

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN CON LA
COLECTIVIDAD**

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN REDES DE INFORMACIÓN Y
CONECTIVIDAD**

MRIC-II

TESIS DE GRADO

**“EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO Y OPTIMIZACIÓN DEL
SISTEMA DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE ISDB-Tb
E IPTV DE LA ESPE”**

ING. RAÚL V. HARO BÁEZ

SANGOLQUÍ- 2012

AUTORIZACIÓN

Al presentar esta tesis como uno de los requisitos previos para la obtención del grado de magister de la Escuela Politécnica del Ejército, autorizo a la biblioteca de la ESPE para que haga de esta tesis un documento disponible para su lectura según las normas de la institución.

Estoy de acuerdo en que se realice cualquier copia de esta tesis dentro de las regulaciones internas de la ESPE, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia potencial.

Sin perjuicio de ejercer mi derecho de autor, autorizo a la ESPE la publicación de esta tesis, o de parte de ella, por una sola vez dentro de los treinta meses después de su aprobación.

Raúl Vinicio Haro Báez

Sangolquí, Septiembre del 2012

Certifico que la elaboración de la presente tesis fue realizada en su totalidad por el señor Ing. Raúl Vinicio Haro Báez, como requisito previo a la obtención del título de MAGISTER EN REDES DE INFORMACIÓN Y CONECTIVIDAD.

DIRECTOR
Dr. Gonzalo Olmedo Cifuentes

DEDICATORIA

A mi amada Esposa Cris, A mi amado Hijo Raúl Sebastián y a mi amada Hija Emilia Alejandra que para mí son mi luz de vida, aliento e inspiración para seguir adelante y querer siempre ser mejor. Gracias por ser esa columna vertebral que sostiene toda mi existencia.

RAÚL V. HARO B.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por bendecirme siempre, ayudarme a hacer siempre lo correcto y por guiar siempre mi camino.

A mi amada esposa Cris que con su amor ha ayudado a cristalizar este objetivo, a mis Preciosos hijos por brindarme su amor.

A mis Amados Padres Gladys y Raúl ya que con su apoyo incondicional he logrado cumplir mi tarea, gracias por creer en mí.

De manera muy especial a mi amada madre ya que en la vida para mí ha sido mi guía y ejemplo a seguir y además ha sido Amiga, Hermana, Madre e Hija.

A mi hermana Gabby por el apoyo absoluto y por ser un ejemplo para toda la familia.

Al Señor Dr. Gonzalo Olmedo, quien con su conocimiento, dirección y amistad supo orientar de buena manera para culminar con éxito esta tesis.

A todos mis familiares y amigos

RAÚL V. HARO B.

RESUMEN

Este trabajo presenta la evaluación experimental y real del desempeño de dos estándares de transmisión de video digital Televisión sobre IP e IntegratedService Digital Broadcasting (ISDB-T). Con la llegada de estas tecnologías de transmisión se debe analizar varios parámetros como ancho de banda, potencia y otros para el caso de ISDB-T y para el caso de IPTV, calidad de video, calidad de servicio entre otros. Análisis que se utilizara para nuevas implementaciones de estos sistemas. Un profundo conocimiento de estos parámetros es importante para evaluar el desempeño de estos sistemas. Las métricas utilizadas para medir la calidad de la señal de IPTV son throughput, Jitter y retardo, los cuales reflejan la calidad de servicio. Para evaluar el desempeño de un sistema ISDB-T se utilizan parámetros como la relación de error de modulación (MER), el vector error de modulación (EVM) los cuales dan una mejor idea del estado del canal de transmisión. Basado en el estudio de estos parámetros se propone una optimización o mejora de los sistemas instalados.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	1
CAPÍTULO 2	1
2. Características y parámetros de los Sistemas ISDB-Tb e IPTV	1
2.1 SISTEMA ISDB-Tb.....	1
2.1.1. Capa Física	2
2.1.2 Capacidad de Transmisión del Sistema.....	15
2.2 SISTEMA IPTV	15
2.2.1 Tecnologías de Red para la Distribución de Servicios IPTV	18
2.2.2 Factores Asociados al Despliegue de Redes IPTV	22
2.2.3 Empaquetización y Encapsulación de Video	24
2.3 Dispositivos y Componentes de un Sistema ISDB-T e IPTV	30
2.3.1. Integrated Receiver Devices (IRDs)	30
2.3.2. Codificadores en Tiempo Real	30
2.3.3. Servidores de Broadcasting de Streaming TV	32
2.3.4. Sistema Transcoding	32
2.3.5. Sistema de Soporte de Negocios y Operación (OBSS).....	32
2.3.6. Sistema CRM	33
2.3.7. Sistema de Seguridad	33
2.3.8. Servidores de Aplicaciones de Video bajo Demanda	34
2.3.9. Cabecera Middleware y Servidores De Aplicación	34
2.3.10. Servidor de Tiempo de Red	34
2.3.11. Infraestructura de Conmutación.....	34
2.3.12. Red de Distribución.....	35
2.3.13 IPTVCD o Set top Box	35
CAPÍTULO 3	36
Estudio y Análisis de los Sistemas IPTV e ISDB-Tb	36
3.1 IPTV	36
3.1.1 Simulación de un Sistema IPTV	36
3.1.2 Resultados de la Simulación	40
3.1.3 Desempeño de la red WiMAX - ESPE en aplicaciones de IPTV	42
3.1.4 Descripción de la red WIMAX de la ESPE.	42
3.1.5 Estación Base WiMAX:	43
3.1.6 CPE WiMAX.	45

3.1.7 Medición de la calidad de video, throughput, retardo y Jitter.....	46
3.1.8 Pruebas Realizadas con Canal de 10 MHz.....	47
3.1.9 Resultados de las mediciones realizadas en el Servidor de IPTV.....	49
3.2 ISDB-T.....	52
3.2.1 Simulación del área de cobertura de un transmisor ISDB-T.....	52
3.2.2 Pruebas en el Transmisor de Laboratorio.....	53
3.2.3 Pruebas Transmisor ECTV.	54
3.2.4 Desempeño del Sistema de ISDB-T.....	55
3.2.5 Parámetros de Desempeño de un Sistema ISDB-T.....	55
3.2.6 Mediciones del Transmisor de Laboratorio ISDB-T.....	65
3.2.7 Mediciones Realizadas al Transmisor de ECTV.	70
3.2.8 Resultados de las mediciones realizadas en el Sistema ISDB-T.....	76
CAPÍTULO 4.....	77
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	77
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83

ÍNDICE DE FIGURA

FIGURA 2. 1 ARQUITECTURA DE UN SISTEMA ISDB-TB [2]	2
FIGURA 2. 2 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA CAPA FÍSICA DE TDT [2]	2
FIGURA 2. 3 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA CAPA FÍSICA [7]	3
FIGURA 2. 4 DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN TRANSMISOR ISDB-T	4
FIGURA 2. 5 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE MODULACIÓN	5
FIGURA 2. 6 ORTOGONALIDAD ENTRE PORTADORAS [2].	5
FIGURA 2. 7 ARREGLO DE LOS SEGMENTOS EN EL ANCHO DE BANDA DEL CANAL.....	6
FIGURA 2. 8 DIAGRAMA DE BLOQUES CODIFICACIÓN DE CANAL [12].	7
FIGURA 2. 9 DIAGRAMA DE CONSTELACIONES DE QPSK.	11
FIGURA 2. 10 DIAGRAMA DE CONSTELACIÓN 16-QAM.....	11
FIGURA 2. 11 DIAGRAMA DE CONSTELACIÓN 64-QAM.....	12
FIGURA 2. 12 INTERVALO DE GUARDA.....	14
FIGURA 2. 13 INFRAESTRUCTURA DE RED.....	17
FIGURA 2.14 ESQUEMA DE UNA RED WIMAX PARA IPTV	19
FIGURA 2. 15 MODELO DE WIMAX	20
FIGURA 2. 16 MODELO DE COMUNICACIONES IPTV	24
FIGURA 2. 17 CAPAS DE ENCAPSULAMIENTO IPTVCM, [3]	25
FIGURA 2. 18 PROCESO DE DECISIÓN TCP DEL CONTROL DE FLUJO [3].....	26
FIGURA 2. 19 FORMATO TÍPICO DE UN DATAGRAMA UDP BASADO EN IPTV, [3].	29
FIGURA 2. 20 FORMATO IPV4 PARA APLICACIONES DE VIDEO [3].....	30
FIGURA 2. 21DISPOSITIVOS DE UN SISTEMA IPTV [3].....	31
FIGURA 2. 22 DISPOSITIVOS DE UN SISTEMA ISDB-T	31
FIGURA 3. 1 ESQUEMA IMPLEMENTADO PARA LA SIMULACIÓN	37
FIGURA 3. 2 ESTRUCTURA DE RED WIMAX ESPE	39
FIGURA 3. 3 ESQUEMA WIMAX, EB, ES Y SERVIDOR IPTV.	40
FIGURA 3. 4 THROUGHPUT RED WIMAX.....	40
FIGURA 3. 5 RETARDO	41
FIGURA 3. 6 JITTER	41
FIGURA 3. 7 TOTAL PAQUETES TRANSMITIDOS Y RECIBIDOS	42
FIGURA 3. 8 ARQUITECTURA DEL SISTEMA WIMAX IMPLEMENTADO	43
FIGURA 3. 9 ODU ESTACIÓN BASE WIMAX	43
FIGURA 3. 10 IDU ESTACIÓN BASE	44
FIGURA 3. 11 IDU Y ODU DEL CPE	46
FIGURA 3. 12 THROUGHPUT WIMAX.....	47
FIGURA 3. 13 JITTER WIMAX.....	47
FIGURA 3. 14 ANCHO DE BANDA Y THROUGHPUT MEDIDO EN LA BS DE WIMAX.....	50
FIGURA 3. 15 CONFIGURACIÓN CPE.....	51
FIGURA 3. 16 ÁREA DE COBERTURA DEL TRANSMISOR DE LABORATORIO.....	53
FIGURA 3. 17 TRANSMISOR ECTV	54
FIGURA 3. 18 ANALIZADOR DE ESPECTROS CXA 9000	56
FIGURA 3. 19 ERROR DE DEMODULACIÓN DIGITAL.....	61
FIGURA 3. 20 SER VS ES/NO	64
FIGURA 3. 21 POTENCIA DE CANAL EN EL TRANSMISOR DE LABORATORIO	66
FIGURA 3. 22 CURVAS ESTADÍSTICAS CCDF TRANS. DE LAB. ISDB-T.....	67
FIGURA 3. 23 EXAC. DE MOD, MER, CONST. Y SEG PARA 64QAM	69
FIGURA 3. 24 POTENCIA DE CANAL DEL TRANSMISOR DE ECTV	70
FIGURA 3. 25 CCDF TRANSMISOR DE ECTV	71
FIGURA 3. 26 POTENCIA DE CANAL ADYACENTE DEL TRANSMISOR DE ECTV.	72
FIGURA 3. 27 EXACTITUD DE MODULACIÓN DEL TRANS. ECTV CON QPSK	74
FIGURA 3. 28 EXACTITUD DE MODULACIÓN DEL TRANS ECTV CON 64 QAM	74
FIGURA 3. 29 TMCC RESULTADOS DE LA CODIFICACIÓN DEL TRANSMISOR ECTV	75

