellas hasta nuevo aviso.

RESOLUCIÓN MINISTERIAL Nº 645-2009-MTC/03, publicada el 22 de septiembre del 2009, aprueba las especificaciones técnicas mínimas de los receptores de Televisión Digital Terrestre del estándar ISDB-T a ser utilizados en el Perú.

DECRETO SUPREMO Nº 017-2010-MTC, publicado el 29 de marzo del 2010, aprueba el PLAN MAESTRO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TELEVISIÓN

DIGITAL TERRESTRE EN EL PERÚ y modifica el Reglamento de la Ley de Radio y Televisión.

RESOLUCIÓN VICEMINISTERIAL N° 265-2010-MTC/03, publicada el 30 de marzo del 2010, modifica la RVM N° 182-2004-MTC/03 que aprobó el Plan de Canalización y Asignación de Frecuencias del Servicio de Radiodifusión por Televisión en UHF del departamento de Lima.

RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 1053-2010-MTC/28, RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 1094-2010-MTC/28, RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 1195-2010-MTC/28, RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 1194-2010-MTC/28, RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 1459-2010-MTC/28, publicadas entre marzo y abril del 2010, asignan un canal UHF a las diferentes empresas emisoras de contenido para la gestión exclusiva de televisión digital en Lima.

DECRETO SUPREMO N° 025-2010-MTC, publicado el 17 de junio del 2010, reserva tres canales y dispone la realización de concursos públicos para el otorgamiento de autorizaciones para prestar el servicio de radiodifusión por televisión de manera digital.

Todas las Resoluciones y Decretos mencionados anteriormente han sido de suma importancia para el desarrollo de la TDT en el Perú, sin embargo, se hará un análisis del **DECRETO SUPREMO N° 017-2010-MTC**, que aprueba el PLAN MAESTRO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE EN EL PERÚ, ya que es vital para el desarrollo del presente Proyecto de Tesis. [LEY2011]

1.2.2. Plan Maestro

Es el Decreto Supremo N° 017-2010-MTC que aprueba y contiene el texto íntegro del Plan Maestro para la implementación de la Televisión Digital Terrestre en el Perú y, a su vez, contiene algunas modificaciones del Reglamento de la Ley de Radio y Televisión.

El documento está conformado por cinco capítulos, tres subcapítulos, veintitrés artículos y tres disposiciones complementarias.

El Plan Maestro establece lo siguiente:

Dado que la señal de TDT, permite la multiprogramación, es decir, la transmisión simultánea de varias señales por una misma frecuencia, el Plan determina que la primera señal que se emita por cada canal de radiofrecuencia será: abierta, de acceso libre y gratuita.

En cuanto a la calidad de la señal digital de televisión, el Plan señala que, para receptores fijos, la programación será emitida en alta definición (High Definition o HD) hasta cubrir progresivamente el 50% del tiempo total diario, hasta la fecha del apagón analógico. Los que realicen gestión compartida de los canales de radiofrecuencia, están exceptos a esta disposición.

Los canales deberán informar a los televidentes durante la transmisión de su programación, si esta se emite en Alta Definición (HD) o Definición Estándar (SD).

Según el cronograma establecido por el MTC en el Plan, el plazo máximo para el fin de transmisiones de televisión en señal analógica para el denominado Territorio 01, que comprende las localidades de Lima y Callao, será el cuarto trimestre del 2020. Para el Territorio 02, que comprende las localidades de Arequipa, Cusco, Trujillo, Chiclayo, Piura y Huancayo, el plazo máximo es el cuarto trimestre del 2022. Mientras que para el Territorio 03, que abarca las localidades de Ayacucho, Chimbote, Ica, Iquitos, Juliaca, Pucallpa, Puno y Tacna, el plazo máximo es el cuarto trimestre del 2024. Además, se determinó que para las localidades que no están incluidas en ninguno de los Territorios mencionados, el plazo será indefinido.

El cronograma incluye también los plazos máximos para el inicio de transmisiones utilizando tecnología digital por parte de las empresas emisoras de contenido. Para el Territorio 01, el plazo máximo vence el segundo trimestre del 2014, para el Territorio 02 el tercer trimestre del 2016, para el Territorio 03 el cuarto trimestre del 2018 y finalmente para el Territorio 04, el primero trimestre del 2024. [MTC2010]

A continuación se muestra un cuadro con los Territorios y plazos establecidos por el Plan Maestro:

Tabla 1.1 – Inicio de transmisión con tecnología digital

Fuente: Elaboración Propia

Datos obtenidos de: [MTC2010]

Territorios	Localidades	Plazo máximo para la aprobación del Plan de Canalización y Asignación de Frecuencias	Plazo máximo para el inicio de las transmisiones con tecnología digital
Territorio 01	Lima y Callao	III Trimestre de 2010	II Trimestre de 2014
Territorio 02	Arequipa, Cusco, Trujillo, Chiclayo, Piura y Huancayo	I Trimestre de 2011	III Trimestre de 2016
Territorio 03	Ayacucho, Chimbote, Ica, Iquitos, Juliaca, Pucallpa, Puno y Tacna	IV Trimestre de 2011	IV Trimestre de 2018
Territorio 04	Localidades no incluidas en los Territorios 01, 02 y 03	I Trimestre de 2013	I Trimestre de 2024

1.3 Definición del problema y justificación

Los subcapítulos anteriores permiten tener un panorama más claro sobre la situación actual de la TDT en el Perú, a partir de sus antecedentes, de la experiencia del gobierno peruano en cuanto a su implementación y de toda la legislación establecida para conseguir un desarrollo eficiente y sostenido de la TDT. Sin embargo, es también a partir de estos que surge la problemática que busca solucionar el presente Proyecto de Tesis y que se expone a continuación:

De acuerdo al Plan Maestro de Televisión Digital Terrestre (Decreto Supremo N° 017-2010-MTC), los plazos máximos para el inicio de transmisiones con tecnología digital (tabla 1.1) a provincias, en los denominados Territorios 02, 03 y 04, empiezan a expirar desde el tercer trimestre del 2016.

Por este motivo, resulta entonces de suma importancia para los canales de televisión, definir cuanto antes las características de transmisión que utilizarán para llevar la señal de televisión digital a provincias, de tal manera que el sistema les resulte rentable, eficiente, brinde una buena calidad de imagen y se ajuste a la realidad peruana.

Capítulo 2

Estudio de las tecnologías de la TDT y Solución Propuesta

2.1 Estándar ISDB-T

Es un conjunto de tecnologías modernas designada como ISDB-T, por las siglas en inglés de Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial. El estándar fue desarrollado en Japón por el grupo DiBEG (Digital Broadcasting Experts Group), pero está siendo mejorado en Brasil, en donde su uso comercial empezó a finales del 2007.

2.1.1. Características y ventajas

El estándar ISDB-T utiliza una compresión de video y audio en MPEG-2 y se modula de manera segmentada en COFDM. Trabaja con anchos de banda de 6, 7 y 8 MHz y con portadoras OFDM debidamente espaciadas a 4, 2 y 1 KHz. Además, permite trabajar en modo jerárquico como el DVB-T y con Redes de Frecuencia Única (SFN).

La principal diferencia del ISDB-T con respecto a otros estándares es la forma como segmenta el ancho de banda. En el caso peruano, para un canal de 6 MHz, los 5.6 MHz útiles de la banda son divididos en 13 segmentos de 429 KHz cada uno. Estos segmentos pueden ser agrupados hasta formar un máximo de 3 grupos, de los cuales cada uno tiene diferentes parámetros de transmisión, como por ejemplo el tipo de modulación.

El Sistema Jerárquico de Transmisión ilustrado en la figura 2.1, utiliza 12 segmentos de los 13 disponibles para transmitir un programa en Alta Definición (HD) o varios programas en Definición Estándar (SD), más los datos modulados utilizando 64QAM. El segmento sobrante es conocido como One-Seg y es utilizado para la recepción móvil con modulación QPSK.

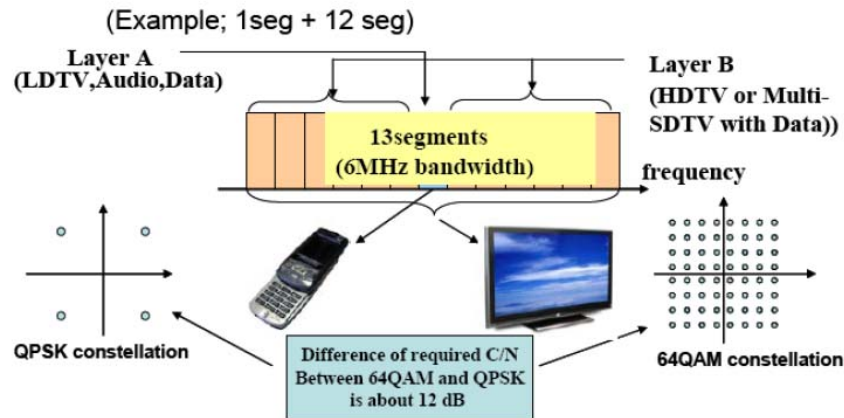


Figura 2.1– Sistema Jerárquico de Transmisión ISDB-T

Fuente: [ROM2009]

Es importante mencionar que el componente brasilero marca diferencia con el sistema original ya que usa como compresor de video estándar el formato MPEG-4 (H.264) que permite presentar una tasa de 30 fotogramas por segundo, hasta en receptores móviles. Como se mencionó anteriormente, el sistema original ISDB-T utiliza MPEG-2 y además presenta una tasa 15 fotogramas por segundo. Por otra parte, para el audio utiliza HE-AAC v2. [ROM2009]

El estándar ISDB-T, como conjunto de tecnologías modernas presenta una serie de ventajas. A continuación se describen las más importantes: [ISD2011]

- Mejor imagen y sonido. Esto genera una mayor oferta de programas ya que cada canal podrá transmitir hasta 8 canales digitales de TV.
- Recepción de televisión, utilizando un solo canal, en dispositivos móviles como teléfonos, celulares y receptores en movimiento.
- Menores niveles de potencia en la transmisión.
- Eficiencia en el manejo del espectro radioeléctrico.
- Nuevos servicios interactivos y multimedia.
- Múltiples contenidos de programación y servicios multimedia.

Por otro lado, para el Perú, la elección del estándar ISDBT-T trae consigo las siguientes ventajas: [ISD2011]

- Masificación acelerada de su aplicación y, por consiguiente, los equipos que la produzcan tengan costos reducidos.
- Alta calidad de sus modalidades de Alta Definición (HD) y Definición Estándar (SD).
- Menores costos de adopción con mayores beneficios netos para la sociedad.
- Posibilidad que los radiodifusores puedan transmitir al mismo tiempo a través de un canal de HD y/o varios SD.
- Fomento de la Sociedad de la Información, lo cual implica aumento de la inclusión económica y social. Reducción de la brecha digital.

2.1.2. Esquema de transmisión ISDB-T

El esquema de transmisión básico del estándar ISDB-T se puede apreciar en la siguiente figura:

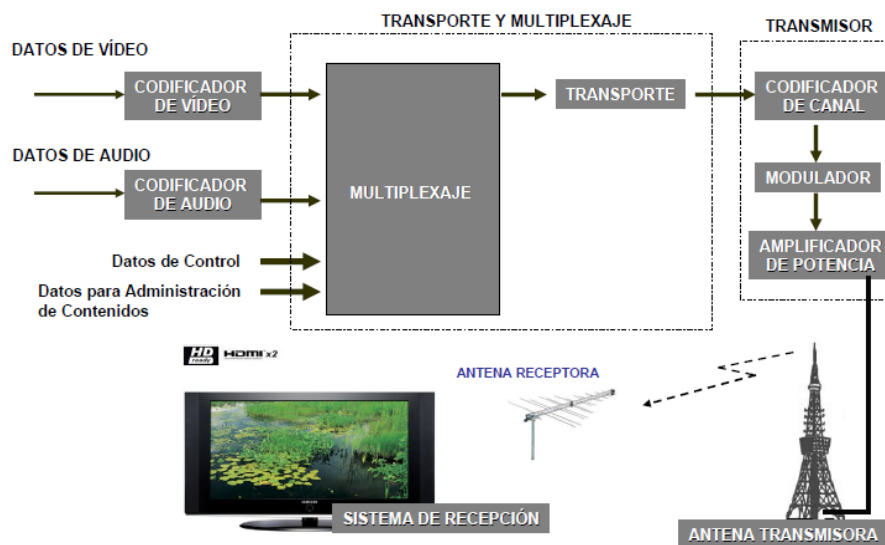


Figura 2.2– Esquema de Transmisión ISDB-T

Fuente: [MM2010]

En primer lugar, se tiene las señales de video y audio, así como también dos señales con datos para el control y administración. De estas, las dos primeras pasan por un proceso de codificación.

La codificación de la señal de video en el estándar brasilero es realizada mediante el estándar MPEG-4, el cual alcanza tasas de compresión entre 30 y 50% mayores a las del MPEG-2. Esto lo consigue con: el uso de macrobloques de tamaño flexible para la división de la imagen, diversos formatos de muestreo, filtros digitales y matrices de cuantización.

Para la codificación de audio utiliza el estándar HE-AAC (Codificación de Audio Avanzado de Alta Eficiencia) que es considerado como un perfil del estándar MPEG-4 y al ser de alta eficiencia se consiguen tasas de bits para audio de gran calidad.

Luego de la etapa de codificación, se pasa a la etapa de multiplexación que se encarga de juntar todas las señales procesadas que se mencionaron al inicio y las informaciones sobre parámetros de modulación. A la salida del multiplexor se obtiene un paquete de datos de tasa fija (32.5Mbps) y es conocido como BTS.

La señal o paquete BTS a la salida del multiplexor pasará ahora a la etapa de transmisión en donde será codificada, modulada, amplificada y enviada al retransmisor.

La codificación del canal utiliza como código externo el Reed-Solomon (204,188), el cual se aplica a bloques de 188 bytes y genera palabras de 204 bytes. Permite realizar el resto de la codificación por separado para cada servicio. Como codificador interno se tiene un convolucional activado con código madre de $\frac{1}{2}$ (Ejemplo: tasa $\frac{2}{3}$ significa que para cada 2 bits de entrada, salen 3 del codificador).

La modulación de las sub-portadoras OFDM se realiza con la QAM (4-QAM, 16-QAM o 64-QAM), Sin embargo, antes de realizarla, los bits provenientes de la codificación de canal son convertidos de serie a paralelo y son entrelazados mediante la agregación de retardos (entre 0 y 120 tiempos de bit) a cada una de las líneas. Esto permite la sincronización con el modulador QAM.

A la salida de la sección de modulación, la señal de Frecuencia Intermedia de 44MHz es convertida para la frecuencia del canal de transmisión (Up Converter) y sometida al amplificador de potencia.

Finalmente, la señal es enviada al retransmisor principal. El transporte de la señal puede ser por microondas, fibra óptica o satélite. [TVD2011] [MUX2009]

2.2 Digital Video Broadcasting - 2nd Generation Satellite (DVB-S2)

El estándar DVB-S2 es una evolución del estándar DVB-S, que ha sido ratificada en el 2005 por ETSI. Su principal característica es brindar una capacidad muy cercana a la fijada en el límite de Shannon mediante el uso de técnicas de modulación y corrección de errores de última generación.

A continuación se explicará con más detalle el estándar DVB-S2, desde sus antecedentes, características y ventajas, hasta la cadena de transmisión.

2.2.1. Antecedentes: el estándar DVB-S

Los primeros servicios de TV Digital Satelital fueron brindados en Tailandia y Sudáfrica a finales de 1994 y ambos usaron el recientemente lanzado sistema DVB-S. Este estándar, con el paso del tiempo, se convirtió en el sistema más popular para ofrecer este servicio y cuenta con más de 100 millones de usuarios por todo el mundo.

El estándar DVB-S permite incrementar la capacidad de transmisión de datos y televisión digital a través de un satélite UH11, utilizando el estándar de compresión MPEG2. La estructura del sistema permite mezclar en una misma trama un gran número de servicios de video, audio y datos. La siguiente figura esquematiza la cadena de transmisión utilizando el sistema DVB-S:

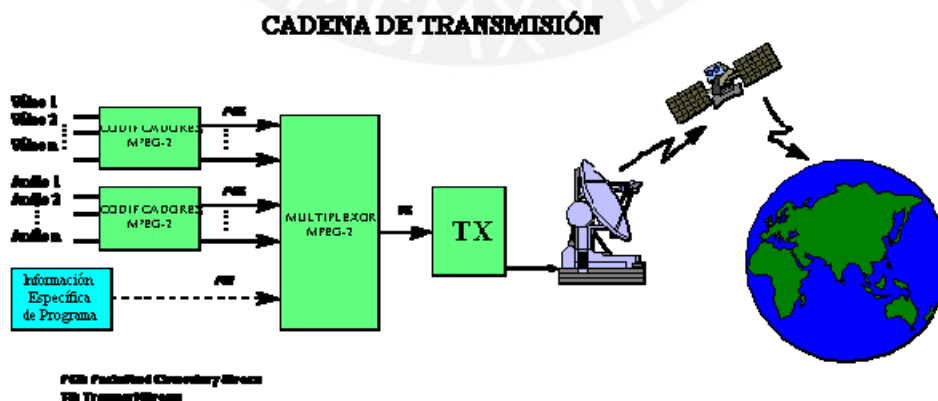


Figura 2.3 – Cadena de Transmisión DVB-S
Fuente: “UPV-Comunicaciones Espaciales” [DVB1999]

Para la transmisión vía satélite se utiliza la codificación QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), con un flujo binario variable de 18,4 a 48,4 Mbits/s. Trabaja en la PSI (Información Específica de Programa) de la trama MPEG, con tablas de sistemas independientes que engloban lo que se conoce como información de alimentación o servicio.

El sistema DVB-S viene siendo usado más de 10 años, por lo cual era de esperarse que la industria eventualmente decidiera una actualización: el estándar DVB-S2. [DVB1999]

2.2.2. Características y ventajas

El estándar DVB-S2 es una evolución del estándar DVB-S que incluye una fuerte corrección contra errores basada en el empleo de dos codificaciones en modo cascada: “Low Density Parity Check” y “BCH”, así como también técnicas de modulación avanzadas. Estas cualidades le permiten obtener capacidades muy cercanas al límite de Shannon.

Al ser beneficiado con los últimos avances en codificación de canal y modulación, puede mejorar las capacidades de transmisión de su predecesor, el sistema DVB-S, en un 30%. Además, aumenta la flexibilidad y permite diversos servicios con diferentes velocidades binarias. Para conseguir esto utiliza: modulación QPSK, 8PSK, 16APSK y 32APSK; diferentes factores de roll-off como 0.2, 0.25 y 0.35; y también, una adaptación flexible del flujo de entrada.

Cabe mencionar que otra característica técnica importante es que permite la compatibilidad con sistemas DVB-S.

A continuación se presenta una tabla que muestra las ventajas del sistema DVB-S2 en comparación con su antecesor para las dos principales potencias de satélite (EIRP):

Tabla 2.1 – DVB-S vs. DVB-S2

Fuente: Elaboración Propia

Datos obtenidos de: [DVB2010]

EIRP del satélite (dBW)	51		53,7	
Sistema	DVB-S	DVB-S2	DVB-S	DVB-S2
Modulación y Codificación	QPSK 2/3	QPSK 3/4	QPSK 7/8	8PSK 2/3
Velocidad por símbolo (Mbaud)	27,5 (a=0,35)	30,9 (a=0,0)	27,5 (a=0,35)	29,7 (a=0,25)
C/N (27,5 MHz) (dB)	5,1	5,1	7,8	7,8
Bitrate útil (Mbit/s)	33,8	46 (G=36 %)	44,4	58,8 (G=32 %)
Nº de programas SDTV	7 MPEG-2, 15 AVC	10 MPEG-2, 21 AVC	10 MPEG-2, 20 AVC	13 MPEG-2, 27 AVC
Nº de programas HDTV	1-2 MPEG-2, 3-4 AVC	2 MPEG-2, 5 AVC	2 MPEG-2, 5 AVC	3 MPEG-2, 6 AVC

La principal ventaja del estándar DVB-S2 es que hace posible brindar servicios nunca antes ofrecidos. Entre los principales tenemos: [DVB2010]

- a) Servicios de difusión (BS): distribución de SDTV (Standard-Definition Television) y HDTV (High-Definition Television).
- b) Servicios interactivos (IS): servicios de datos interactivos que, por supuesto, incluyen el acceso a Internet. DVB-S2 ha sido diseñado para proveer interactividad a los usuarios.
- c) Contribución de TV Digital (DTVC) y seguimiento de noticias digitales por satélite (DSNG): aplicaciones punto-a-punto, o punto-a-multipunto, que conectan unidades uplink fijas o móviles a estaciones de recepción.
- d) Distribución e intercambios de datos para aplicaciones profesionales: servicios punto-a-punto, o punto-a-multipunto.

2.2.3. Despliegue comercial

El sistema DVB-S2, tras ser publicado en el 2005 como un estándar ETSI fue rápidamente adoptado por la industria para ofrecer nuevos servicios. En Europa y EE.UU se concentra la mayor cantidad de empresas difusoras de televisión que emplean el estándar DVB-S2, en conjunto con una codificación avanzada de video como el MPEG4 (ver figura 2.4), para brindar servicios de HDTV. Sin embargo, también ha sido implementado por operadores en otros países de América, Asia, Medio Oriente y África.

Existen dos factores importantes que asegurarán que el despliegue de sistemas DVB-S2 aumente rápidamente en los próximos años.



Figura 2.4 – Equipos para MPEG-4 Y DVB-S2 - Argentina

Fuente: “Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios” [SAT2010]

El primer factor es que en Agosto del 2006 el grupo de estudio sobre distribución por satélite de la ITU publicó una recomendación en la cual el estándar DVB-S2 es considerado como la opción preferida para un “Sistema Digital de Radiodifusión por Satélite con Configuración Flexible (Televisión, Sonido y Datos)” (Recomendación ITU BO.1784)

El segundo factor también ocurrió en el 2006 y fue un anuncio de los titulares del estándar DVB-S2 que indicaba que los costos de licencias para los fabricantes de equipos DVB-S2 no excederán de \$1.00 por cada dispositivo de consumo, o \$0.50 por cantidades superiores al medio millón. La certidumbre que otorga este anuncio espera la rápida adopción del DVB-S2 por parte de las industrias de difusión global por satélite y telecomunicaciones. [DVB2010]

2.3 Señal Broadcast Transport Stream (BTS)

En el estándar ISDB-T, todos los programas deben ser multiplexados y re-multiplexados en una Transport Stream (TS) simple con un tamaño de 204 bytes y una tasa constante de 32.5079 Mbps. Debido a esta característica, la señal TS a la salida del re-multiplexor es denominada Broadcast TS (BTS).

La BTS es la señal que encapsula las señales provenientes de los codificadores de audio y video (HD, SD, One Seg) en un paquete de datos de tasa fija, con paquetes de un tamaño de 204 bytes, de los cuales 188 bytes son de información útil y los 16 bytes restantes son para configurar el modulador y la paridad.

En este paquete, las señales referentes a las transmisiones full-seg y one-seg son cargadas juntas y señalizadas de forma que el modulador consiga separar las diferentes capas (layers) y modularlas de acuerdo a lo especificado por los parámetros de transmisión.

A continuación, se presenta el esquema de un paquete BTS y de la trama multiplexada de la señal BTS: [TVD2011] [MUX2009]

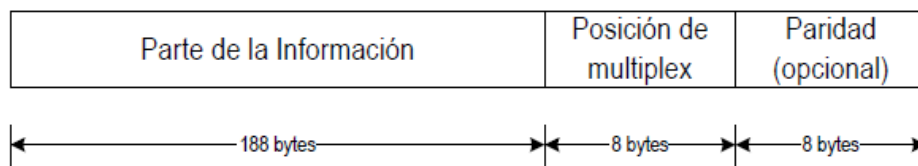


Figura 2.5 – Paquete de datos BTS
Fuente: “Señal de TV Digital” [TVD2011]

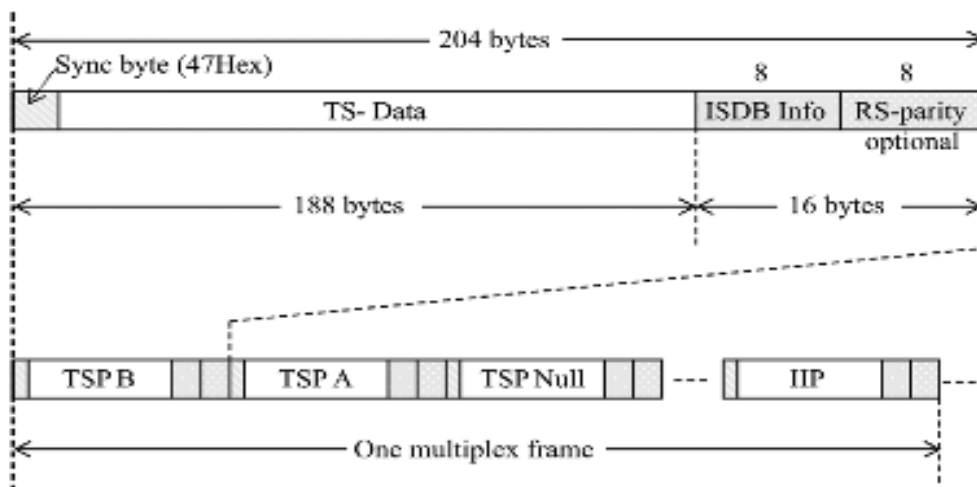


Figura 2.6 – Trama Multiplexada de BTS

Fuente: “Re-Multiplexing ISDB-T BTS Into DVB TS for SFN” [MUX2009]

2.3.1. Análisis de la trama BTS

El proceso de re-multiplexado comprime la posición del Transport Stream Packet (TSP) de cada capa y los TSP nulos. Estos son acomodados de manera ordenada y sincronizada mediante el demodulador del receptor. Los TSP nulos son insertados para mantener constante la tasa de bits de la BTS, independientemente de los

parámetros de modulación y codificación de canal. El orden de los paquetes es necesario para garantizar la transmisión jerárquica en una TS simple así como también para minimizar el procesamiento del receptor.

La señal BTS es estructurada en una trama multiplexada (Fig. 2.6), en la cual el número de TSP y longitud del TSP en la trama dependen de la proporción del Modo e Intervalos de Guarda

La información adicional en el TSP es conocida como “dummy byte”, por ejemplo, los 16 bytes al final de cada TSP. Es usado para indicar la información de la capa, los contadores de TSP, cabecera de la trama, datos auxiliares, etc. Opcionalmente, se utiliza un codificador Reed Solomon (RS) que tiene una capacidad de corrección de hasta 4 bytes en el TSP. El orden de transmisión de los segmentos OFDM en la etapa de modulación debe estar completamente sincronizado con la trama multiplexada de la BTS a la salida del re-multiplexor. Sin embargo, problemas en la formación de la trama múltiple BTS y el reloj pueden generar errores en la señal transmitida.

Además, el Control de la Transmisión de Configuración de Multiplexación (TMCC) es enviado en un paquete llamado Información de Paquetes de ISDB-T (IIP). El IIP es transmitido una sola vez en la trama multiplexada de la señal BTS. Lo mencionado anteriormente se puede apreciar en la siguiente figura:

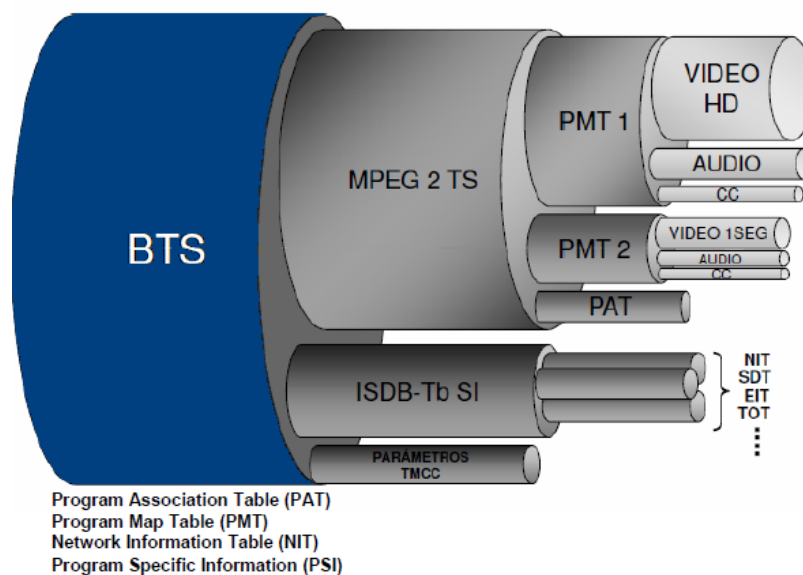


Figura 2.7 – Encapsulamiento BTS

Fuente: “Fase de implementación definitiva – TV pública” [FID2011]

El PII tiene dos descriptores que son denominados Información de Control de la Configuración de la Modulación (MCCI) e Información de Sincronización de la Red (NSI). El MCCI configura los parámetros de modulación y codificación de canal como el tamaño de la IFFT, proporción de los intervalos de guarda, esquema de modulación, tasa de codificación, número de segmentos, etc. Por otra parte, el NSI es utilizado para la sincronización con la Red de Frecuencia Unica (SFN) y dentro de él se insertan: el Sello de Sincronización de Tiempo, retardo máximo, información de control de equipos, identificadores de equipos, etc. [MUX2009] [TVD2011]

2.4 La solución propuesta

Los subcapítulos anteriores han presentado, con detalle, las tecnologías que se encuentran directamente relacionadas con el presente Proyecto de Tesis y que son de suma importancia para el entendimiento de la solución que se pretende dar al problema y que se expone a continuación:

Para empezar, según lo explicado sobre el estándar ISDB-T, se sabe que la señal que contiene la programación de TDT, a la salida de la etapa de transmisión, puede ser enviada por microondas, fibra óptica o vía satélite. Sin embargo, el Perú tiene una infraestructura para el transporte de los servicios de telecomunicaciones muy limitada, donde el tendido de fibra óptica se encuentra casi en su totalidad en la costa y las comunicaciones por microondas se dificultan debido a la complicada geografía peruana.

De acuerdo a esto, para la transmisión de la TDT en la región de Lima y Callao, se podría utilizar cualquiera de las 3 alternativas mencionadas. Sin embargo, dadas las limitaciones de infraestructura para el transporte de servicios de telecomunicaciones en el resto del país, se decide que la mejor opción para el envío de la señal de TDT al interior del Perú sea la transmisión vía satélite.