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1 ESTÁNDARES DE TV DIGITAL.....	1
TABLA 2. 2 NUMERO DE PORTADORAS DEL SISTEMA.....	7
TABLA 2. 3 TASA DE TRANSMISIÓN DE ISDB-T PARA UN SEGMENTO.....	15
TABLA 2. 4 ESTRUCTURA DE TCP BASADO EN UN SEGMENTO DE VIDEO IP.....	28
TABLA 3. 1 PARÁMETROS INGRESADOS EN EL SIMULADOR.....	37
TABLA 3. 2 TIPOS DE CALIDAD SERVICIOS EN WIMAX	38
TABLA 3. 3 PARÁMETROS DEL TIPO DE TRÁFICO	39
TABLA 3. 4 PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN DE LA ESTACIÓN BASE	44
TABLA 3. 5 PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN CPE	45
TABLA 3. 6 RESUMEN DE RESULTADOS DE LA INYECCIÓN DE TRÁFICO.....	48
TABLA 3. 7 PARÁMETROS DEL SIMULADOR PARA EL TRANS. DE LAB.....	52
TABLA 3. 8 PARÁMETROS DEL SIMULADOR PARA EL TRANS. ECTV.....	52
TABLA 3. 9 ZONAS DE COBERTURA DEL TRANSMISOR DE LABORATORIO.....	53
TABLA 3. 10 RESUMEN ZONAS DE COBERTURA DEL TRANSMISOR ECTV	55
TABLA 3. 11 RESUMEN DE PARÁMETROS DE LOS TRANSMISORES ANALIZADOS.....	56
TABLA 3. 12 SEGMENTACIÓN PARA TRANSMISORES ISDB-T (6 MHZ) [9]	57
TABLA 3. 13 TASA DE TRANSMISIÓN POR SEGMENTO EN ISDB-T (6 MHZ) [9]	58
TABLA 3. 14 VALORES RECOMENDABLES DE MER [11].....	64
TABLA 3. 15 RESUMEN DE MEDICIONES DEL TRANSMISOR DE LABORATORIO.....	69
TABLA 3. 16 MER Y EVM RECOMENDABLES.	69
TABLA 3. 17 RESUMEN DEL ANÁLISIS DE ACP.....	73
TABLA 3. 18 RESUMEN DE RESULTADOS DEL TRANSMISOR DE ECTV	75

GLOSARIO

16QAM	Modulación por Amplitud y Cuadratura de 16 niveles
64QAM	Modulación por Amplitud y Cuadratura de 64 niveles
AC	<i>Audio Coding</i>
AC	<i>Auxiliary Channel</i>
ACC	<i>Advanced Audio Coding</i>
ATSC	<i>Advanced Television Systems Committee.</i>
API	<i>Application Programming Interface.</i>
BTS	<i>Broadcast Transport Stream</i>
BER	Tasa de Error de Bit
CRM	<i>Custom Relationship Management</i>
CABAC	Algoritmos de Codificación de video.
CAT	<i>Conditional Access Table</i>
CCDF	<i>Power Complementary Cumulative Distribution Function</i>
CODECS	Codificadores y Decodificadores
COFDM	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing
CP	<i>Continual Pilot</i>
DVB	Digital Video Broadcasting.
DCT	Transformada Discreta Coseno
ES	<i>Elemental Stream.</i>
GINGA	Middleware de ISDB-Tb
Ginga-J	Middleware con aplicativo Java, ISDB-Tb
Ginga-NCL	Tipo de Middleware Ginga, <i>nested context language</i>
H.264	Versión MPEG-4
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
IP	Protocolo de Internet
IPTV	TV sobre IP
IRD	Integrated Receiver Device
ISDB-T	Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial
ISDB-Tb	Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial Brazilian
ISI	Interferencia Intersimbólica
LSR	Label Switching Router

MPEG	<i>Motion Picture Experts Group</i>
MPEG-1	<i>Motion Picture Experts Group version 1</i>
MPEG-2	<i>Motion Picture Experts Group versión 2</i>
MPEG-4	<i>Motion Picture Experts Group version 4</i>
MPLS	<i>MultiprotocolLabelSwitching</i>
OFDM	Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales.
OFDMA	Acceso Múltiple por División de Frecuencias Ortogonales.
OBSS	Sistema de Soporte de Negocios y Operación
PAT	<i>Program Allocation Table</i>
PES	Paquete de Stream Elemental
PCR	Programa de referencia de reloj.
PID	Identificador de Paquete.
PMT	<i>ProgramMapTable</i>
PS	Stream de Paquete
PSI	Información específica de programa.
QAM	Modulación en Amplitud de cuadratura
QoS	Calidad de Servicio.
QPSK	Modulación por Inversión de Fase de 4 niveles
RS	Reed – Solomon
SP	<i>Scattered Pilot</i>
TDD	Duplexación División por Tiempo
TM	Modo de transporte
TS	Transport Stream
TSDT	<i>Tabla de Descripción de Flujo de Transporte</i>
TDT	Television Digital Terrestre
TMCC	<i>Transmission and Multiplexing Configuration Control</i>
VLC	Codificación de longitud variable
VoD	Video sobre Demanda
VoIP	Voz sobre IP
VSB	Modulación de banda lateral simple Vestigial
WiMAX	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>

CAPÍTULO 1

1. Introducción

Los dos estándares de transmisión de video digital más utilizados hoy en día son el IPTV e ISDB-T. La Escuela Politécnica del Ejército ESPE cuenta con un laboratorio de Televisión Digital que permite conocer y analizar el desempeño de los dos estándares.

Existen tecnologías para la transmisión de video sobre IP (IPTV), el presente trabajo utiliza una red WiMAX como tecnología de transmisión, en conjunto con un servidor de IPTV. Para un análisis de desempeño se midió fundamentalmente parámetros como throughput, jitter y retardo. Así se realizó primero una simulación de la red WiMAX instalada en la ESPE, utilizando un software especializado (QUALNET 5.0), que permite analizar sistemas inalámbricos entre estas WiMAX, obteniendo resultados que luego serán comparados con los datos obtenidos en las pruebas reales de la red WiMAX-ESPE. Este análisis busca determinar si esta red sirve para brindar servicios de IPTV y la forma de optimizar la misma para que trabaje incluso en condiciones sin línea de vista (NLOS).

En la primera parte del trabajo se analizó la estructura de una red IPTV, el modelo de comunicaciones que utiliza la aplicación de IPTV. Incluyendo en la estructura del modelo de comunicaciones a capas como la codificación de video que utiliza MPEG-4, para la empaquetización de video que se divide la información del video en paquetes elementales, para luego pasar a la construcción del transport stream. Si se transmite video en tiempo real se utiliza una capa auxiliar llamada *Real Time Protocol* (RTP). Para la capa de transporte se utiliza TCP o UDP, dependiendo del tipo de video que se utiliza TCP o UDP, el uno se desempeña mejor que otro. Para la siguiente capa es la IP, se puede utilizar la versión IPv4yIPv6. Después la capa de enlace y finalizando con la capa física combinando con tecnologías como HFC, xDSL, FTTx, o res inalámbrica.

En una segunda parte se analizó el estándar Japonés-Brasileño de televisión Digital (*Integrated System Digital Broadcasting – Terrestrial*) adoptado por Ecuador en el año 2010. Para determinar el desempeño de un transmisor de ISDB-T se midió parámetros como ancho de banda de canal, exactitud de modulación, curvas estadísticas de potencia (CCDF) y la potencia de canal adyacente. Este trabajo presenta un análisis de dos transmisores, el primero es el transmisor de laboratorio y el segundo el del Canal del Estado ECTV. Como etapa previa al análisis, se hizo una simulación de las zonas de cobertura de los dos transmisores utilizando un software de redes radioeléctricas (SIRENET) que incluye un módulo de análisis ISDB-T. En el análisis se determinó la cobertura y la potencia de recepción de ambos transmisores.

Conociendo la cobertura de los transmisores, se analizó el desempeño utilizando un analizador de espectro que incluye un módulo de pruebas de ISDB-T que permite medir la exactitud de modulación, potencia de canal adyacente, entre otros. Finalmente, se compararon los resultados obtenidos del transmisor de laboratorio y el de ECTV obteniendo resultados como la tasa de error de Modulación, *Modulation Error Ratio* (MER) y *Error Vector Magnitud* (EVM), para medir el desempeño, los cuales se comprueba que se relacionan directamente con la energía de símbolo respecto a la densidad de potencia del ruido.

Por último se recomendarán parámetros para mejorar el desempeño de cada sistema.

A continuación se detalla el contenido del presente trabajo:

- ✓ Capítulo 2 presenta la base teórica de las dos tecnologías. Para el estándar ISDB-T se explica la capa física incluyendo tecnologías como OFDM, los tipos de modulación y los bloques que componen a un transmisor. En IPTV se explica el modelo de comunicación que se utiliza en una red WiMAX.
- ✓ Capítulo 3 muestra las simulaciones de la red WiMAX instalada en la ESPE para transmitir video sobre IP, las pruebas realizadas en la red simulada e implementada y se presenta el análisis de resultados. También incluye la simulación que determina la cobertura del transmisor del laboratorio la ESPE y

del transmisor de ECTV, además se presenta las pruebas realizadas a los transmisores y se analizan los resultados encontrados.

- ✓ Capítulo 4 se presenta las conclusiones de este trabajo.

CAPÍTULO 2

2. Características y parámetros de los Sistemas ISDB-Tb e IPTV

En este capítulo se detalla la base teórica del estándar ISDB-T, de los que se describirá las partes más importantes de dicho estándar como el ancho de banda, capa física, codificación, transmisión y los bloques que compone un transmisor de ISDB-T. También en este capítulo se describe el modelo de comunicaciones que utiliza una red IPTV, capas como la de RTP, IP, TCP, entre otras. También se explica la estructura de una red WiMAX para aplicaciones de IPTV.

2.1 SISTEMA ISDB-Tb

ESTÁNDARES DE TV DIGITAL.

Varios estándares de TDT se están adoptando en algunas regiones del mundo, pero existen tres principales *Digital Video Broadcasting* (DVB), *Advanced Television Systems Committee* (ATSC) e *Integrated Services Digital Broadcasting* (ISDB). La tabla 2.1 presenta un resumen de los parámetros de los tres estándares de TDT.

Tabla 2.1 Estándares de TV Digital

Estándar	Tipo Sistema	Video	Audio	Modulación	AB Canal	Velocidad (Mbps)	Países			
DVB	DVB-S	MPEG-2	MPEG 2/1 sonido digital	QPSK	8 MHz	38	Toda Europa, Australia, New Zelanda, Rusia, etc.			
	DVB-T			QPSK/QAM/OFDM		24 / 15 M				
	DVB-C			QAM		38				
ATSC	ATSC-T	MPEG-2	AC-3	8 VSB	6 MHz	19.28	Norte América, Sur Korea, Taiwán, México, Argentina			
	ATSC-C					38.57				
ISDB	ISDB-S	MPEG-2	MPEG-2	TC8PSK/QPSK/BPSK	34.5 MHz	52	Japón, Países de América del Sur con variaciones			
	ISDB-T					ACC		DQPSK/QAM	5.6 MHz	21.47 / 4.06 m
	ISDB-C								6 MHz	31.644

El estándar ISDB-Tb desarrollado por Brasil, se basa en el estándar de Japón, pero con algunos cambios importantes como el middleware y la codificación de audio y video. En la figura 2.1 se muestra un esquema de la Arquitectura del Estándar Brasileño, en azul, comparado con otros estándares [2].

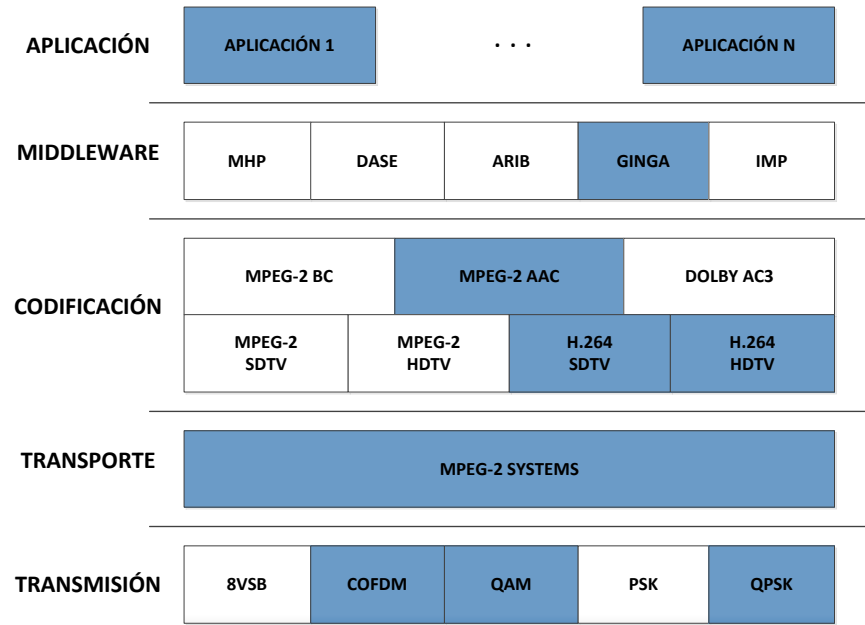


Figura 2. 1 Arquitectura de un Sistema ISDB-Tb [2]

2.1.1. Capa Física

La figura 2.2 muestra los componentes del sistema de transmisión de Televisión Digital Terrestre TDT.

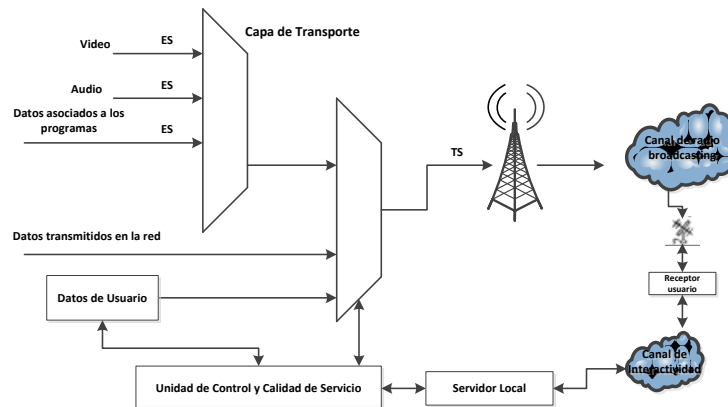


Figura 2. 2 Diagrama de Bloques de la Capa Física de TDT [2]

Dentro de la capa de transporte se encuentra la capa de MPEG-2 *transport stream*, que es la encargada de multiplexar toda la información de audio, video y datos para enviarlos en una sola trama.

La capa física cumple con las siguientes funciones:

- Soporta transmisiones de tramas de bits codificados en ambientes propensos a errores.
- Soporta multiplexación de varios programas en un *transport stream*.
- Soporta condiciones de acceso
- Administración de buffer para garantizar que los datos que ingresan no se pierdan.
- Soporta y maneja información privada de clientes.
- Capacidad para añadir y extraer programas de acuerdo a la programación local de TV [2].

2.1.1.1. Transmisión

La capa física es bastante flexible y está diseñada para brindar alta calidad en la transmisión de audio, video y datos, puede operar en diferentes configuraciones, tiene corrección de errores, utiliza entrelazadores (interleaving) en el dominio del tiempo y de la frecuencia, utiliza la modulación COFDM (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) y posibilita la utilización y configuración de tres capas A, B, C con diferente número de segmentos [7].