El modelo de transmisión propuesto, se encuentra esquematizado en la siguiente figura:

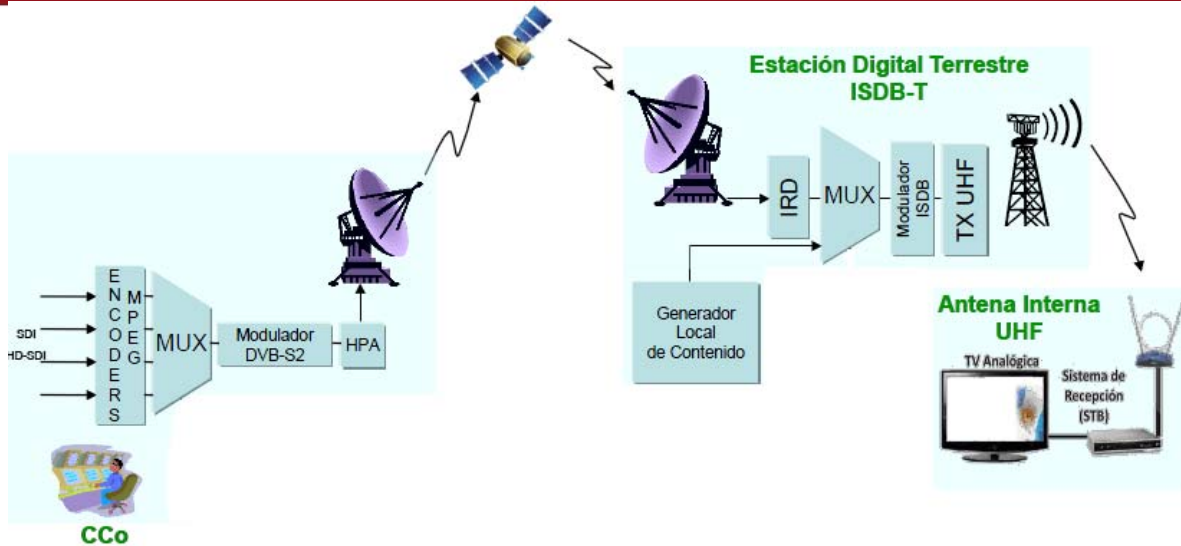


Figura 2.8 – Cadena de Transmisión DVB-S2

Fuente: “Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios” [SAT2010]

La solución comprende un minucioso análisis de la porción que va desde la salida del multiplexor de transmisión hasta la entrada del multiplexor de recepción, utilizando satélite. Como se puede apreciar, el sistema utiliza el estándar DVB-S2 por sus características y ventajas explicadas anteriormente (subcapítulo 2.2), además de permitir nuevos servicios con una excelente calidad.

A la salida del primer multiplexor se tiene la señal de estudio, conocida como BTS, que encapsula las señales provenientes de los codificadores de audio y video (HD, SD, One Seg) en un paquete de datos de tasa fija de 32Mbps. A continuación, este paquete será modulado utilizando el estándar para transmisión digital vía satélite, DVB-S2, para luego ser amplificado (HPA) y finalmente ser enviado al satélite.

En la etapa de recepción, la señal que llega a la antena será llevada al Receptor y Decodificador del tipo Integrado (IRD) donde se sincronizarán los canales de la señal, se llevará a cabo la demodulación y se decodificará el audio y video. Luego la señal resultante será demultiplexada.

Con la finalidad de que la solución resulte viable para las empresas emisoras de contenido, se buscará la forma de reducir la tasa de la señal BTS antes de la etapa de modulación DVB-S2, ya que esta requiere un ancho de banda excesivo en el transpondedor y debido a ello la distribución a través de satélite no sería viable desde el punto de vista económico.

Capítulo 3

Remultiplexado de la Señal ISDB-T BTS

3.1 Método Brasileño de Remultiplexado de la Señal BTS

El método de remultiplexado de la señal BTS elegido es el implementado en Brasil, debido a las reducidas tasas de bits que logra obtener, su fácil implementación y ser completamente transparente y libre de errores.

Es un algoritmo basado en lenguaje C++ que, en la etapa de transmisión, encapsula la señal BTS a la salida del multiplexor (ver subcapítulo 2.3) en un MPEG-Transport Stream (MPEG-TS) de 188 bytes sin TSP nulos mediante un TS-Adapter. Este TS se conecta a un adaptador de red que puede ser un enlace por microondas, fibra óptica o satélite. En la recepción, la señal a la salida del adaptador de red se conecta a un BTS Adapter que reconstruye la trama BTS multiplexada con los TSPs nulos y los bytes innecesarios (dummy bytes).

A continuación se explicarán a detalle los procesos del TS-Adapter y BTS-Adapter, así como también los resultados obtenidos bajo diferentes configuraciones.

3.1.1. TS-Adapter

La noción básica para realizar la encapsulación de la señal BTS, en un MPEG-TS de 188 bytes que sea compatible con el sistema DVB, es la eliminación de información innecesaria (dummy bytes) en cada TSP y de los TSPs nulos en la trama multiplexada.

A continuación se muestra el diagrama de bloques del TS-Adapter:

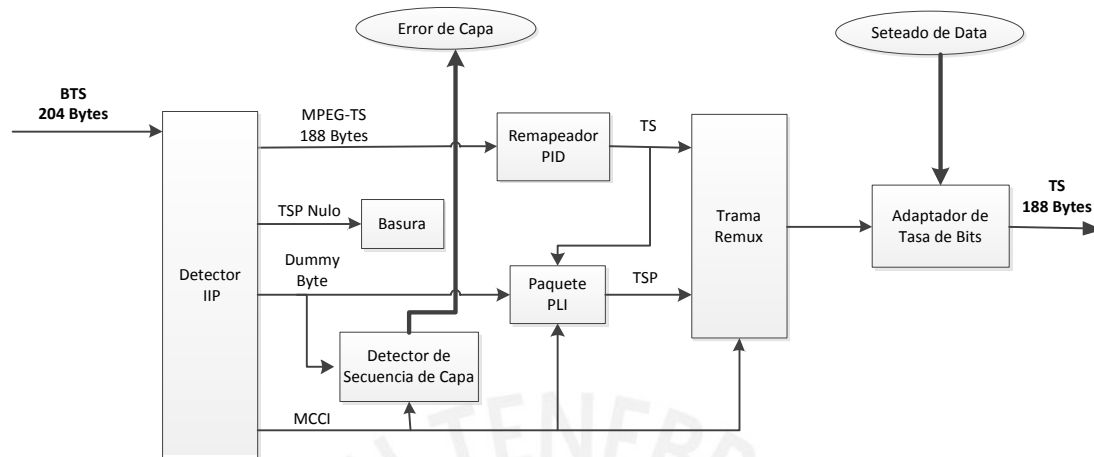


Figura 3.1– Diagrama de bloques del TS-Adapter
Fuente: “Re-Multiplexing ISDB-T BTS Into DVB TS for SFN” [MUX2009]

El bloque Detector IIP detecta el paquete IIP y decodifica la señal BTS. Los TSPs nulos de la trama multiplexada son eliminados y el MCCI se encarga de configurar los bloques: Detector de Secuencia de Capas, Paquete PLI (Program ID Layer Information) y Trama Remux. Con la información del MCCI, el Detector de Secuencia de Capas, genera la secuencia de capas para verificar la integridad de la señal BTS original y, en caso se detecte algún problema, se señallizará un mensaje de error y se generarán paquetes nulos hasta que la señal se normalice. Los dummy bytes de cada TSP son utilizados para elaborar una Tabla PLI.

El TS de 188 bytes se conecta al bloque Remapeador de PID (Program ID Remapper) que garantiza la recuperación de la tasa fija original en todos los BTS Adapters en la red. Como el MPEG-TS a la salida del TS-Adapter no tiene los dummy bytes, la Tabla PLI es utilizada para asociar cada PID de la BTS con su respectiva capa. El bloque Paquete PLI es configurado con información del MCCI, que actualiza la Tabla PLI con la información de los dummy bytes y el TS.

El bloque Trama Remux, remultiplexa el TS de 188 bytes del Remapeador PID y Paquete PLI.

El tamaño de la trama multiplexada BTS depende del Modo e Intervalo de Guarda (GI), debido a esto una sola Tabla PLI es insertada en el Modo 1, dos Tablas PLI en el

Modo 2 y cuatro Tablas PLI en el modo 3. Esto quiere decir, por ejemplo, que en el Modo 1 el Paquete PLI será insertado cada 1280, 1152, 1088 ó 1056 paquetes para los Intervalos de Guarda de 1/4, 1/8, 1/16 y 1/32 respectivamente (**ver tablas 3.1 y 3.2**).

Tabla 3.1 – Número de TSP incluido en una trama multiplexada

Fuente: Elaboración Propia

Datos obtenidos de: [MUX2009]

Modo	Intervalo de Guarda (GI)			
	1/4	1/8	1/16	1/32
1 (2k)	1280	1152	1088	1056
2 (4k)	2560	2304	2176	2112
3 (8k)	5120	4608	4352	4224

Tabla 3.2 – Longitud de la trama por Modo

Fuente: Elaboración Propia

Datos obtenidos de: [MUX2009]

Modo	Intervalo de Guarda (GI)			
	1/4	1/8	1/16	1/32
1 (2k)	64.26 ms	57.834 ms	54.621 ms	53.015 ms
2 (4k)	128.52 ms	116.668 ms	109.242 ms	106.029 ms
3 (8k)	257.04 ms	231.336 ms	218.484 ms	212.058 ms

Usando la siguiente fórmula, se puede calcular la tasa de bits generada por los paquetes IIP y PLI:

$$Overhead_{bits} = \frac{(N_{TSP} \times 188 \times 8)}{FL}$$

Donde,

- NTSP es 2 (1 IIP + 1 PLI) para el Modo 1; 3 (1 IIP + 2 PLI) para el Modo 2; y 5 (1 IIP + 4 PLI) para el Modo 3.
- FL es el tamaño de la trama multiplexada que depende de los valores del Modo y GI.

[MUX2009]

3.1.2. BTS-Adapter

La principal función del BTS Adapter es la reconstrucción de la señal multiplexada BTS, empezando por una decodificación de las tablas IIP y PLI.

A continuación se muestra el diagrama de bloques del BTS-Adapter:

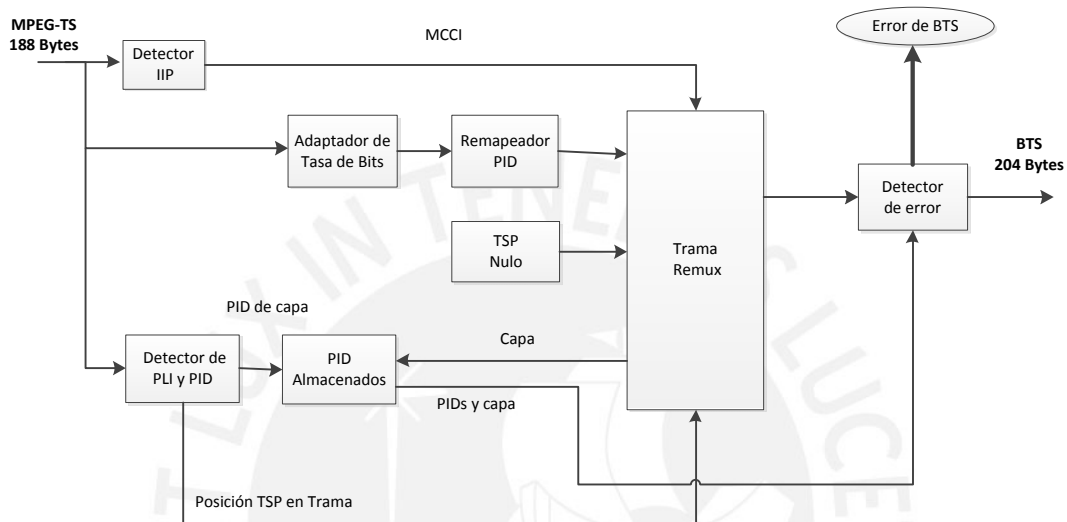


Figura 3.2– Diagrama de bloques del BTS-Adapter
Fuente: “Re-Multiplexing ISDB-T BTS Into DVB TS for SFN” [MUX2009]

El bloque Detector IIP detecta los paquetes IIP y decodifica la señal BTS resultante en la señal MCCI, que es necesaria para generar la secuencia de capas para el bloque de Trama Remux. El bloque Detector de PLI y PID decodifica la Tabla PLI y el bloque PID Almacenados, guarda todos los PID utilizados en cada trama. El bloque de Adaptación de Adaptación de Tasa de Bits realiza la adaptación de la tasa del TS, recuperando información importante y eliminando TSPs nulos y paquetes PLI.

El bloque de Trama Remux realiza la reconstrucción de la trama multiplexada BTS y es configurado con el MCCI que determina todos los parámetros de modulación y codificación de canal.

La señal TS a la salida del bloque Remapeador de PID es remultiplexada con los TSPs nulos en un orden específico y con sus respectivos dummy bytes. Los TSPs nulos son agregados para mantener la tasa fija del BTS. Los dummy bytes son usados para determinar a qué capa debe ser transmitido cada TSP.

El bloque de detección de error verifica que todos los PIDs sean atribuidos a sus respectivas capas y que no haya ningún tipo de fallas en la BTS. En caso de error, este bloque empieza a generar TSPs nulos hasta que la señal sea normalizada. [MUX2009]

3.1.3. Resultados obtenidos con el Método

El método brasileño de remultiplexaje ha sido exitosamente probado en Brasil y esto le permitió ser certificado y publicado por la IEEE.

La figura a continuación muestra el diagrama de bloques de los equipos utilizados en las pruebas que se realizaron en Brasil para comprobar el correcto funcionamiento del TS/BTS Adapter.

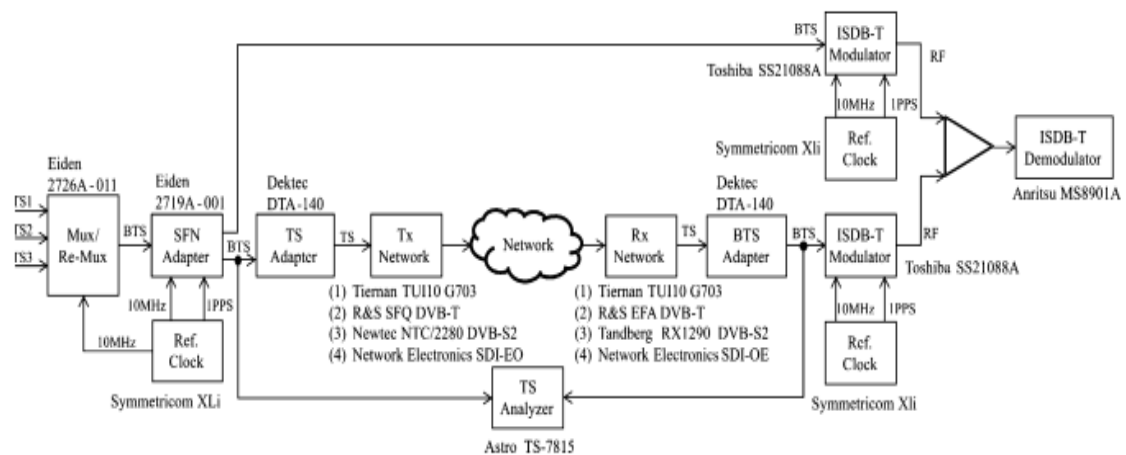


Figura 3.3– Diagrama de bloques del escenario de prueba

Fuente: “Re-Multiplexing ISDB-T BTS Into DVB TS for SFN” [MUX2009]

Para el presente trabajo, lo más importante del escenario de pruebas anterior es lo que comprime la nube Network, que representa diferentes tipos de redes de transporte para la distribución de la señal de TDT, siendo uno de estos, un enlace satelital utilizando el estándar DVB-S2. También se probaron redes de transporte sobre voz y datos, enlaces de fibra óptica y microondas terrestres.

Por otro lado, es necesario mencionar que el escenario de pruebas que se implementó fue para una Red de Frecuencia Única (SFN), sin embargo, el método también puede utilizarse en una Red de Frecuencia Múltiple. En la red SFN todos los transmisores de

la red están sincronizados en tiempo y frecuencia para transmitir la misma señal (símbolo OFDM) en toda la red. Por este motivo, se incluyó un Adaptador SFN a la salida del Multiplexor, el cual se conecta a una Reloj de Referencia y, a través de este, se sincroniza la señal OFDM agregando retardos en todas las estaciones transmisoras.

El algoritmo propuesto para el TS-Adapter se implementó, en la etapa de transmisión, en una computadora de alta capacidad instalada con una tarjeta DTA-140, que permite entradas y salidas ASI (Asynchronous Serial Interface) para poder llevar a cabo el proceso de adaptación de la señal BTS.

La señal a la salida de la red de recepción fue conectada al BTS-Adapter, el cual se implementó de igual manera que el TS-Adapter. La señal BTS resultante del proceso de adaptación fue analizada utilizando un dispositivo denominado TS-Analyzer, mediante el cual se verificó que todos los parámetros del TMCC, el Jitter, la Tasa de bits y parámetros del SI (System Information) mantuvieron la misma integridad que la señal original, sin presentar algún tipo de error. También se realizó una comparación entre la señal BTS a la salida del SFN Adapter y la señal a la salida del BTS-Adapter mediante un Analizador/Demodulador Anritsu MS8901A. Ambas señales fueron previamente moduladas en ISDB-T y los resultados verificaron que no hubo Interferencia Intersimbólica (ISI) ni errores de bits (BER) en todas las configuraciones probadas.

Las pruebas fueron llevadas a cabo utilizando nueve configuraciones recomendadas por ISDB-T [ARI2006] que se detallan en la tabla a continuación:

Tabla 3.3 – Configuraciones probadas

Fuente: “Re-Multiplexing ISDB-T BTS Into DVB TS for SFN” [MUX2009]

ISDB-T								
Opc.	Modo	GI	Seg.	Modulación	Interleave	Code Rate	Tasa del Segmento Mb/s	Tasa Total Mb/s
1	2 (4k)	1/4	LA:13	64-QAM	4	3/4	16.430	16.430
2	2 (4k)	1/8	LA:1	QPSK	8	2/3	0.416	11.650
			LB:12	16-QAM	4	3/4	11.234	
3	2 (4k)	1/4	LA:1	QPSK	8	2/3	0.374	13.996
			LB:3	16-QAM	8	2/3	2.247	
			LC:9	64-QAM	4	3/4	11.375	
4	3 (8k)	1/8	LA:1	QPSK	4	2/3	0.416	10.402
			LB:12	16-QAM	2	2/3	9.986	
5	3 (8k)	1/8	LA:1	QPSK	4	2/3	0.416	17.267
			LB:12	64-QAM	2	3/4	16.851	
6	3 (8k)	1/8	LA:1	QPSK	4	2/3	0.416	15.552
			LB:3	16-QAM	4	2/3	2.497	
			LC:9	64-QAM	2	3/4	12.639	
7	3 (8k)	1/16	LA:1	QPSK	4	2/3	0.441	11.015
			LB:12	16-QAM	2	2/3	10.574	
8	3 (8k)	1/16	LA:1	QPSK	4	2/3	0.441	18.284
			LB:12	64-QAM	2	3/4	17.843	
9	3 (8k)	1/16	LA:1	QPSK	4	2/3	0.441	16.466
			LB:3	16-QAM	4	2/3	2.643	
			LC:9	64-QAM	2	3/4	13.382	

De la tabla se puede apreciar la gran reducción de la tasa de bits de la señal BTS al pasar por el TS-Adapter y eliminar los TSPs nulos y dummy bytes. Se logra conseguir una reducción de hasta el 70% de la tasa fija de 32.5 Mbps.

Cabe mencionar que una de las diferencias más importantes entre las opciones de configuración son los grupos de segmentos, los cuales determinarán los servicios a ofrecer y los parámetros de transmisión. Por ejemplo, en la opción 8, la capa o grupo A (LA) tiene un solo segmento asignado, lo cual indica que será para ofrecer servicios de recepción portátil (One-Seg) También está la capa B (LB) que tiene doce segmentos, los cuales se utilizarán para la recepción fija. Esta recepción fija puede ser de un solo programa en HDTV o si se quiere de dos programas en SDTV.

Se verificó con las pruebas que las tasas de overhead (fórmula explicada anteriormente) producto del proceso de TS-Adapter con la generación de Paquetes PLI y Tablas IIP, son menores a 36 Kbps. A continuación se muestra un gráfico con la distribución de las tasas de bit obtenidas luego del proceso de adaptación:

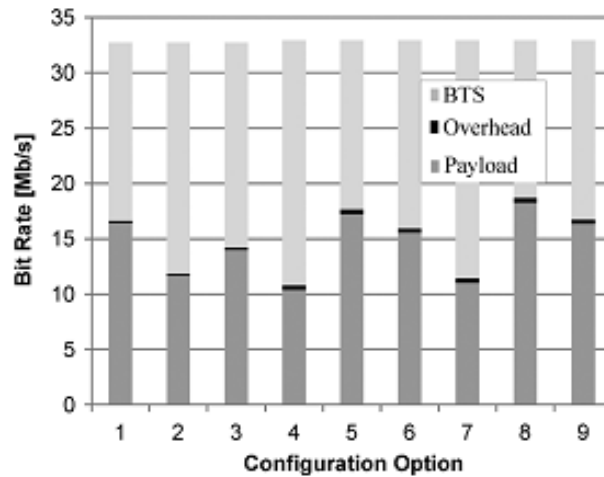


Figura 3.4– Distribución de la tasa de bits usando el método brasileño
Fuente: “Re-Multiplexing ISDB-T BTS Into DVB TS for SFN” [MUX2009]

De esta forma se presentó el método brasileño de remultiplexaje para transmitir y recibir la señal BTS sobre redes DVB. Dado que la señal BTS como tal resulta un método ineficiente para la transmisión, el algoritmo TS/BTS Adapter es propuesto para poder operar equipos DVB de una manera más eficiente y flexible. Además, la gran reducción de la tasa de bits hace que sea factible la distribución de la señal BTS del estándar ISDB-T a través de satélite. [MUX2009]

Capítulo 4

Diseño del Sistema de Transmisión Satelital

En el Perú la arquitectura de infraestructura de Televisión no ha sufrido cambios por mucho tiempo. Sin embargo, desde hace varios años las empresas televisoras ya cuentan con equipamiento totalmente digital como mezcladores, cámaras, etc.

Visto de esta manera, cuando a partir del 2014 empiecen a vencer los plazos máximos para el inicio de transmisiones de TDT con tecnología totalmente digital, la migración no cambiará de manera medular la arquitectura actual; sino que los cambios se darán principalmente en la parte de transmisión y transporte.

Para el presente trabajo, se va a proponer un diseño de sistema de transmisión para el transporte de la señal de TDT a través de satélite hacia el interior del país. La propuesta se basará en las etapas de un sistema de distribución de señal de TV Digital ISDB-T a través de satélite utilizando el estándar DVB-S2 (explicado en el capítulo 2). Estas etapas son: Estación Terrena de Emisión, Estación Terrena de Transmisión y el Enlace Satelital. Cada una de las partes del esquema propuesto será explicada, y también la forma como se comunican entre ellas.

En primer lugar se explicarán las etapas fundamentales de un enlace satelital, así como también los procesos involucrados en cada una:

4.1 Enlace Satelital

El enlace satelital está formado por 3 etapas: dos de ellas se encargan de procesar la señal para la emisión y recepción en las estaciones terrenas, y las denominaremos modelo de enlace de subida (uplink) y bajada (downlink); la otra etapa ocurre en el espacio, donde la señal de subida será enviada de regreso a la tierra con una frecuencia menor a la que fue transmitida. Este proceso se realiza en el transpondedor del satélite.

4.1.1. Modelo de enlace de subida – Uplink

El modelo de enlace de subida está conformado por las siguientes etapas:

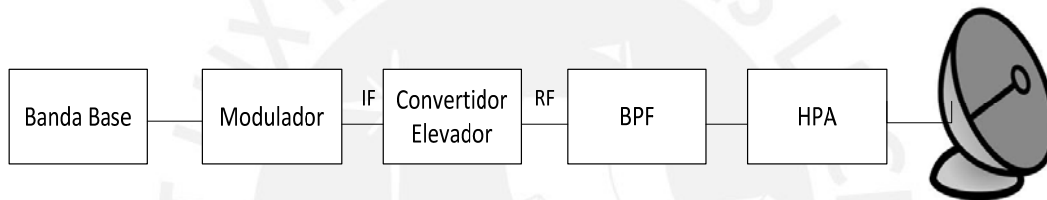


Figura 4.1 – Diagrama de bloques del Uplink

Fuente: Elaboración Propia

- Modulador de la señal en banda base a una frecuencia intermedia (IF), utilizando FM, PSK y QAM, para la transmisión.
- Convertidor ascendente constituido por un mezclador y un filtro pasa bandas que se encarga de convertir la señal de IF a frecuencias dentro del rango de las microondas de transmisión (RF).
- Amplificador de alta potencia para que la señal llegue al satélite.
- Antena parabólica que se encarga de radiar las ondas EM hacia el satélite.

[SPA2004]

4.1.2. El transpondedor

En el satélite, la señal con el contenido pasará por el transpondedor, el cual está constituido por las siguientes etapas:

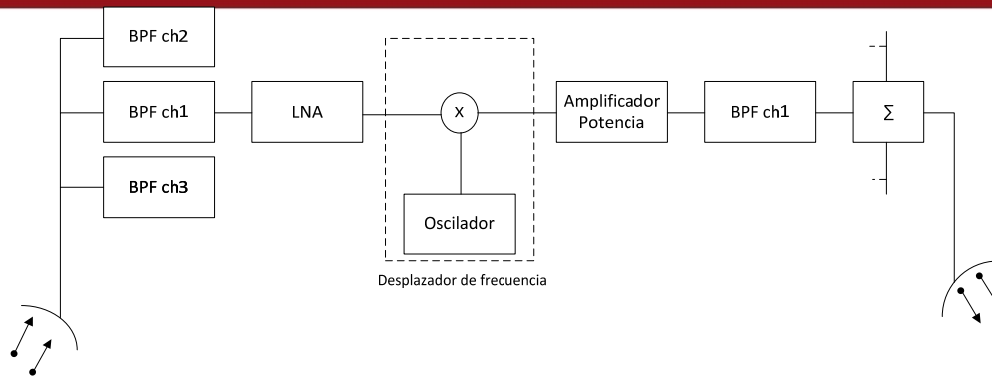


Figura 4.2 –Diagrama de bloques del Transpondedor

Fuente: Elaboración Propia

- Filtro pasa banda (BPF) que se encarga de eliminar el ruido que la señal adquiere durante la trayectoria de subida y también de seleccionar el canal. Cada canal satelital requiere un transpondedor por separado.
 - Amplificador de bajo ruido que recibe la señal de cada canal y, en conjunto con un oscilador, se encarga de convertir la alta frecuencia de la señal de subida a una banda baja de salida.
 - Amplificador de baja potencia que amplifica la señal de RF para el enlace de bajada.
 - Filtro pasa banda correspondiente a cada canal del transpondedor que se encarga de limpiar la señal.
 - Sumador que juntará las señales provenientes de los diferentes canales del transpondedor en una sola señal resultante que será enviada a tierra.
- [SPA2004]

4.1.3. Modelo de enlace de bajada – Downlink

El modelo de enlace de bajada está conformado por las siguientes etapas:

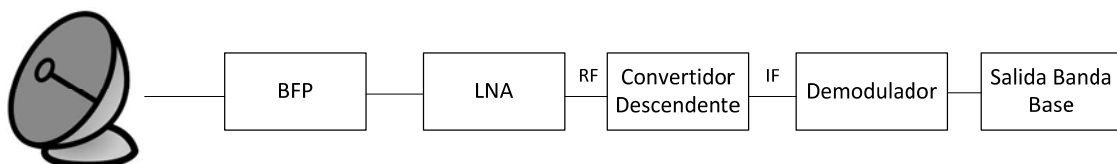


Figura 4.3 – Diagrama de bloques del Downlink

Fuente: Elaboración Propia

- Antena parabólica que recibe la señal RF proveniente del satélite.
- Filtro pasa banda que limita la potencia de la señal de entrada.
- Amplificador de bajo ruido (LNA) que elimina las interferencias de la señal.
- Convertidor descendente de la señal RF a frecuencias dentro de las microondas para el uso de la información, conversión a IF
- Demodulador se encarga de bajar la frecuencia de la señal de información a banda base.

[SPA2004]

4.2 Equipos de la Estación de Cabecera

La estación de cabecera o también denominada “Head-End Station” es donde se genera la señal que va a ser distribuida. En este caso, la estación sería la casa televisora, que cuenta con equipos de estudio, transmisión y broadcasting.

A continuación se detallará, en primer lugar, el equipamiento acorde con el estándar ISDB-T que debe ser necesariamente añadido a la arquitectura de los canales de TV para poder distribuir su señal vía satélite:

4.2.1. Encoder HD/One-Seg Z3 MVE-20

La parte más importante de la digitalización de la señal es la codificación. La codificación MPEG-4/H.264 facilita el transporte de los contenidos a ser transmitidos sin perder calidad y versatilidad.

Por otra parte, la codificación One-Seg es básica para ofrecer servicios de recepción portátil.

El encoder Z3 MVE-20 ha sido diseñado para mejorar la eficiencia del proceso de codificación, facilitar el uplink satelital y permitir monitoreo remoto. Tiene como principales características: soportar dos canales independientes en el mismo equipo, baja latencia, compatibilidad con formatos ISDB-T HD, SD y One-Seg, etc.



Figura 4.4 – Encoder Z3 MVE-20 (dual channel)

Fuente: [ETV2011]

Las entradas de video, provenientes de las cámaras HD, y de audio de la mezcladora digital son combinadas para ser tratadas como una sola a partir de esta etapa de codificación. A la salida entonces tendremos una señal MPEG-4 HD/MPEG-2 AAC (15Mbps) + One-Seg (350Kbps) de alrededor de 15.35 Mbps.

4.2.2. Mux/Remux EITV Payout Professional

La etapa de Mux/Remux es la parte más importante del proceso ya que es aquí donde se genera la señal ISDB-T BTS, que incluye la programación y es la que se enviará a las diferentes estaciones retransmisoras.