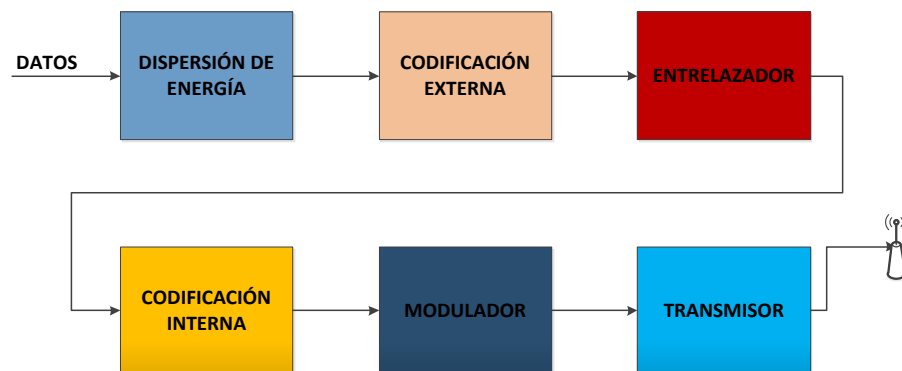


Figura 2. 3 Diagrama de Bloques de la Capa Física [7]

La figura 2.3 muestra el diagrama de bloques de un transmisor de TDT de cualquier estándar, la figura 2.4 muestra un diagrama de bloques de un transmisor para el estándar ISDB-T [7].

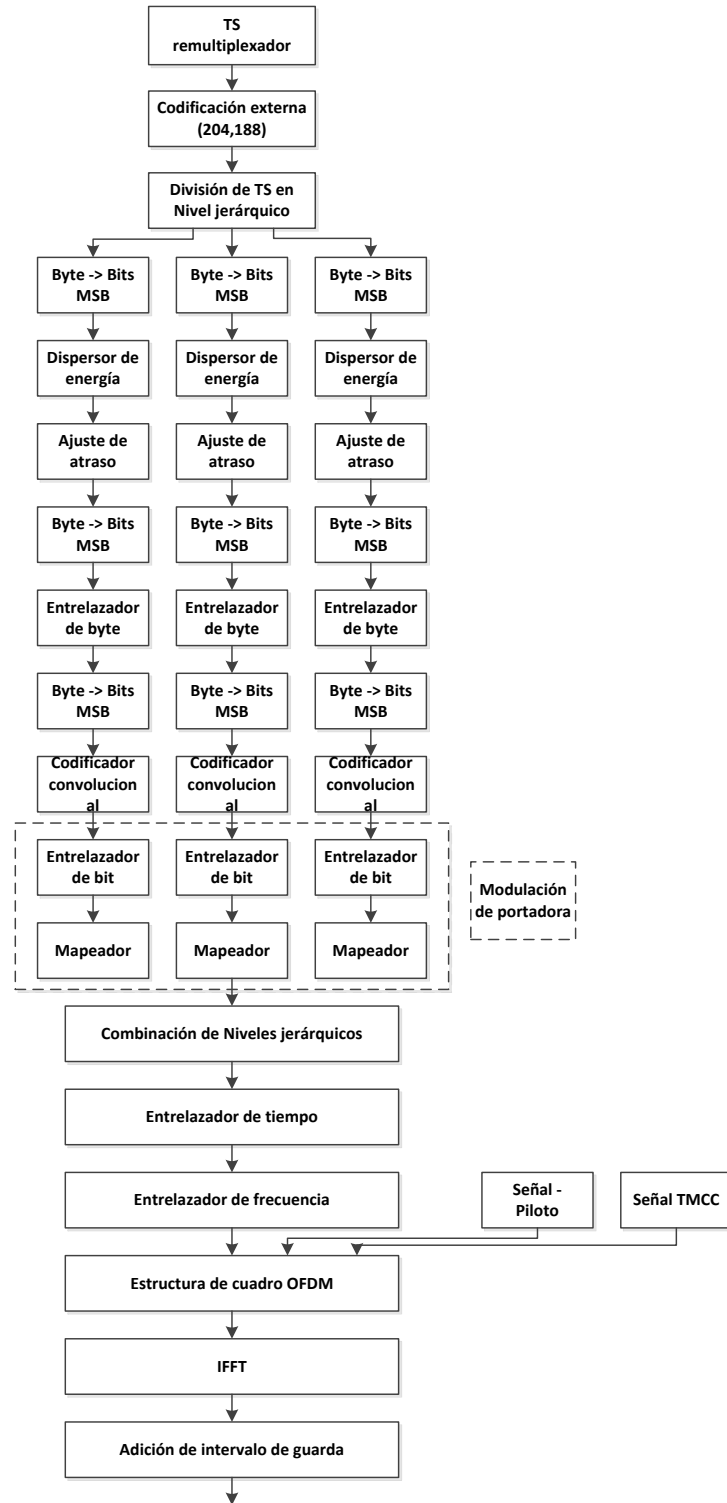


Figura 2. 4 Diagrama de Bloques de un Transmisor ISDB-T

A continuación se describen los parámetros más importantes del estándar ISDB-T y los componentes de un transmisor.

A. ANCHO DE BANDA

Para transmitir la señal de ISDB-T se utiliza un ancho de banda que puede ser de 6, 7 u 8 MHz, para el caso del Ecuador todos los canales que transmiten una señal ISDB-T deberán utilizar un ancho de banda de 6 MHz igual que un canal analógico.

B. MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA ORTOGONAL (OFDM)

ISDB-T utiliza la técnica de OFDM como esquema de transmisión. Las subportadoras forman un set de funciones que son ortogonales.

Esta ortogonalidad asegura que la interferencia intersimbólica en frecuencia de las subportadoras sea nula. La figura 2.5 muestra el diagrama de bloques del proceso de modulación. En la figura 2.6 se ilustra el efecto de la ortogonalidad en el dominio de la frecuencia. La ortogonalidad permite a la señal OFDM ocupar la banda más estrecha, la cual a su vez forma el ancho de banda total de 6 MHz.

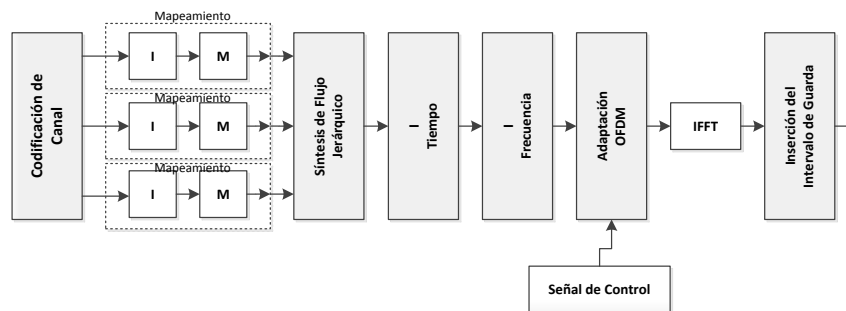


Figura 2. 5 Diagrama de Bloques del Proceso de Modulación

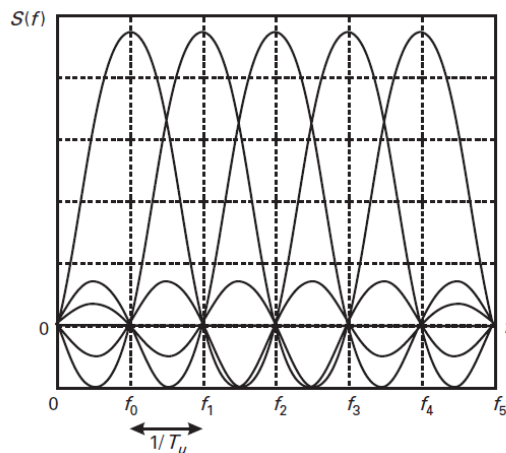


Figura 2. 6 Ortogonalidad entre Portadoras [2].

C. ESTRUCTURA DE CAPAS SEGMENTADA OFDM (BST-OFDM)

Es la versión segmentada de OFDM. El esquema BST-OFDM utiliza un esquema de frecuencias básicas llamadas segmentos, los cuales tienen una estructura de portadora común. La asignación de segmentos se muestra en la figura 2.7, cada segmento tiene un correspondiente ancho de banda de 1/14 del ancho de banda total de un canal de televisión terrestre [7].

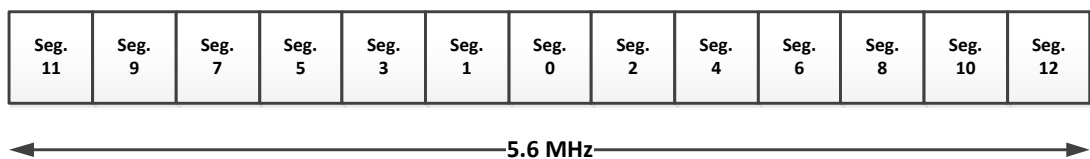


Figura 2. 7 Arreglo de los Segmentos en el Ancho de Banda del Canal

Trece segmentos están activos y uno sirve como separación hacia otros canales dejando segmentos de 214,3 kHz de separación a cada lado. Cada segmento tiene un ancho de banda de 428,6 kHz [7]. La principal característica de BST-OFDM es la flexibilidad en la configuración de segmentos, utilizando para cada segmento un esquema diferente de modulación.

D. CAPAS

Cada grupo de uno o más segmentos es conocido como capa. Este esquema es conocido como segmentación jerárquica y soporta hasta tres capas. Dependiendo de los requerimientos de la transmisión, una, dos o tres capas pueden ser utilizadas. Si la señal es transmitida utilizando solamente una capa, se emplea la capa A. Si la señal es transmitida utilizando dos capas se emplea la capa A y B. Si las tres capas son utilizadas para transmitir, la capa A es la del centro, la capa B la del medio y la capa C es la capa de exterior, como se muestra en la figura 2.7. La parcial recepción de servicios de los canales de transmisión es posible usando receptores de banda angosta tienen un ancho de banda tan bajo como un segmento OFDM. Esto es conocido como “OneSeg” y es referida a la recepción del segmento número 0.

E. MODOS

Existen tres modos de transmisión con diferentes intervalos de subportadoras para un rango de frecuencias de transmisión. En el modo 1, un segmento consiste de 108 subportadoras, mientras que en el modo 2 y 3 tienen 216 y 432 portadoras,

respectivamente. Tomando en cuenta los trece segmentos existe un total de portadoras en el modo 1 de 1404, mientras que en el modo 2 y 3 hay 2808 y 5616 portadoras. En la tabla 2. 2 se muestra el número de portadoras generadas y número de portadoras utilizadas en cada modo.

Tabla 2. 2 Número de Portadoras del Sistema

Modo	Número de Portadoras Generadas en el Sistema	Número de Portadoras utilizadas en el Sistema
1	2048	1404
2	4096	2808
3	8192	5616

2.1.1.2 Codificación de Canal

El codificador de canal está compuesto por dos códigos de canal, uno interno y el otro externo, para el externo se utiliza el RS (Reed – Solomon (204,188, t-8)), la función de este código externo es la de asignar códigos por bloques a grupos de 188 bytes compuestos por 1 byte de sincronización MPEG-2 y 187 bytes de cada paquete MPEG-2 [7] [10], teniendo como resultado palabras codificadas de 204 bytes, por lo tanto este código puede llegar a corregir hasta 8 bytes erróneos ocurridos en cada grupo de 204 [10].

El 204 es el número total de bytes del TSP (Transport Stream Packet) 188 bytes de información más 16 bytes de redundancia. En la figura 2.8 se muestra el diagrama de bloques de un codificador de canal RS.

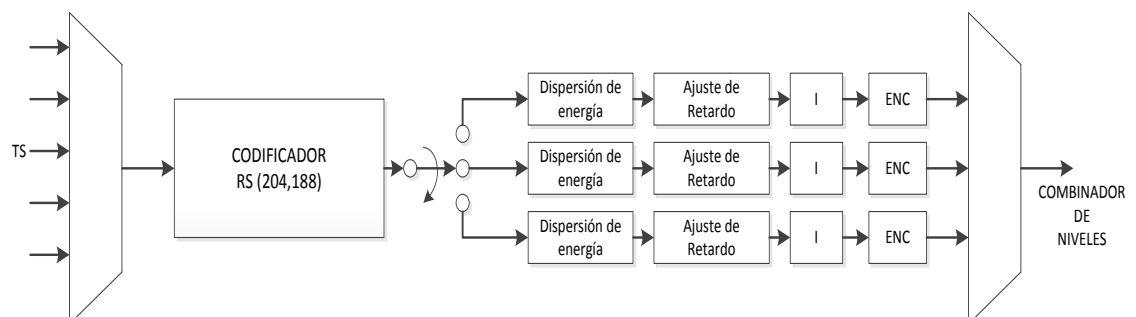


Figura 2. 8 Diagrama de Bloques Codificación de Canal [12].

2.1.1.3 Re-multiplexor

Es la primera etapa del sistema de transmisión, este es el responsable de recibir el flujo de datos y decidir correctamente en cuál de las tres capas jerárquicas debe ser transmitido un paquete [7].

El flujo de entrada puede ser un TS MPEG-2 (flujo formado por paquetes de 188 bytes) o por un BTS (flujo formado por paquetes de 204 bytes). Cada paquete antes de ser encaminado a su destino, pasa por el codificador externo RS [7].

2.1.1.4 Codificación Externa.

Antes de definir que es un código Reed Solomon, primero se debe hablar de que es un código cíclico. Los códigos cíclicos están entre las aplicaciones más prácticas en ingeniería. Los códigos cíclicos han sido utilizados como parte de muchos protocolos de comunicaciones. La preferencia del uso de los códigos cíclicos es por la estructura matemática, la cual permite una simplificación en la implementación de codificadores y decodificadores. Un formal tratamiento matemático de un q -ario código cíclico se basa en anillos de polinomios, de módulo $x^n - 1$, con coeficientes en el campo de Galois $GF(q)$ (campo que contiene finito número de elementos), en el cual n significa la longitud del bloque de código. Teniendo k dígitos de información y una distancia mínima de d . Las palabras de código de un código cíclico son múltiplos de un generador polinomial $g(x)$ bien conocido, de grado $n-k$. El generador polinomial es un factor de $x^n - 1$.

Por definición un código es cíclico cuando una palabra de código es invariante a una permutación cíclica, una permutación cíclica aplicada a una palabra de código da como resultado una palabra de código que pertenece a ese código.

(n, k, d) son utilizadas para describir un bloque de código donde n es la longitud, k el número de bits de información y d la longitud.

Reed-Solomon son códigos no binarios, definidos sobre un alfabeto q -ario por los parámetros:

$$n = q - 1, n - k = 2t, d = 2t + 1, \quad (1)$$

donde m y t son enteros y siendo t el número de errores que puede corregir y m el número de palabras de bit. El generador polinomial para un código RS es:

$$g(x) = (x - \alpha)(x - \alpha^2)(x - \alpha^3) \dots (x - \alpha^{2t}), \quad (2)$$

donde α es un elemento de orden n en el $GF(q)$. RS con $q = 2^r$ son utilizados en la práctica con q -ario símbolos representados como r -byte binarios. Donde $d=n-k+1$, RS son códigos de máxima distancia de separación. Son capaces de corregir errores aleatorios y errores de ráfaga. Estos códigos pueden corregir cualquier combinación de error de al menos t errores binarios en un bloque que contiene m dígitos binarios [2] [12].

2.1.1.5 Dispersión de Energía

La dispersión de energía se realiza mediante un operación de OR-Exclusiva bit a bit entre los datos que son entregados y una secuencia pseudo-aleatoria de orden quince. Esta operación garantiza una dispersión de energía de la señal en el dominio de la frecuencia, ya que convierte los datos en una salida con características aleatorias [7].

Cuando más concentrada en pequeñas bandas este la potencia de la señal, más susceptible será a las interferencias de banda estrecha o al desvanecimiento selectivo causado por los multitrayectos, la dispersión de energía ayuda a reducir la influencia de estas perturbaciones en la señal [7].

2.1.1.6 Ajuste de Retraso

Esta etapa tiene como objetivo hacer que el retraso insertado por el entrelazador sea idéntico entre las diferentes capas del sistema. Existen dos tipos de ajustes de retraso uno para bytes y otra para bits. La desventaja principal de la transmisión jerárquica basada en segmentos es que las diferencias entre parámetros de codificación de tres capas jerárquicas causan desalineamientos entre flujos de transporte de las tres capas, obligando a re-sincronizar los flujos de transporte con ligeros ajustes de retardo en cada capa en la entrada del entrelazador externo [7] [10].

2.1.1.7 Entrelazador Externo

El entrelazador o *Interleaving* usado en ISDB-Tb es de tipo convolucional y es compuesto por B ramas; cada rama posee un determinado número de retrasos y el número de retrasos por rama sigue un orden determinado M. La primera rama tiene 0 retrasos, la segunda tiene M retrasos, la tercera rama tiene 2 x M atrasos posee un número determinado de retrasos y así sucesivamente, hasta llegar a la última rama que tiene (B-1) x M retrasos [7] [10].

2.1.1.8 Código Interno

En el estándar ISDB-T, el sistema puede seleccionar una banda de códigos convolucionales de punteo, basados en un código Convolucional madre de tasa 1/2 con 64 estados. Los polinomios generadores para el código madre están dados por:

$$\bullet G1(X) = 1 + X + X^2 + X^3 + X^6, \quad (3)$$

$$\bullet G1(Y) = 1 + Y + Y^2 + Y^3 + Y^6, \quad (4)$$

En este codificador, los bits de datos serán codificados, siguiendo una secuencia de registradores. El codificador posee dos salidas, X & Y, definidas por las operaciones realizadas entre la salida de algunos registradores, en función de G1 y G2 [7].

2.1.1.9 Entrelazador de Bits

Los bits son agrupados al entrelazador con el mapeamiento seleccionado y cada uno de estos entrelazadores tienen una estructura, el bit más significativo es encaminado a la rama sin retraso [7].

La secuencia de bits del flujo de transporte de cada capa jerárquica es multiplexada en 2, 4 o 6 líneas paralelas según el tamaño de la constelación QAM usada para modular las sub-portadoras OFDM en aquella capa. El entrelazado consiste en retardar cada una de las 2, 4 o 6 líneas en forma individual entre 0 y 120 tiempos de bits. Un ajuste de retardo es además necesario en cada capa según el número M-ario de la modulación tal que las salidas de todas las líneas sean alimentadas sincronizadamente al modulador que corresponda [10].