El Mux/Remux EITV Payout Professional es un equipo de alta disponibilidad diseñado para operar en sistemas de difusión de TV Digital y es totalmente compatible con el estándar ISDB-T. Ofrece la mejor relación costo-beneficio ya que integra 6 diferentes funciones que normalmente son realizadas por equipos individuales: Servidor SI, Servidor EPG, Servidor de datos (GINGA), Servidor Closed Caption, Multiplexor y Remultiplexor.



Figura 4.5 – Mux/Remux EITV Payout Professional

Fuente: [ETV2011]

En la primera etapa de multiplexado, se reciben las señales, de hasta 8 entradas ASI, provenientes de los encoders y las multiplexa en un Transport Stream (TS) de acuerdo al estándar ABNT NBR 15603. Luego, en la etapa del remultiplexado, se genera la señal Broadcast Transport Stream y se organiza en capas jerárquicas (A,B,C). Aquí también se generan los paquetes IIP y el TMCC que contiene todos los parámetros para la transmisión como: modo, intervalo de guarda, segmentos, modulación, tasa de bits, reloj externo y el entrelazado para la configuración de las capas.

Para la presente propuesta, se considerará la opción de configuración 2 de la Tabla 3.3. Esta opción posee una división jerárquica que se ajusta a los servicios que las empresas televisoras podrán ofrecer en cuanto inicien sus transmisiones con tecnología netamente digital. Estos servicios son:

- Recepción portátil: audio, datos y LDTV (One-Seg) para dispositivos móviles mediante la capa jerárquica A (un segmento).
- Recepción fija: HDTV con datos o Multi-SDTV con datos (distinta programación) para los usuarios en el hogar mediante la capa jerárquica B (12 segmentos).

Para la capa A, las condiciones de recepción, como bajo nivel de la altura de la antena, ganancia baja de la antena y fluctuación del nivel de la señal, son necesarios parámetros de transmisión fuertes y por ello se utiliza QPSK. Asimismo, para la capa B, que se utiliza para la recepción fija, si se considera una ganancia de antena considerables, es deseable una mayor velocidad de transferencia en la transmisión, por ello se utiliza 16QAM.

Por otro lado, la opción 2 utiliza el modo 2 de transmisión (4k portadoras) que es recomendado para transmisiones que cubren áreas geográficas considerables (mediana potencia). Posee un intervalo de guarda (GI) de 1/8 que le brinda mayor protección contra interferencias, como el efecto multicamino, a costa de una reducción de la velocidad de transferencia de datos. También, tiene valores de Time Interleaving y Code Rate adecuados para hacer más eficiente la corrección de bytes en caso de pérdidas.

Una vez establecidos todos los parámetros mencionados anteriormente se genera la señal BTS con una tasa fija de **32.5079 Mbps** y sale a través de una interfaz ASI para continuar con el proceso.

4.2.3. TS-Adapter: PC + Dektec DTA-140

El algoritmo del TS-Adapter (capítulo 3) realizará la adaptación de la señal BTS a la salida del Mux/Remux a una señal MPEG-TS de menor tasa de bits, mediante la eliminación de los TSPs nulos y los dummy bytes.

Dado que el algoritmo del TS-Adapter está basado en un programa en lenguaje C++, este será instalado en una computadora de alta capacidad gráfica y de procesamiento que le permita operar de manera óptima. Esta computadora estará provisionada de una tarjeta Dektec DTA-140 que, mediante interfaces DVB/ASI de alta velocidad (entrada y salida) permitirá recibir la señal BTS y procesarla para generar la señal MPEG-TS.



Figura 4.6 – PC + Tarjeta Dektec DTA 140

Fuente: [DEK2011]

Una vez realizado el proceso de adaptación de la señal BTS con la configuración elegida anteriormente (opción 2) se obtiene un MPEG-TS de 11.650 Mbps de carga útil total (Total Payload). Esta tasa final obtenida, incluye una pequeña tasa de sobrecarga (overhead), de hasta 36 Kbps, producto de la generación de las tablas PLI e IIP.

Ahora, se detallarán los equipos que deben ser añadidos a la arquitectura de las estaciones terrenas de emisión, o en este caso de las casas televisoras, para poder realizar el enlace de subida (uplink) hacia el satélite:

4.2.4. Modulador DVB-S2 Comtech EFData DM240XR

El modulador DVB-S2 es el elemento más importante del enlace de subida satelital y se encargará de procesar la señal MPEG-TS de 11.650 Mbps haciéndola pasar por una serie de subsistemas o etapas que le permitirán obtener a la salida una señal, IF o en Banda-L, robusta y altamente eficiente en el uso de espectro.

Los subsistemas del modulador DVB-S2 son los siguientes:

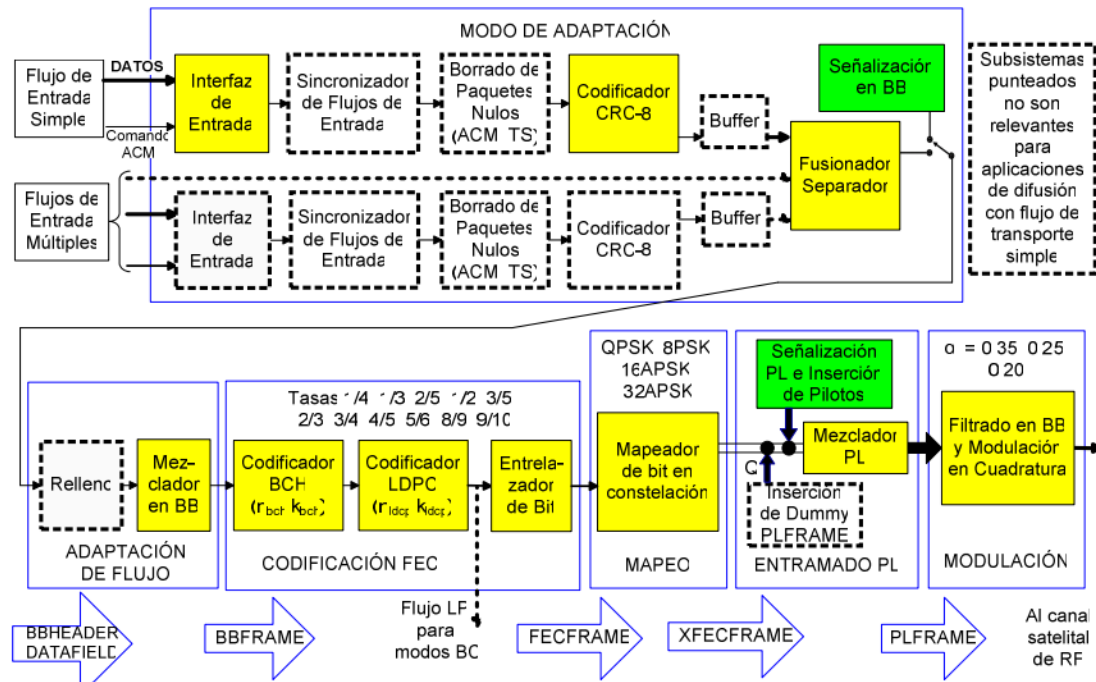


Figura 4.7 – Diagrama de bloques funcional del sistema DVB-S2

Fuente: Elaboración Propia

Datos obtenidos de: [ETS2009]

- **Módulo de adaptación:** depende del tipo de aplicación y se encarga de sincronizar los flujos de entrada para garantizar una tasa de bits y retardos constantes, borrado de paquetes nulos MPEG, codificación CRC-8 para detección de errores de paquetes en el receptor, particionamiento de los flujos en DATA FIELDS e inserción de señalización en banda base (BBHEADER) para notificar al receptor del modo de adaptación elegido. [ETS2009]
- **Adaptación de flujo:** realiza un relleno para completar un BBFRAME de longitud constante (K_{bch} bits) para luego realizar un mezclado (scrambling) de la BBFRAME con la finalidad de protegerla de ráfagas de errores y facilitar la

tarea de corrección en la recepción. Para servicios de radiodifusión, como el presente trabajo, no se aplica ningún relleno. [ETS2009]

- **Codificación de Corrección de Errores en Recepción (FEC):** se efectúa mediante la concatenación de códigos externos BCH y códigos internos LDPC (tasas de 1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10). Luego se aplica un Entrelazado de Bit a los bits codificados con FEC para modulaciones 8PSK, 16APSK y 32APSK. Dependiendo del área de aplicación, el bloque FEC codificado resultantes tiene una longitud de 64800 bits o 16200 bits (η_{ldpc} bits). Para radiodifusión se utiliza 64800 bits. [ETS2009]

Cada BBFRAME (Kbch bits) es procesada por el subsistema de Codificación FEC, para generar una FECFRAME (η_{ldpc} bits).

- **Mapeo de bits:** realiza un mapeo de los bits en las respectivas constelaciones de la modulación digital. Para lograr esto, cada FECFRAME se convierte de serie a paralelo. [ETS2009]

Cada secuencia paralela se mapea en la constelación, generando una secuencia (I,Q), cuya longitud depende de la eficiencia de modulación η_{mod} seleccionada. Se procesa una FECFRAME, para generar una XFECFRAME (FECFRAME complejo). [ETS2009]

- **Entramado de la capa física:** genera una trama de capa física, llamada PLFRAME mediante la generación una trama Dummy PLFRAME cuando la XFECFRAME no está lista para ser procesada y transmitida, particionamiento de la XFECFRAME en un número entero de slots de longitud constante, inserción del PLHEADER para configurar el receptor y aleatorización de los símbolos (I,Q). [ETS2009]
- **Modulación:** luego de la aleatorización, la señal será filtrada en banda mediante un filtro tipo “raíz cuadrada del coseno levantado”, el cual puede utilizar factores de roll-off de 0.35, 0.25 y 0.20, según los requerimientos del servicio. Seguidamente, se realiza la modulación multiplicando las muestras en fase y en cuadratura por $\sin(2\pi f_{ot}t)$ y $\cos(2\pi f_{ot}t)$, respectivamente. Finalmente las dos señales que resultan se sumarán para obtener la señal de RF a la salida del sistema modulador DVB-S2. [ETS2009]

Para el presente diseño, el modulador DVB-S2 se configurará de la siguiente manera para obtener una señal robusta de cara a las diferentes condiciones geográficas y climáticas del territorio peruano, y eficiente en cuanto a uso espectral:

Tabla 4.1 – Configuración modulador DVB-S2 y resultados – MPEG-TS

Fuente: “DVB-S & DVB-S2 Bitrates Calculator” [CAL2011]

TS Bitrate Neto	11.650 Mbps
Factor de roll-off	0.25
DVB-S2 Frame	64800 bits (Normal)
FEC	$\frac{3}{4}$
Modulación	8PSK
BW Modulación 8PSK	5.2673 MHz
BW Asignado	6.5358 MHz

De acuerdo a la tabla anterior podemos verificar que el **MPEG-TS de 11.650 Mbps** ocupará un ancho de banda espectral de **5.2673 MHz** como resultado del “Bitrate + FEC + Modulación”; sin embargo, el operador del satélite suele incrementar este ancho de banda por un factor en el rango de 1.2 a 1.4 para permitir la separación de portadoras en el transpondedor, y se denomina Ancho de Banda Asignado. El valor asignado es de **6.5358 MHz** y este será el que se cobrará como alquiler.

Por otro lado, si no se hubiera utilizado el método de remultiplexado de la señal BTS, esta tendría que pasar tal cual (**tasa fija de 32.5079 Mbps**) por el proceso de modulación para su posterior envío al satélite.

Utilizando la misma configuración que para la señal MPEG-TS se obtuvo lo siguiente:

Tabla 4.2 – Configuración modulador DVB-S2 y resultados - BTS

Fuente: “DVB-S & DVB-S2 Bitrates Calculator” [CAL2011]

TS Bitrate Neto	32.5079 Mbps
Factor de roll-off	0.25
DVB-S2 Frame	64800 bits (Normal)
FEC	$\frac{3}{4}$
Modulación	8PSK
BW Modulación 8PSK	14.698 MHz
BW Asignado	18.237 MHz

De acuerdo a la tabla anterior, se verifica que la señal BTS de **32.5079 Mbps** ocupará un ancho de banda espectral de **14.698 MHz** como resultado del “Bitrate + FEC + Modulación”. Sin embargo, el ancho de banda asignado por el operador será de **18.237 MHz**, lo cual resulta excesivo y poco factible.

El modulador Comtech DM240XR soporta todos los parámetros de configuración probados y muchas funcionalidades más ya que ha sido diseñado exclusivamente para la difusión de señales de video.



Figura 4.8 – Modulador DVB-S2 Comtech DM240XR
Fuente: [SER2011]

A la salida del modulador se tendrá la señal MPEG-TS modulada con una tasa de 5.2673 Mbps en la Banda-L (950 - 2050 MHz).

4.2.5. High Power Amplifier – CPI 750W Outdoor TWT Amplifier

El CPI 750W Outdoor TWT Amplifier es un amplificador que se encargará de elevar la potencia de un rango de frecuencias en una determinada banda para que la señal pueda llegar al satélite sin sufrir mayor degradación debido a las altas pérdidas del camino y pueda ser distribuida a las diferentes locaciones de recepción.

Una particularidad de este equipo es que tiene un Block Up-Converter (BUC) integrado el cual le permitirá llevar una señal en IF o RF a una banda de frecuencias superior. En este caso, el Up-Converter recibe la señal en Banda-L a la salida del modulador y la llevará a la Banda-C.

La Banda-C se ha elegido ya que comprende frecuencias entre **5.925-6.425 GHz** para el Uplink y entre **3.700-4.200 GHz** para el Downlink. Estas frecuencias le brindan mayor confiabilidad bajo condiciones climatológicas adversas, principalmente lluvia fuerte y granizo, como en el caso de la Selva y Sierra peruana respectivamente. Por

otro lado, esta banda se encuentra menos congestionada que otras más comerciales como la Banda-Ku.

Una vez terminada la etapa conversión de frecuencias se procede a realizar la amplificación.

El equipo es del tipo exterior (outdoor), capaz de proveer hasta 750 Watts de potencia a su salida, en una caja compacta, resistente y a prueba de agua. Opera en la Banda-C de frecuencias y es ideal para aplicaciones con estaciones en tierra fijas y móviles.



Figura 4.9 – 750 Watt TWT HPA

Fuente: [CPI2011]

Tiene las siguientes características:

- Excelente relación de costo-eficiencia: permite ser montado en la antena y, que de esta manera, se minimizan las pérdidas por cables y se ahorra costos en el diseño del sistema.
- Confiabilidad: diseñado para soportar condiciones ambientales extremas y cuenta con un mayor margen de enfriamiento para conseguir una mayor vida útil.
- Fácil operación: posee una interfaz de control amigable para el usuario.
- Fácil mantenimiento: tiene capacidad integrada de diagnóstico de fallas a través de gestión remota.
- Soporte técnico mundial.

Es importante indicar que la potencia del amplificador (750 Watts) se eligió de acuerdo al tipo de señal que se enviará (ISDB-T BTS) y a un compromiso de costo-beneficio entre antena y amplificador de alta potencia.

Se llegó a este compromiso mediante el cálculo del Link-Budget, utilizando una aplicación de software (Anexo 1). Esta aplicación utiliza como principales parámetros de entrada las características del satélite y de las estaciones de emisión y recepción. Permite también, cambiar las configuraciones de antenas, de tal manera que se pueda controlar los requerimientos de potencia del HPA.