2.1.1.10 Mapeamiento

La modulación convierte la información entregada por el codificador en ondas electromagnéticas. El mapeamiento se lo realiza de acuerdo al tipo de modulación escogido, ISDB-T emplea 3 tipos diferentes de modulaciones:

- a) **QPSK:** (*Quadrature Phase Shift Keying*). La secuencia de bits en serie procedentes del codificador interno se divide en dos canales paralelos llamados I y Q, la fase de la portadora transmite dos bits por símbolo [7] [10]. El diagrama de constelaciones de QPSK se muestra en la fig. 2.9.

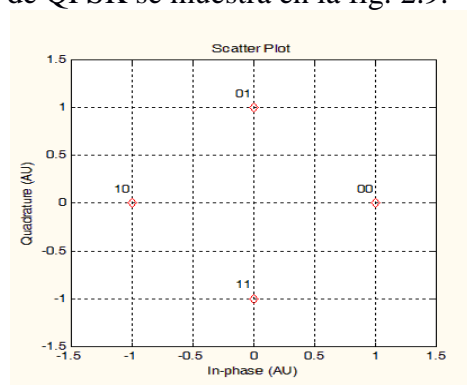


Figura 2. 9 Diagrama de Constelaciones de QPSK.

- b) **16QAM:** (*Quadrature Amplitude Modulation*). Está formado por 16 símbolos y utiliza tanto la fase como la amplitud de la portadora para transmitir 4 bits por símbolo [7] [10]. El diagrama de constelaciones se muestra en la fig. 2.10.

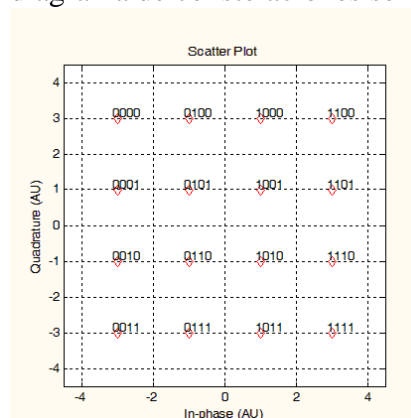


Figura 2. 10 Diagrama de Constelación 16-QAM

- c) **64QAM:** (*Quadrature Amplitude Modulation*). Al igual que la modulación 16 QAM, guarda información tanto en fase como en amplitud de su portadora, para transmitir 6 bits por símbolo [7] [10]. El diagrama de constelaciones se muestra en la fig. 2.11.

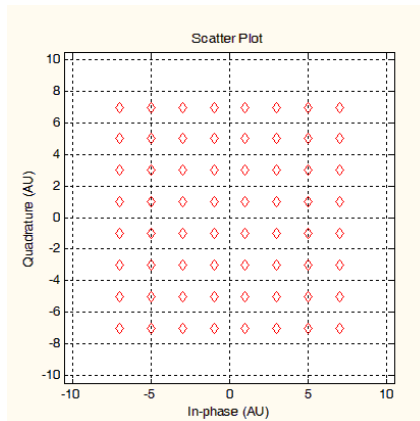


Figura 2. 11 Diagrama de Constelación 64-QAM

2.1.1.11 Combinador de capas Jerárquicas

La señal que recibe el Combinador está formada por una sucesión de símbolos OFDM, y cada uno de estos símbolos, está formado por un conjunto de portadoras de datos y portadoras de sistema. Cada símbolo OFDM es formado por subconjuntos de portadoras, llamados segmentos.

Los datos son organizados para formar los segmentos, los símbolos complejos resultantes del proceso de mapeamiento de las diferentes capas, son combinados para entregar los datos en orden necesario y generar los símbolos OFDM.

Cada una de las capas del transmisor es responsable por un número configurable de segmentos, esa configuración es válida siempre que el número de segmentos resultantes de la suma de las capas A, B, C sea igual a 13. La capa A es responsable de los primeros segmentos de los símbolos OFDM, seguidos por los segmentos de la capa B, y finalmente por los de la capa C [7] [10].

2.1.1.12 Entrelazador de Tiempo

El entrelazador temporal mezcla los símbolos mapeados a través de la inserción de diferentes atrasos en cada símbolo, de forma que una secuencia de datos no se transmita al mismo tiempo, aunque estén en portadoras diferentes. Esta acción es tomada para evitar que desvanecimientos en cascada como el ruido impulsivo dañen la señal [7] [10].

El valor asumido de atraso es definido al inicio de la transmisión, a través de la variable “T”, que asume algunos valores predeterminados, dependiendo del modo de

transmisión adoptado y del grado de protección escogido. Cuando mayor es el valor de “T”, más protegida estará la señal a ser transmitida, pero más atraso tendrá [7] [10].

2.1.1.13 Entrelazador de frecuencia

El entrelazador de frecuencia mezcla las portadoras de los segmentos, con el fin de dar un aspecto aleatorio al espectro de frecuencias, esto se hace para reducir los efectos destructivos del canal en la señal transmitida. Cuando ocurre un *fading* de multitrayecto este alcanza a portadoras de diferentes segmentos y no afecta a todas las portadoras de un mismo segmento [7] [10].

2.1.1.14 Señal OFDM

El sistema de transmisión utiliza segmentación de banda con la técnica OFDM. Y OFDM hace uso de múltiples portadoras ortogonales enviadas simultáneamente en el canal de transmisión, el estándar ISDB-T permite configurar la cantidad de portadoras que componen los símbolos OFDM transmitidos [7] [10].

Existen portadoras que no transportan datos útiles e información del sistema, estas portadoras que transportan información nula son necesarias para completar el total de las portadoras de la IFFT [7].

La Transformada Rápida de Fourier Inversa (IFFT) es utilizada en el transmisor para generar los símbolos y la Transformada Rápida de Fourier (FFT) es utilizada para detectar los mismos en el receptor [7].

2.1.1.15 Intervalo de Guarda

El tiempo de Guarda aumenta la robustez frente a los multitrayectos y a la interferencia intersimbólica (ISI); el intervalo de tiempo consiste en hacer una copia de la parte final de un símbolo OFDM, al inicio del mismo símbolo. El tiempo efectivo del símbolo (T_u) es obtenido a la salida del bloque de la IFFT. Parte de este símbolo es copiado para la generación del tiempo de guarda (Δ); entonces la duración del símbolo será ($T_u + \Delta$) [7].

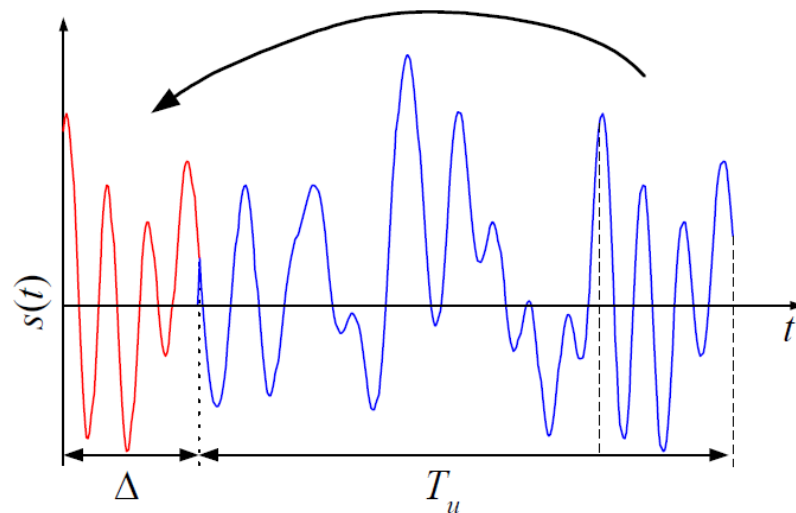


Figura 2. 12 Intervalo de Guarda

Se puede configurar la duración del intervalo de guarda seleccionando una fracción de tiempo de símbolo OFDM efectivo, las opciones en los transmisores son: 1/4, 1/8, 1/16, 1/32. La figura 2.12 muestra un ejemplo del intervalo de guarda.

El símbolo OFDM es formado por portadoras que transportan los datos a ser transmitidos, más portadoras especiales que transportan información adicional del sistema. Las portadoras adicionales son clasificadas en SP's (*ScatteredPilot*, Piloto dispersas), CP's (*ContinualPilot*, Piloto Continuas), AC's (*AuxiliarChannel*, Canal Auxiliar) y las TMCC's (*Transmission and Multiplexing Configuration Control*, Control de Configuración de Multiplexación y transmisión).

Una señal para ser transmitida debe ser organizada en cuadros, cada cuadro consiste de 204 símbolos OFDM.

2.1.1.16 TMCC's

La información que transportan las portadoras TMCC's incluyen los parámetros de transmisión del sistema, como el número de segmentos por capas, el esquema de modulación, la tasa de códigos y la profundidad del entrelazador temporal, además son utilizadas para sincronismo de los cuadros OFDM [7].

Existen 102 bits de información del sistema que transportan las configuraciones utilizadas en la recepción para que el receptor se configure de la misma manera y así decodificar la señal recibida [7].

2.1.2 Capacidad de Transmisión del Sistema

La capacidad del sistema varía de acuerdo a la configuración del transmisor, de acuerdo a los parámetros anteriormente descritos, como el código Convolutivo utilizado, el tiempo de guarda y los modos al escoger el número de portadoras. De acuerdo a la ecuación:

$$R_{bps} = \frac{47 r_c \log_2 M}{1088 (1 + T_g) \tau} , \quad (5)$$

donde r_c tasa de código Convolutivo, M número de símbolos de la modulación, T_g el intervalo de guarda y τ el periodo de muestreo, valores que se muestran en la tabla 2.3.

Tabla 2. 3 Tasa de Transmisión de ISDB-T para un segmento

Modulación de Portadora	Código Convolutivo	Tasa de Información (kbps)			
		Relación Intervalo de Guarda 1/4	Relación Intervalo de Guarda 1/8	Relación Intervalo de Guarda 1/16	Relación Intervalo de Guarda 1/32
DQPSK QPSK	1/2	280.85	312.06	330.42	340.43
	2/3	374.47	416.08	440.56	453.91
	3/4	421.28	468.09	495.63	510.65
	5/6	468.09	520.10	550.70	567.39
	7/8	491.50	546.11	578.23	595.76
16QAM	1/2	561.71	624.13	660.84	680.87
	2/3	748.95	832.17	881.12	907.82
	3/4	842.57	936.19	991.26	1021.30
	5/6	936.19	1040.21	1101.40	1134.78
	7/8	983.00	1092.22	1156.47	1191.52
64QAM	1/2	842.57	936.19	991.26	1021.30
	2/3	1123.43	1248.26	1321.68	1361.74
	3/4	1263.86	1404.29	1486.90	1531.95
	5/6	1404.29	1560.32	1652.11	1702.17
	7/8	1474.50	1638.34	1734.71	1787.28

2.2 SISTEMA IPTV

IPTV está definido como servicios multimedia como televisión / video / audio / texto / gráficos / entrega de datos sobre red basada en IP para proveer niveles requeridos de calidad de servicio y calidad de experiencia, seguridad, interactividad y confiabilidad [4].

Desde la perspectiva de un proveedor de servicios, IPTV abarca la adquisición, procesamiento, y entrega segura de contenido de video sobre una red basada en una red IP [4].

IPTV tiene una serie de características:

- Soporte para TV interactiva.
- *Time Shifting*
- Personalización.
- Requerimientos de ancho de banda reducido.
- Accesible en múltiples dispositivos.

PRINCIPALES APLICACIONES Y SERVICIOS

Experiencia visual mejorada a través de la calidad de las imágenes, calidad de sonido, cientos de nuevos canales, ángulos de cámara mejorados, y acceso mejorado a un rango de nuevos servicios de entretenimiento existente.

Mejor cobertura ambas señales analógicas y digitales se debilitan con la distancia hacia los usuarios. Sin embargo mientras la imagen analógica, lentamente empeora mientras más se aleja del transmisor, una imagen en un sistema digital va a permanecer perfecta hasta que la señal sea muy débil para el receptor.

Aumento de la Capacidad y Ofrece Nuevos Servicios usando técnicas digitales para transmitir televisión, proveedores de servicios pueden llevar más información que actualmente con sistemas analógicos. El ancho de banda en una transmisión digital puede ser utilizado para:

- TV digital (un canal)
- Video ondemand (VoD)
- Educación Interactiva
- Comercio TV Interactivo [4].

La figura 2.13 muestra la estructura básica de una red IPTV.

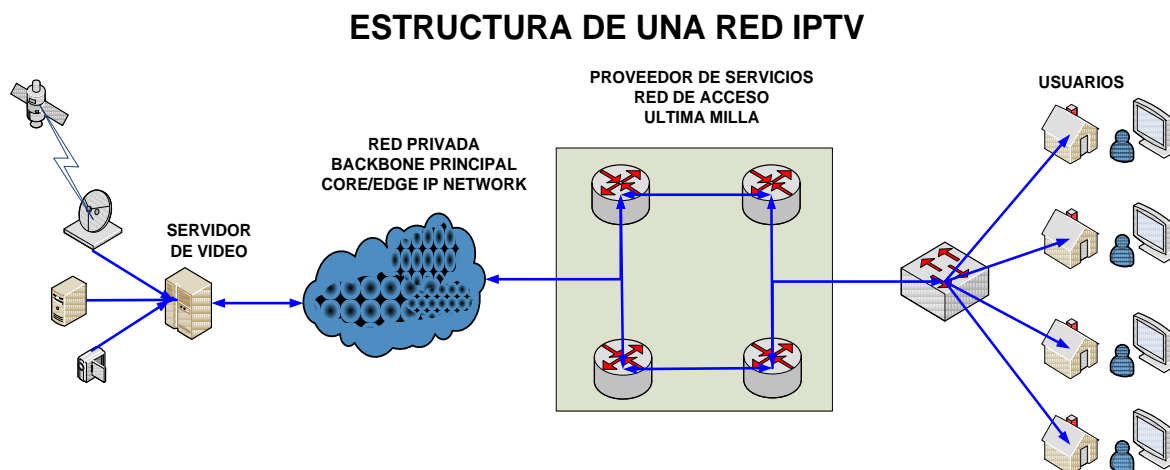


Figura 2. 13 Infraestructura de Red.

Video OnDemand (VoD)

IPTV provee una gran cantidad de video off-line. Con la capacidad de seleccionar, descargar y contenido de acuerdo a la conveniencia del usuario. El contenido que ofrece IPTV una cantidad de películas y programas televisivos grabados. La clave del VoD es consumir un gran ancho de banda [4].

IPTV DATA CENTER

Conocido como “Headend”, recibe el contenido desde varias fuentes incluyendo video local, contenido agregado, producción de contenido, cable terrestre y canales satelitales. Una vez recibido, diferentes componentes de hardware que van desde codificadores y servidores de video a IP routers y hardware de seguridad dedicados son utilizados para preparar el contenido de video para entregarlo sobre una red basada en IP. Adicionalmente, un sistema de administración de subscriptores es requerido para administrar perfiles y pagos de subscriptores IPTV [4].

RED DE DISTRIBUCIÓN DE BANDA ANCHA

La distribución de servicios IPTV requiere una conexión uno a uno. En el caso de un despliegue mayor de IPTV, el número de conexiones uno a uno incrementa significativamente la demanda en términos de ancho de banda en la infraestructura de red [4]. Infraestructura de TV por cable híbrida de fibra y cobre son particularmente adecuadas para la entrega de contenido IPTV [4].

IPTVCDs

Dispositivos de usuarios de IPTV de cristal líquido (IPTVCDs) son los principales componentes permitiendo el acceso a servicios IPTV. El IPTVCD conecta a la red de banda ancha y es responsable de decodificar y procesar los streams de video entrantes basados en IP. IPTVCDs soporta tecnologías avanzadas que minimiza o elimina completamente el efecto de los problemas de red cuando procesa contenido IPTV. Los más populares tipos de IPTVCDs son Gateway residenciales, IP set-top boxes, consolas de juego, y servidores de medios [4].

HOME NETWORK

Una red doméstica conecta un número de dispositivos digitales en un área geográfica pequeña. Esto mejora la comunicación y permite el intercambio de costosos recursos digitales entre los miembros de una familia. El propósito de la red doméstica es proveer acceso a información como voz, audio, datos y entretenimiento, entre diferentes dispositivos digitales ubicados en la casa [4].

2.2.1 Tecnologías de Red para la Distribución de Servicios IPTV

Uno de los retos más grandes que tiene IPTV es asignar y proveer suficiente ancho de banda para los usuarios de acuerdo a estos requerimientos existen seis diferentes tipos de redes de acceso de banda ancha para entregar servicios de IPTV:

- Red de Fibra.
- xDSL.
- Cable TV.
- Red de Satélites.
- Red inalámbrica de banda ancha fija.
- Internet.

A. IPTV sobre Red Inalámbrica

WiMAX FIJO

WiMAX (*WorldwideInteroperabilityforMicrowave Access*) es una tecnología de banda ancha IP de gran capacidad que es considerada por la industria una tecnología

parecida a Wi-Fi. Esta tecnología define un número de servicios que conforman el estándar IEEE 802.16 [3].

La figura 2.14 muestra una red WiMAX que provee servicios de IPTV a los usuarios tomando en cuenta dos zonas de cobertura y varios usuarios del servicio de video [3].