Los escenarios que se probaron fueron enlaces desde estaciones de emisión ubicada en Lima hacia estaciones de recepción ubicadas en zonas lo más alejadas posibles de la capital como Iquitos, Cuzco, Tacna y Tumbes.

Los resultados (ver Anexo 1) para estos escenarios mostraron requerimientos de potencia de alrededor de los 500 Watts. Sin embargo, se debe considerar también que las locaciones elegidas poseen características geográficas y climáticas particulares, por lo cual se consideró un margen superior.

4.2.6. Antena parabólica VertexRSI Tx/Rx

La antena parabólica se encargará de irradiar las ondas electromagnéticas de la señal a la salida del amplificador de alta potencia (HPA), hacia el satélite en el espacio.



Figura 4.10 – Antena VertexRSI Tx/Rx (modelo 4.8m)
Fuente: [SER2011]

La antena VertexRSI de 4.8 metros es del tipo Cassegrain y ofrece un rendimiento excepcional para la transmisión y recepción de aplicaciones en las bandas C y Ku.

Posee un innovador diseño del alimentador y subreflector que resulta en alta ganancia y eficiencia de antena, baja temperatura de ruido y una excelente capacidad para rechazar el ruido e interferencias de microondas.

Cabe mencionar que el tamaño de la antena fue elegido de acuerdo al tipo de señal que se enviará (ISDB-T BTS) y al compromiso de costo-beneficio entre antena y amplificador de alta potencia explicado anteriormente.

4.3 Equipos de la Estación Terrena de Transmisión

La estación Terrena de Transmisión o también denominada “Relay Station” es donde se recibe la señal proveniente del enlace satelital para procesarla, acomodarla y distribuirla localmente. En este caso, las estaciones de las casas televisoras estarían ubicadas en los diferentes departamentos de nuestro país, de tal forma que desde ahí puedan distribuir la señal de TV Digital a todas sus provincias.

A continuación se detallará el equipamiento que debe ser necesariamente añadido a la arquitectura de las estaciones retransmisoras para que puedan realizar las funciones mencionadas anteriormente. Se empezará por el equipamiento de recepción para el enlace de bajada (downlink):

4.3.1. Antena parabólica Prodelin Rx Only

La antena parabólica se encargará de recibir las ondas electromagnéticas de la señal proveniente del satélite, para su posterior procesamiento.



Figura 4.11– Antena Prodelin Rx Only (modelo 3.7m)

Fuente: [SER2011]

La antena Prodelin Rx Only de 3.7m es del tipo parabólica y como su nombre lo indica está diseñada únicamente para la recepción de señales en la Banda-C (Downlink: 3.700-4.200 GHz).

Entre las principales características de la antena está su compresión precisa, el reflector moldeado centrado, el bajo costo de transporte por sus ocho paneles reflectores, los paneles individuales intercambiables y reemplazables, y los soportes de acero completamente galvanizado.

4.3.2. LNB Norsat PLL 3000 High Stability

El LNB o bloque de bajo ruido es el corazón de la antena satelital. Básicamente, es un resonador con una cavidad que recibe las señales del satélite, las cuales se reflejan en la antena y entonces son procesadas.

La principal característica del LNB es que cumple la función de un amplificador de bajo ruido (LNA) y un conversor descendente (Down-Converter) en un solo equipo, permitiendo un ahorro significativo en costos.

A través de un interruptor eléctrico interior amplifica las señales recibidas antes de ser enviadas al cable y las convierte a una frecuencia más baja para minimizar la pérdida de señal en cables.

El Norsat PLL 3000 trabaja en la Banda-C, permitiendo frecuencias de entrada en el rango de 3.40 a 4.20 GHz que, luego de ser procesadas, serán llevadas a frecuencias en el rango de 950 a 1750 MHz.



Figura 4.12– Norsat C-Band PLL 3000 High Stability

Fuente: [NOR2011]

El factor principal para determinar los parámetros de rendimiento y la calidad de la señal en un LNB es la temperatura de ruido. A menor temperatura de ruido, mayor será la calidad de la señal. El valor típico es de 25°K, sin embargo, el Norsat PLL 3000 puede emplear hasta 20°K.

4.3.3. Demodulador DVB-S2 EITV Replay

El Demodulador DVB-S2 EITV Replay se encargará de recibir la señal a la salida del bloque anterior, en el rango de frecuencias de 950 MHz a 2150 MHz. Luego la procesará y la llevará a banda base, recuperando así la señal MPEG-TS generada en la estación de emisión.

Cabe mencionar que el equipo EITV Replay (ver **Figura 4.14**) está diseñado principalmente para funciones de multiplexado y remultiplexado. Sin embargo, con la adición de interfaces adicionales, también puede realizar las siguientes funciones en el mismo equipo:

- Receptor Profesional de señales de TV Digital terrestre (ISDB-T) y satelital (DVB-S2/ DVB-S).
- Modulador de estándares de TV Digital terrestre (ISDB-T) y satelital (DVB-S2/ DVB-S).

4.3.4. BTS-Adapter: PC + Dektec DTA-140

El algoritmo del BTS-Adapter (capítulo 3) realizará la adaptación de la señal MPEG-TS, generada en la Estación de Emisión, a la señal original BTS. Esto lo realiza mediante la regeneración de los TSPs nulos y dummy bytes, de acuerdo a la información de las tablas PLI e IIP.



Figura 4.13 – PC + Tarjeta Dektec DTA 140
Fuente: [DEK2011]

Dado que el algoritmo del BTS-Adapter está basado en un programa en lenguaje C++, este será instalado en una computadora de alta capacidad gráfica y de procesamiento que le permita operar de manera óptima. Esta computadora estará provisionada de una tarjeta Dektec DTA-140 que, mediante interfaces DVB/ASI de alta velocidad (entrada y salida) permitirá recibir la señal MPEG-TS, previamente recibida y demodulada en DVB-S2, y procesarla para recuperar la señal BTS original de **32.5079 Mbps**.

4.3.5. Mux/Remux EITV Replay

Una vez recuperada la señal BTS, esta pasará por un proceso de Mux/Remux el cual permitirá principalmente la inserción de contenido o programación local, establecer un número de canal virtual y configurar el código de área y los parámetros de modulación que mejor se acomoden a los requerimientos locales.



Figura 4.14– Mux/Remux EITV Replay
Fuente: [ETV2011]

El equipo EITV Replay es un equipo innovador, diseñado para operar en sistemas de difusión de TV Digital y es totalmente compatible con el estándar ISDB-T.

A la salida se tiene la misma, o modificada señal BTS, lista para la etapa de modulación ISDB-T.

4.3.6. ISDB-T Modulator /Transmitter UBS DTX-1200U

En la etapa de modulación, cada capa jerárquica de la señal BTS será modulada en cuadratura (QPSK, 16-QAM, 64-QAM), se realizará un entrelazado en tiempo y frecuencia, y finalmente se modulará la señal en BST-OFDM, obteniéndose así la señal en frecuencia intermedia (44 MHz) con el ancho de banda utilizable del estándar ISDB-T de 5.57 MHz. Todos estos procesos involucrados en la etapa de modulación ISDB-T, se basan en los parámetros configurados en el TMCC de la señal BTS, los cuales vienen configurados desde la estación terrena de emisión o, pueden haber sido modificados de acuerdo a requerimientos locales.

Luego viene la etapa de transmisión ISDB-T, la cual se encarga de procesar la señal IF para llevarla a la banda de frecuencias asignada al canal de televisión y que pueda ser recibida por los equipos de los usuarios finales. El proceso consiste en realizar una conversión ascendente de la frecuencia IF a una señal RF en la banda asignada correspondiente y finalmente amplificar la potencia de salida de esta banda para que pueda llegar a cubrir una determinada zona de cobertura.



Figura 4.15 – Modulator /Transmitter UBS DTX-1200U
Fuente: [ETV2011]

El equipo UBS DTX-1200U es un transmisor de estado sólido compacto, diseñado exclusivamente para la difusión de la señal de TDT sobre frecuencias UHF en el rango de 470 MHz a 860 MHz. Incluye un modulador ISDB-T con todas las funcionalidades descritas anteriormente que generará la señal IF que luego será llevada a RF y amplificada a una potencia promedio de 120 Watts. El nivel de estabilidad de la

potencia de salida del transmisor, en la señal RF, es mantenida por un bucle interno que controla los niveles de manera automática.

La parámetros de operación del transmisor UBS DTX-1200U pueden ser controlados y monitoreados por un sistema integrado, al cual se puede acceder mediante la pantalla táctil frontal (LCD) del equipo o usando las interfaces de gestión remota (Ethernet, SNMP, USB y RS232). Asimismo, puede ser configurado como un repetidor terrestre mediante la inserción de las tarjetas adecuadas.

4.3.7. GPS Receiver 10 MHz

Adicionalmente, se incluirá también un dispositivo receptor de GPS con una frecuencia de reloj de 10 MHz.



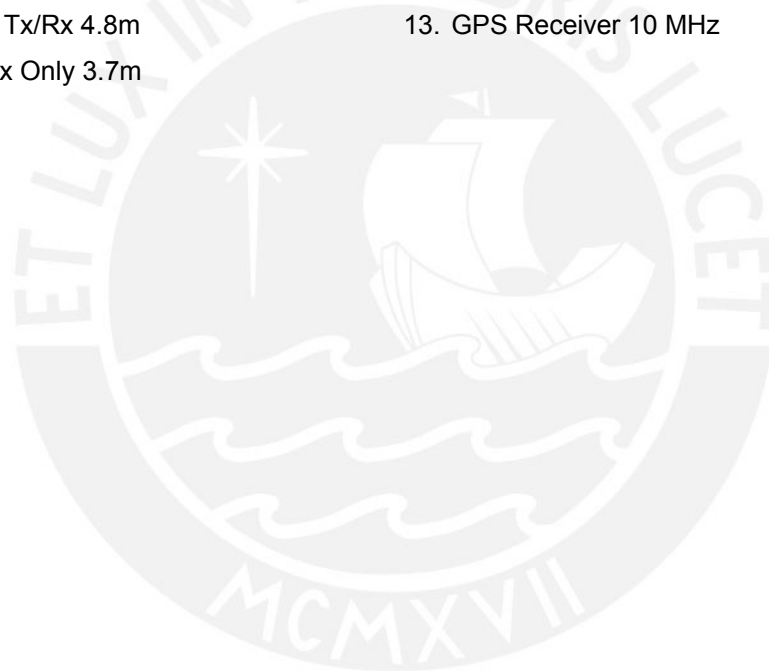
Figura 4.16 – GPS Receiver 10 MHz
Fuente: [ETV2011]

El GPS se conectará al Mux/Remux y Transmisor ISDB-T, y permitirá sincronizar en frecuencia la señal OFDM resultante, de tal forma que todos los transmisores de la red estén sincronizados.

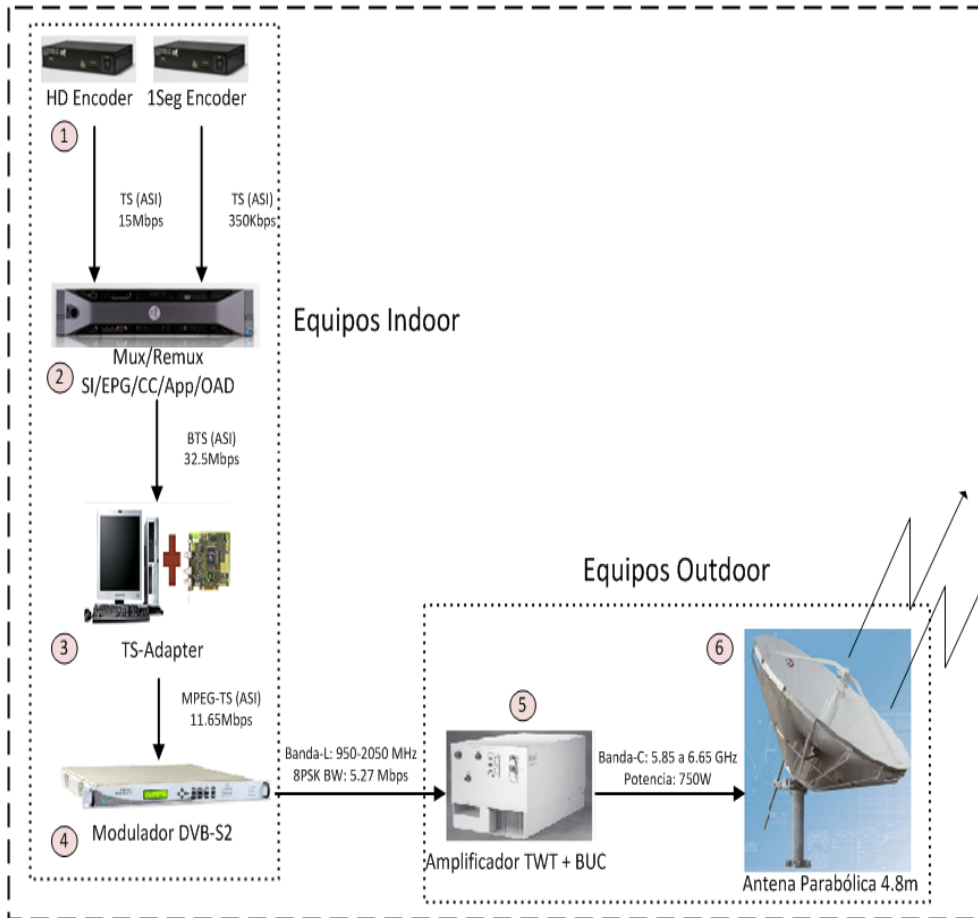
4.4 Propuesta de Sistema de Transmisión Satelital para la señal ISDB-T BTS

Con todos los equipos descritos anteriormente se puede esbozar, ahora, la arquitectura del sistema de transmisión satelital que se propone para enviar la señal de TV Digital (ISDB-T BTS) a provincias. Se considerará las interfaces involucradas en cada etapa:

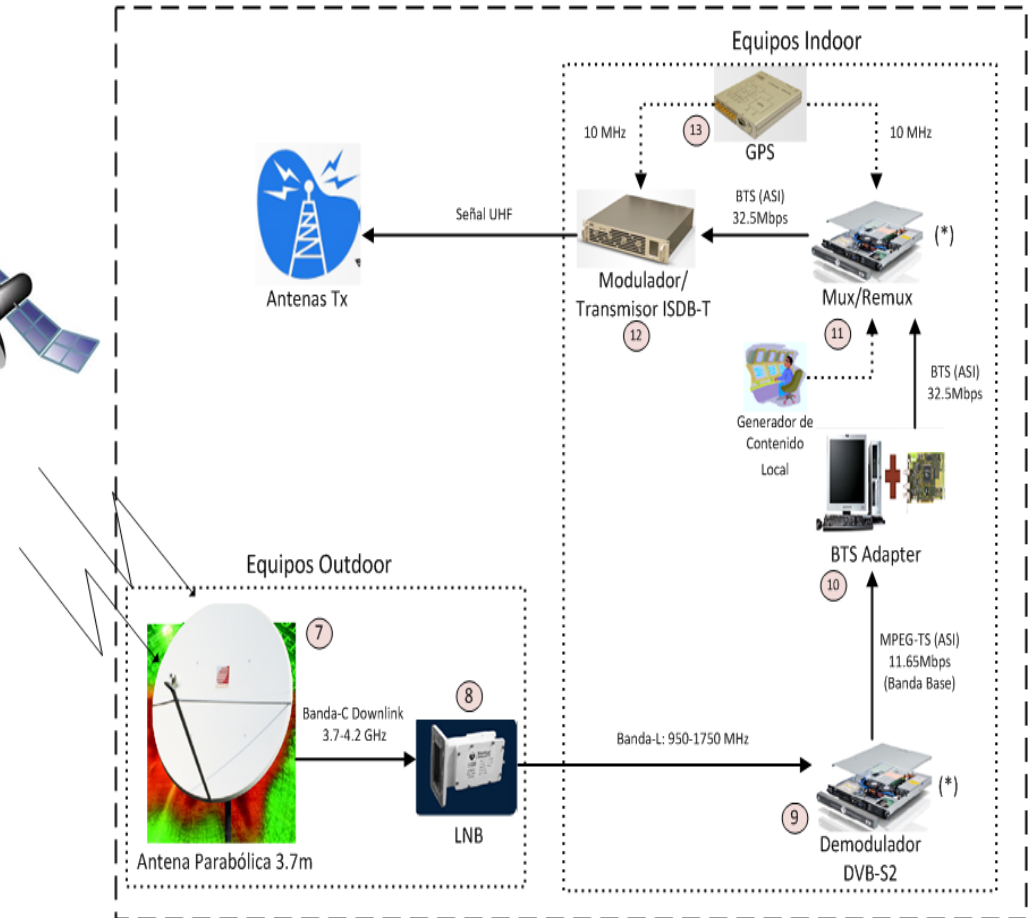
1. Enc. HD,SD,One-Seg Z3-MVE-20
2. EITV Playout Professional
3. TS-Adapter: PC+Dektec DTA-140
4. Comtech EFData DM240XR
5. CPI 750W Outdoor TWT Amplifier
6. VertexRSI Tx/Rx 4.8m
7. Prodelin Rx Only 3.7m
8. Norsat PLL 3000 High Stability
9. EITV Replay DVB-S2 Receiver
10. BTS-Adapter: PC+Dektec DTA-140
11. EITV Replay Mux/Remux
12. UBS DTX 120W UHF ISDB-T Transmitter
13. GPS Receiver 10 MHz



Estación Terrena de Emisión



Estación Terrena de Transmisión



(*) Es el mismo equipo. Tarjeta adicional para DVB-S2

Figura 4.17 – Sistema de Transmisión Satelital para la señal ISDB-T BTS
Fuente: Elaboración Propia

Capítulo 5

Análisis Económico

En el presente capítulo se hará una evaluación de los gastos en los que tendrán que incurrir las empresas emisoras de contenido para implementar el sistema de transmisión satelital propuesto en el capítulo anterior, utilizando y sin utilizar el método de remultiplexaje brasileño (TS/BTS Adapter) para reducir la alta tasa de bits de la señal BTS.

5.1 Costos del Sistema de Transmisión con TS/BTS Adapter

En esta primera parte se analizarán los costos de los equipos involucrados en el diseño propuesto en el capítulo anterior, que incluye el TS/BTS Adapter para reducir la elevada tasa de bits de la señal BTS. También se incluirán los gastos de alquiler de espectro satelital que tendrán que afrontar las empresas emisoras de contenido utilizando la solución propuesta.

5.1.1. Costos de equipamiento de la Estación Terrena de Emisión

En primer lugar se empezará con los costos de los equipos especializados en el estándar ISDB-T que deben ser necesariamente añadidos a la arquitectura de las empresas de cara al inicio de transmisiones con tecnología netamente digital:

Tabla 5.1 – Costos de equipos ISDB-T - ETE

Fuente: Elaboración Propia

Datos obtenidos de: Anexo 2

Cantidad	Equipo	Número de Parte	Precio (US\$)
1	Z3 Technology Dual Channel HD H.264 Encoder	Z3MVE20	\$10,844.80
1	EITV Playout Professional - All functions	ETPO-HW	\$36,573.96
1	SW TS/BTS- Adapter	-	\$3,000.00
1	PC+Dektec DTA-140	-	\$2,500.00
SUBTOTAL			\$52,918.76

Sobre la tabla anterior, se debe indicar que se tiene una propuesta comercial formal, de los dos primeros equipos, por parte de la empresa brasileña EITV, la cual se especializa en equipos y servicios de ingeniería orientados a la Televisión Digital.

Por otro lado, se está incluyendo también el costo de adquisición o licencia para utilizar el software TS/BTS Adapter, así como también el costo de la computadora en la que se instalará el software junto con la tarjeta especial que le permita recibir la señal BTS.

Ahora se presentarán los costos de los equipos propuestos para realizar el enlace de subida satelital (Uplink):

Tabla 5.2 – Costos de equipos para el Uplink - ETE

Fuente: Elaboración Propia

Datos obtenidos de: Anexo 2

Tra	Equipo	Número de Parte	Precio (US\$)
1	Comtech EFData Satellite Modem L Band	DM240XR	\$10,100.00
1	CPII 750W Outdoor TWT Amplifier + BUC	VZC-6967V7	\$115,900.00
1	VertexRSI Antenna Tx/Rx C,Ku Band 4.8m	-	\$26,910.00
SUBTOTAL			\$152,910.00

De los equipos indicados en la tabla anterior, se tiene la propuesta comercial formal del amplificador de 750 Watts por parte del fabricante, la cual incluye sistema de redundancia y soporte técnico (Anexo).

Los costos del modulador DBV-S2 y de la antena parabólica de 4.8m se han obtenido del catálogo de productos de una prestigiosa empresa proveedora de productos para comunicaciones satelitales (Anexo).

5.1.2. Costos de equipamiento de la Estación Terrena de Transmisión

De la misma manera que la parte anterior, se empezará presentando los costos de los equipos especializados en el estándar ISDB-T que deben ser necesariamente añadidos a la arquitectura de las empresas:

Tabla 5.3 – Costos de equipos ISDB-T - ETT

Fuente: Elaboración Propia

Datos obtenidos de: Anexo 2

Cantidad	Equipo	Número de Parte	Precio (US\$)
1	EITV Replay HW	ETRP-HW	\$9,900.00
	Modulo adicional - DVB-S2 / DVB-S signal reception	ET-DVBS2	\$692.07
	Modulo adicional - 1 ASI output and 1 external 10MHz clock input	ET-DTA2145	\$3,391.15
	Soporte Técnico y Software Update - 12 meses	ETRP-SUP	\$990.00
1	UBS 120W UHF Tx with ISDB-T Modulator/Transmitter	ET-DTX1200U	\$18,540.00
1	GPS Receiver 10 MHz & 1PPS	ET-GPR1140	\$2,340.00
1	PC+Dektec DTA-140	-	\$2,500.00
SUBTOTAL			\$38,353.22

Respecto al cuadro anterior, se debe indicar que se tiene la propuesta comercial formal, por parte de la empresa EITV, para los tres primeros equipos, la cual incluye actualizaciones de software y soporte técnico.

También se incluye el costo de la computadora en la que se instalará el software TS/BTS Adapter, junto con la tarjeta especial que le permitirá recibir la señal MPEG-TS.

A continuación se presentarán los costos de los equipos propuestos para realizar el enlace de bajada satelital (Downlink):

Tabla 5.4 – Costos de equipos para el Uplink - ETT

Fuente: Elaboración Propia

Datos obtenidos de: Anexo 2

Cantidad	Equipo	Número de Parte	Precio (US\$)
1	Prodelin Antenna C-Band Rx Only 3.7m	-	\$2,570.00
1	Norsat PLL 3000 High Stability	-	\$500.00
SUBTOTAL			\$3,070.00

Los costos de los dos equipos presentados en el cuadro anterior se han obtenido del catálogo de productos de una prestigiosa empresa proveedora de productos para comunicaciones satelitales (Anexo 2).

Hasta este punto se han presentado los costos de todos los equipos involucrados en el diseño propuesto en el capítulo anterior. Al sumar los subtotales, se obtiene que el costo total en equipamiento para poder implementar el sistema de transmisión es de **US\$247,251.98**.

Hay que considerar que los gastos en equipamiento en la Estación Terrena de Emisión, ubicada en Lima, serán de **US\$205,828.76**, y tendrán que ser afrontados una sola vez por parte de las casas televisoras.

Por otra parte, los gastos en equipamiento en la Estación Terrena de Transmisión serán de **US\$41,423.22**. Sin embargo, este gasto tendrá que realizarse por cada estación retransmisora que se quiera poner en las diferentes provincias de nuestro territorio, para poder cumplir con lo establecido por el Plan Maestro de TDT.

Finalmente, es importante tener en consideración que, algunas empresas emisoras de contenido ya cuentan en sus arquitecturas con algunos de los equipos propuestos, sobretodo en la etapa de emisión como codificadores, antenas y amplificadores. Esto, definitivamente reduciría los gastos que tendrán que afrontar en un futuro cercano. [IRT2011]

5.1.3. Costos de alquiler de espectro satelital

Para definir los costos de alquiler de espectro satelital es necesario definir el ancho de banda que tendrá la señal MPEG-TS a la salida de la etapa de modulación DVB-S2 y esto definirá el ancho de banda de la portadora satelital. Sin embargo, esto ya se realizó en el capítulo anterior (Tabla 4.1) y se obtuvo un ancho de banda espectral asignado de **6.5358 MHz**, por el cual, las empresas emisoras de contenido tendrán que pagar alquiler a algún operador de satélites.

Actualmente, en el mercado de los satélites, el costo de alquiler mensual por **1MHz** es de **US\$3,939**, considerando un margen de ganancia del 30% para el operador satelital. [CHE2011]

Por lo tanto, el costo mensual de alquiler de espectro satelital para las casas televisoras será de **US\$25,744.52**.

5.2 Costos del Sistema de Transmisión sin TS/BTS Adapter

En esta segunda parte se analizarán los costos del equipamiento involucrado en el diseño propuesto en el capítulo anterior; sin embargo, esta vez no se incluirá el TS/BTS Adapter para reducir la tasa de la señal BTS. También se incluirán los gastos de alquiler de espectro satelital que tendrán que afrontar las empresas emisoras de contenido para este caso.

5.2.1. Costos de equipamiento de la Estación Terrena de Emisión

En la estación de emisión los costos de los equipos especializados en el estándar ISDB-T serán los mismos que indica la Tabla 5.1.

Por otro lado, se eliminarán los costos de adquisición del software TS/BTS Adapter, de la computadora y la tarjeta incorporada, ya que la señal BTS será enviada tal cual, sin pasar por ningún método de remultiplexaje.

La gran diferencia se dará en los costos de los equipos propuestos para el enlace de subida al satélite, de manera más específica, en el amplificador de alta potencia y la antena de transmisión (el modulador no cambia).

Como se mencionó en el capítulo anterior, la antena de transmisión y el amplificador de alta potencia se eligieron por un compromiso de costo-beneficio entre las mismas. Este compromiso se basó en el cálculo de Link-Budget para el enlace, mediante un software especial, el cual utiliza como uno de sus principales parámetros de entrada, la tasa de bits a transmitir.

En este caso, la señal BTS a transmitir, tiene una tasa fija de 32.0579 Mbps que prácticamente triplica a la señal MPEG-TS transmitida utilizando el TS/BTS Adapter. Esto, implicará un aumento considerable de la potencia requerida para el enlace de subida.

Bajo la misma configuración del escenario de la solución con el TS/BTS Adapter, el Link-Budget que resultó al utilizar el software, arrojó requerimientos de potencia alrededor de los 1.3 KW (Anexo), sin considerar un margen adicional debido a condiciones geográficas y climáticas. Esta cantidad de potencia requerida, implicaría utilizar un HPA tipo Klystron de 2.4 KW cuyo precio supera el millón de dólares. [ALC2011]

Debido a esto, se buscó el mejor compromiso amplificador-antena y se logró reducir la potencia requerida al orden de los 650 Watts (Anexo) - sin considerar margen- mediante el uso de una antena más grande (7.3m). Esto implicaría el uso de un HPA tipo TWT de 1KW, que tiene un costo aproximado de medio millón de dólares. [ALC2011]

A continuación se presentará una tabla con los costos de los equipos propuestos para realizar el Uplink.

Tabla 5.5 – Costos de equipos para el Uplink – ETT sin Método

Fuente: Elaboración Propia

Datos obtenidos de: Anexo

Cantidad	Equipo	Número de Parte	Precio (US\$)
1	Comtech EFData Satellite Modem L Band	DM240XR	\$10,100.00
1	CPII 1KW Outdoor TWT Amplifier + BUC	-	\$500,000.00
1	Probecom Earth Station Antenna Tx/Rx, C-Band 7.3m.	-	\$71,980.00
SUBTOTAL			\$582,080.00

Los costos del modulador y la antena presentados en el cuadro anterior se han obtenido del catálogo de productos de una prestigiosa empresa proveedora de productos para comunicaciones satelitales (Anexo). Por otra parte, el costo del amplificador es referencial. [ALC2011]

5.2.2. Costos de equipamiento de la Estación Terrena de Transmisión

En la estación de transmisión los costos de los equipos especializados en el estándar ISDB-T y los equipos para el Downlink serán los mismos que para la solución con el TS/BTS Adapter; sin embargo, se deberá eliminar el costo de la computadora y la tarjeta incorporada.

Hasta este punto se han presentado los costos de todos los equipos involucrados en el diseño del sistema de transmisión sin utilizar el TS/BTS Adapter.

Al sumar los costos, teniendo en cuenta todas las consideraciones indicadas para cada estación, se obtiene que el costo total en equipamiento para poder implementar el sistema de transmisión es de **US\$668,421.98**.

Hay que considerar que los gastos en equipamiento en la Estación Terrena de Emisión, ubicada en Lima, serán de **US\$629,498.76**, y tendrán que ser afrontados una sola vez por parte de las casas televisoras.

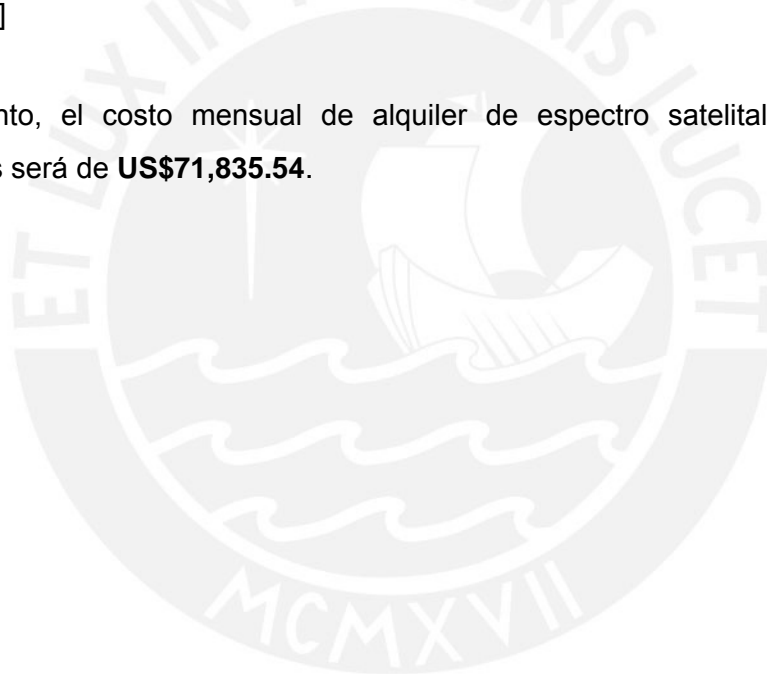
Por otra parte, los gastos en equipamiento en la Estación Terrena de Transmisión serán de **US\$38,923.22**. Sin embargo, este gasto tendrá que realizarse por cada estación retransmisora que se quiera poner en las diferentes provincias de nuestro territorio, para poder cumplir con lo establecido por el Plan Maestro de TDT.

5.2.3. Costos de alquiler de espectro satelital

Para definir los costos de alquiler de espectro satelital es necesario definir el ancho de banda que tendrá la señal BTS a la salida de la etapa de modulación DVB-S2 y esto definirá el ancho de banda de la portadora satelital. Sin embargo, esto ya se realizó en el capítulo anterior (Tabla 4.2) y se obtuvo un ancho de banda espectral asignado de **18.237 MHz**, por el cual, las empresas emisoras de contenido tendrán que pagar alquiler a algún operador de satélites.

Actualmente, en el mercado de los satélites, el costo de alquiler mensual por **1MHz** es de **US\$3,939**, considerando un margen de ganancia del 30% para el operador satelital. [CHE2011]

Por lo tanto, el costo mensual de alquiler de espectro satelital para las casas televisoras será de **US\$71,835.54**.



Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones:

- El diseño del sistema de transmisión satelital, por parte de las empresas emisoras de contenido, es necesario para la distribución de la señal de TV Digital de cara al cumplimiento de los plazos máximos establecidos por el Plan Maestro de la TDT y dada la escasa infraestructura para el transporte de servicios de telecomunicaciones en el interior del país, sumada a la agreste geografía peruana que dificulta el uso de otros medios de transmisión como las microondas y la fibra óptica.
- Utilizando el sistema de transmisión propuesto se logra reducir los costos de equipamiento hasta en un 63% en relación a los costos de equipamiento sin utilizar el método de remultiplexaje. Esta gran diferencia se debe básicamente a la elevada tasa fija de bits de la señal ISDB-T BTS, la cual si es enviada al satélite sin un proceso de adaptación previo, requerirá un amplificador con una potencia de salida muy elevada, lo cual incrementará los costos sustancialmente.
- Además de los costos de equipamiento, mediante el uso del TS/BTS Adapter, se consigue reducir los costos de alquiler de espectro satelital hasta en un 64% en comparación con los costos de alquiler sin utilizar el método de remultiplexaje, es decir, enviando la señal ISDB-T BTS de 32.5079 Mbps al satélite tal cual. Si se considera un alquiler de espectro satelital por un periodo de 10 años, las empresas emisoras de contenido realizarían un ahorro de alrededor de 5 millones de dólares.
- La distribución de la señal de TV Digital utilizando el sistema de transmisión satelital permitirá, en un mediano plazo, brindar este servicio a zonas y poblados que no cuentan con ningún medio de comunicación con el exterior debido a su ubicación geográfica. De esta forma se fomentará la Sociedad de la Información, lo que implicará una mayor inclusión social y económica, una reducción de la brecha digital y la integración nacional. Asimismo, se promocionará la universalidad del acceso al conocimiento (educación, ciencia y cultura).

Recomendaciones:

- El compromiso entre amplificador de alta potencia y antena es crítico para el diseño del sistema de transmisión satelital. Las empresas emisoras de contenido deberán hacer un estudio minucioso de los requerimientos de potencia (Link-Budget) que necesitarán para que la señal llegue a las estaciones de recepción de manera óptima, sin perder calidad. Este estudio debe incluir las características técnicas del satélite que deben ser proporcionadas por el operador del satélite, así como también las condiciones geográficas y climáticas de las diferentes localidades.
- Un factor importante al diseñar el sistema de transmisión es la elección de la banda de frecuencias que utilizará el sistema satelital, para lo cual se deberá realizar el estudio y análisis respectivo. Para realizar la elección se deberá tener las siguientes consideraciones:
 - Las condiciones geográficas y climáticas de las localidades ya que como se sabe diferentes longitudes de ondas tienen diferentes propiedades. En frecuencias muy altas (bandas Ku y Ka), las ondas pueden ser fácilmente detenidas por objetos como hojas o gotas de lluvia y para superar este problema se necesita mayores potencias, antenas y equipos de costo más elevado. Por otro lado las frecuencias bajas (bandas L y C) presentan mayor inmunidad a obstáculos e interferencias ambientales y requieren menor potencia de transmisores, a costa de una menor capacidad de transmisión de datos.
 - La disponibilidad por parte del operador del satélite de transpondedores que trabajen en las bandas deseadas y que tengan la capacidad necesaria. La banda más comercial es la Ku, motivo por el cual la mayoría de bandas ya se encuentran adjudicadas. Asimismo, las bandas de menor frecuencia como la L y C se encuentran menos saturadas.
- La ubicación de las estaciones terrenas de retransmisión deberá elegirse con mucho criterio. Las casas televisoras deberán realizar una evaluación del área que desean cubrir, de tal modo que se evite tener zonas de sombra. De esta forma se evitará tener que instalar estaciones repetidoras innecesarias que tienen elevados costos.

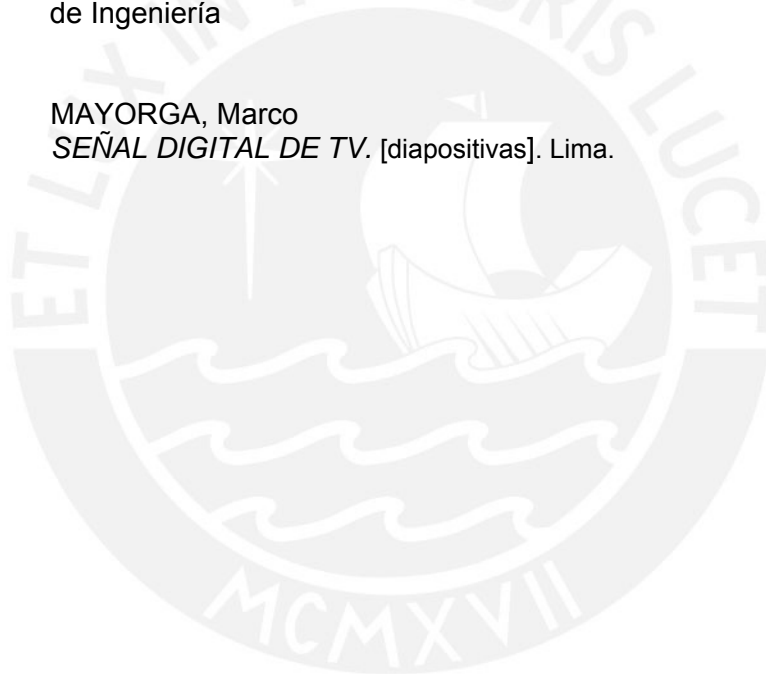
Bibliografía

- [ALC2011]
2011 CARHUAMACA, Andrés
Link-Budget satelital. Entrevista del 25 de noviembre al Ing. Carlos Alcócer.
- [ARG2009]
2009 PUNTO PROFESIONAL
“Decreto 1148/2009 - Créase el Sistema Argentino de Televisión Digital Terrestre”. Televisión Digital. Consulta: 20 de junio de 2011.
URL: http://www.puntoprofesional.com/P/0650D/DECRETO_1148-09.HTM
- [BRA2006]
2006 PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA CASA CIVIL- BRASIL
DECRETO N ° 5820. 29 de junio.
- [BRA2010]
2010 TELECO
“La TV Digital completa 3 años de operación en Brasil”. TV Digital en Brasil. Consulta: 20 de junio de 2011.
URL: http://www.teleco.com.br/es/es_tvdigital.asp
- [CAL2011]
2011 Satellite Calculations
“DVB-S & DVB-S2 Bitrates Calculator”. Consulta: 19 noviembre de 2011.
URL: <http://www.satellite-calculations.com/Satellite/bitrates.htm>
- [CHE2011]
2011 CHEE, Christian
Introducción a las Comunicaciones Satelitales. [diapositivas]. Lima.
- [CHI2009]
2009 DIARIO COOPERATIVA
“Apagón analógico”. Tecnología – TV Digital. Consulta: 20 de junio de 2011.
URL: http://www.cooperativa.cl/apagon-analogico-se-producira-recien-en-2017/prontus_notas/2009-09-14/113715.html
- [CHI2010]
2010 TVD – TELEVISIÓN DIGITAL PARA CHILE
“Apagón analógico”. Tecnología – TV Digital. Consulta: 20 de junio de 2011.
URL: http://www.tvd.cl/chile-oficializo-cooperacion-con-brasil-para-implementar-la-tv-digital/prontus_tvd/2011-05-26/092142.html
- [CPI2011]
2011 CPI - Communications & Power Industries
“Communications”. Consulta: 10 de octubre de 2011.
URL: www.cpii.com

- [DEK2011] DekTec Digital Video
2011
"Productos". Consulta: 10 de octubre de 2011.
URL: www.dektec.com
- [DVB1999] UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA
1999
"La norma DVB-S". Asignatura de Comunicaciones Espaciales.
Consulta: 1 de mayo de 2011.
URL:
http://www.upv.es/satelite/trabajos/Grupo8_98.99/tecno/dvbs/dvbs.htm
- [DVB2010] DVB
2010
DVBS2 - 2nd Generation Satellite. DVB Fact Sheet. Consulta: 1 de mayo de 2011.
- [ETV2011] EITV - Entretenimento e Interatividade para TV Digital
2011
"Productos". Consulta: 10 de octubre de 2011.
URL: <http://www.eitv.com.br/>
- [ETS2009] ETSI EN 302 307
2009
Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2). European Standard. Consulta: 14 de octubre de 2011.
URL: http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302300_302399/302307/01.02.01_60/en_302307v010201p.pdf
- [FID2011] Canal 7 – TV Pública
2010
Fase de Implementación Definitiva [diapositivas]. Argentina. Consulta: 1 de mayo de 2011.
URL: http://www.encuentrosregionales.com/14conferencias/encreg2010_seminario_tvdigital-canal7_nunzio_parte2.pdf
- [IRT2011] SAKAGUCHI, Yasuji
2011
Japanese Cooperation of Television Digital in Peru First success on HD live transmission in Peru. Documento de trabajo. Lima.
- [ISD2011] TDT TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE - MTC
2011
"El estándar ISDB-T". Consulta: 21 de junio de 2011.
URL: <http://tvdigitalperu.mtc.gob.pe/index2.html>
- [ITD2010] Ministerio de Transportes y Comunicaciones
2010
Implementación de la televisión digital terrestre en el Perú [diapositivas]. Perú. Consulta: 21 de junio de 2011.
URL: <http://tvdigitalperu.mtc.gob.pe/Documentos/Ppt0000001.ppt>

- [LEY2011] TDT TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE - MTC
2011
"Legislación". Consulta: 21 de junio de 2011.
URL: <http://tvdigitalperu.mtc.gob.pe/index3.html>
- [LNA2009] LA NACIÓN
2009
"Argentina eligió la norma japonesa de televisión digital". Tecnología.
Consulta: 20 de junio de 2011.
URL: <http://www.lanacion.com.ar/1167943>
- [MTC2010] MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES DEL PERÚ
2010
Decreto Supremo N° 017-2010-MTC. 29 de marzo.
URL: <http://tvdigitalperu.mtc.gob.pe/Documentos/D%20S%20%2001-2010-MTC-PLAN%20MAESTRO%20IMPLEMENTACION%20TV%20DIGITAL-B.pdf>
- [MTC2011] TDT TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE - MTC
2011
"Televisión Digital Terrestre". Consulta: 1 de mayo de 2011.
URL: <http://tvdigitalperu.mtc.gob.pe/index1.html>
- [MUX2009] AKAMINE, Cristiano. IANO, Yuzo. DE MELO VALEIRA, Gustavo.
2009
BEDICKS, Gunnar.
White Paper: "Re-Multiplexing ISDB-T BTS Into DVB TS for SFN". IEE
Transactions on Broadcasting, Vol. 55, N° 4. Brasil, 2009.
- [NOR2011] Norsat International Inc.
2011
"Solutions". Consulta: 10 de octubre de 2011.
URL: www.norsat.com
- [ROM2009] MATAMOROS, Ronald.
2009
Análisis técnico y de mercado para una infraestructura de TDT
propuesta para Lima Metropolitana bajo SBTVD. Tesis para optar por el
título de Ingeniero de las Telecomunicaciones. Lima: Pontificia
Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.
- [SAP2010] Ministerio de Transportes y Comunicaciones
2010
Situación, avances y proyectos de la TV Digital Terrestre en el Perú
[diapositivas]. Perú. Consulta: 21 de junio de 2011.
URL: <http://tvdigitalperu.mtc.gob.pe/Documentos/Presentaci%C3%B3n%20VMC%20TDT%20da%20Reuni%C3%B3n%20Grupo%20de%20Trabajo%20Per%C3%BA%20Jap%C3%B3n%20TDT%2020100330.pdf>

- [SAT2010] 2010 Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios.
Alcance y cobertura Rol de ARSAT S.A. [diapositivas]. Argentina. Consulta:
1 de mayo de 2011.
URL:
[Http://pmcg.minplan.gov.ar/html/eventos/isdbt/presentaciones/Alcance
Cobertura_ARSAT.pdf](http://pmcg.minplan.gov.ar/html/eventos/isdbt/presentaciones/Alcance_Cobertura_ARSAT.pdf)
- [SER2011] 2011 ServSat Communications
"Products". Consulta: 10 de octubre de 2011.
URL: www.servsat.com
- [SPA2004] 2004 PEREDO ÁLVAREZ, Sergio.
Software para analisis del presupuesto de enlace para comunicaciones
vía satélite. Tesis Licenciatura. Ingeniería en Electrónica y
Comunicaciones. Puebla: Universidad de las Américas Puebla, Escuela
de Ingeniería
- [TVD2011] 2010 MAYORGA, Marco
SEÑAL DIGITAL DE TV. [diapositivas]. Lima.



Anexos

Anexo1: Pruebas de Link-Budget Satelital

Los cálculos de Link-Budget se realizaron utilizando la aplicación Satellite Link-Budget que se ejecuta sobre Microsoft Excel y se presentan los resultados obtenidos de diferentes configuraciones de prueba, las cuales permitieron llegar al compromiso entre amplificador y antena.

Para realizar los cálculos se configuró los parámetros del satélite con los datos técnicos del satélite “Anik F1” que tiene una carga útil de 84 transpondedores para el suministro de telecomunicaciones, servicios de internet y servicios de difusión en Norteamérica y Suramérica. Por este motivo, se presentan también las especificaciones técnicas del satélite “Anik F1”.

Anexo2: Especificaciones técnicas de los equipos

Se presentan las especificaciones técnicas de los equipos involucrados en el sistema de transmisión satelital propuesto, de acuerdo a la Figura 4.17.

Además, se incluyen las propuestas comerciales de los equipos por parte de la empresa brasileña EITV, que se especializa en equipos y servicios de ingeniería orientados a la Televisión Digital; así como también, los precios de lista de los equipos para el enlace satelital (Uplink y Downlink), tomados de los catálogos de productos de prestigiosas empresas proveedoras de equipos para comunicaciones satelitales como ServSat Communications y CPII - Communications & Power Industries.