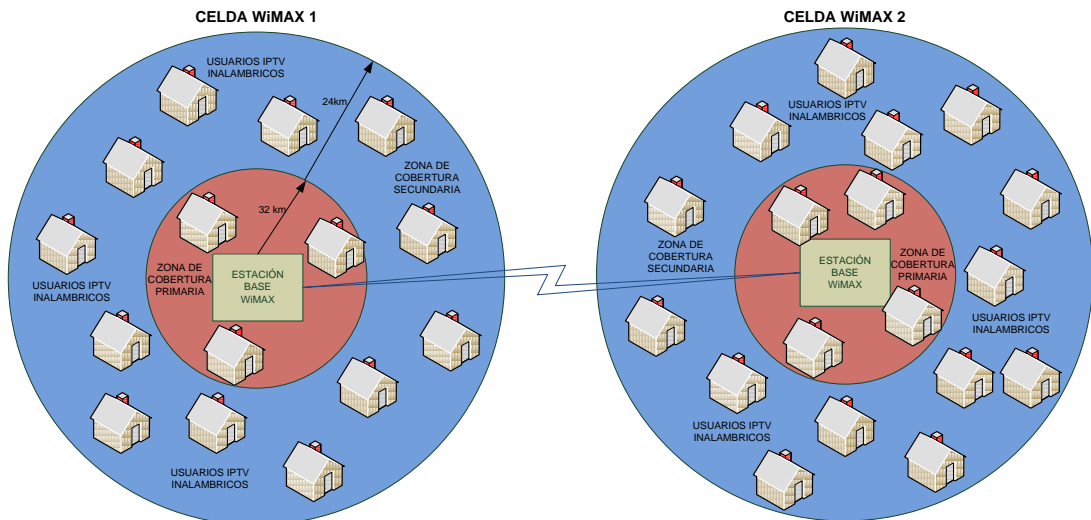


Figura 2.14 Esquema de una Red WiMAX para IPTV

Frecuencias de Operación: WiMAX opera con bandas de frecuencias licenciadas o no licenciadas dependiendo de las entidades de regulación de cada país. Las bandas licenciadas son las bandas preferidas ya que ofrecen aplicaciones de tiempo real como lo es IPTV, toda vez que existe menos probabilidad de que haya interferencia en estas bandas. Redes WiMAX fijas operan en frecuencias de 3400 a 3600 MHz [2]. Para las redes WiMAX existe otra banda de frecuencias que no es licenciada que es la 5700 A 5800 MHz.

Protocolos de Capa Física y MAC como se muestra en la figura 2.15 el modelo de comunicaciones 802.16 define tres capas: Física, MAC y de Transporte.

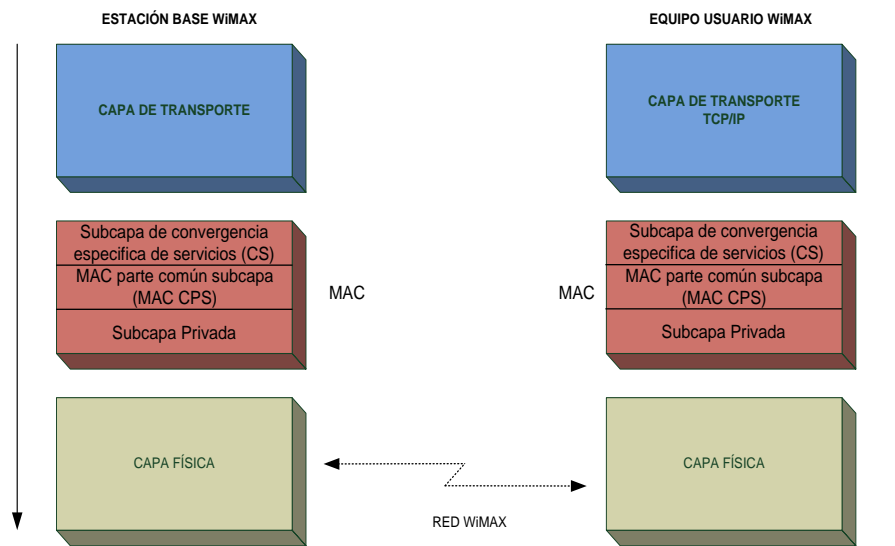


Figura 2. 15 Modelo de WiMAX

Propiedades de la Capa Física de WiMAX

Bajo el estándar WiMAX, los fabricantes de equipos deben escoger entre tres diferentes tipos de capa física cuando construyen sus productos:

1. *Capa Física de Portadora Simple* que es diseñado para aplicaciones con línea de vista.
2. *Multiplexación con División de Frecuencia Ortogonal (OFDM)* es la capa física más escogida por la mayoría de fabricantes de equipos WiMAX porque esta característica permite un mejor desempeño en el sistema frente a los problemas de propagación de *multicamino* y permite conexiones sin línea de vista.
3. *Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal (OFDMA)* es la opción más avanzada y es capaz de separar conexiones de usuarios en los canales de frecuencia de *upstream*, al igual que la anterior también permite conexiones sin línea de vista y usuarios móviles.

Propiedades de Capa MAC de WiMAX

Las propiedades de la capa MAC de WiMAX están subdivididas primeramente en tres sub capas:

1. Subcapa de Convergencia de Servicios Específicos (CS) el principal propósito de esta subcapa es ser la interface entre las capas altas del modelo de comunicación WiMAX.
2. Subcapa parte común MAC (MAC CPS) esta subcapa toma especial cuidado de las funcionalidades del núcleo MAC, como seguridad, administración de conexiones y el acceso a la capa física.
3. Subcapa Privada, esta subcapa controla y administra la autenticación de los usuarios de IPTV y la encriptación del contenido de video.

Propiedades de la Capa de Transporte WiMAX

Se utiliza el estándar TCP/IP en la capa de red y transporte para asegurar la entrega de servicios IPTV.

Rangos de Transmisión: las topologías geográficas combinadas con otros factores como las especificaciones de equipos y las condiciones ambientales pueden tener un impacto en la distancia entre los usuarios del servicio de IPTV y las radios base WiMAX, posee una velocidad máxima teórica de 60 Mbps con un área de cobertura de 6 km hasta 10 km, parámetros que varían de acuerdo a la red y a los fabricantes. Una de las características más importantes en WiMAX es que se puede trabajar con un buen desempeño con línea de vista (LoS) o sin línea de vista (NLOS).

WiMAX MÓVIL

La IEEE 802.16 no puede ser utilizada para proveer servicios de banda ancha en ambientes móviles. Por tal motivo se desarrolló el estándar IEEE 802.16e. Dicho estándar opera en bandas licenciadas de 2.5, 3.3 y 3.4 a 3.8 GHz. WiMAX Móvil incorpora un número de características importantes que son necesarias para transportar servicios de IPTV y aplicaciones:

- La tecnología soporta velocidades pico de datos de alrededor de 32 – 46 Mbps. Este tipo de velocidad si se las utilizan correctamente permiten entregar contenido comprimido de alta definición basado en IP para dispositivos móviles.

- Utiliza tecnologías como OFDMA y optimiza los cambios de celda permitiendo el acceso de canales de TV *multicast* y *broadcast* a usuarios IPTV en zonas de cobertura que son propensas a transmisiones *multiplath*.
- Integrado con subsistemas multimedia IP (IMS), facilitando la interconexión entre aplicaciones IPTV y otros servicios basados en IP como internet de alta velocidad y VoIP.
- WiMAX Móvil provee soporte mecanismos para calidad de servicio (QoS), los cuales son beneficiosos para aplicaciones en tiempo real como IPTV.

2.2.2 Factores Asociados al Despliegue de Redes IPTV

A. Dimensionamiento de Red

Para soportar el transporte de video, las redes de distribución IPTV necesitan ofrecer gran capacidad de ancho de banda. La cantidad de ancho de banda requerida para transmitir servicios de IPTV es generalmente para canales de definición estándar hasta 4 Mbps, para canales de alta definición hasta 8 Mbps llegando un total de 20 Mbps para soportar VoIP y acceso a servicios de Internet. El requerimiento total de ancho de banda para implementar servicios de IPTV depende de los siguientes factores, [3]:

- El número de canales multicast que se ofrece es una simple copia que se envía desde el servidor IPTV en la red de distribución. Una vez que el canal es transmitido (*streamed*). Una vez que la información es codificada sobre la infraestructura de red el proceso *multicast* maneja el copiado de los canales y enruta a los suscriptores IPTV de manera individual. Si se utiliza H.264 para comprimir el canal, esto generalmente traslada a un requerimiento de ancho de banda de al menos 2 Mbps por cada canal *broadcast*. En un escenario donde al menos un suscriptor tiene acceso a un canal, donde la red de distribución necesitara un total de ancho de banda de 200 Mbps, si se tiene 100 canales en total, [3].

- Para dimensionar la red se complica aún más al añadir aplicaciones como IP bajo demanda (IP-VoD). Este tipo de aplicaciones utilizan el mecanismo de transporte *unicast* para proveer comunicaciones entre el dispositivo del cliente IPTV y el servidor de VoD. Este servicio consume una gran cantidad de ancho de banda en la red y la misma necesita acomodar este tipo de tráfico en la red [3].

B. Confiabilidad

La infraestructura de red necesita confianza en caso de falla. Se utilizan enlaces de *backup* para proveer confiabilidad si es que existe una falla [3].

C. Rápida capacidad de respuesta

La red necesita soportar el menor tiempo posible en el cambio de canal durante un programa de TV [2].

D. Rendimiento predecible

Los operadores de IPTV deben tener en cuenta el tipo de tráfico que cursa la red y los problemas que existen en la red para solventarlos, sobre todo con aplicaciones con velocidad de bit variable y los programas en tiempo real [3].

E. Nivel de QoS

Debido al hecho de que la mayoría de proveedores de IPTV operan sobre redes de banda ancha privadas, es aconsejable implementar políticas de QoS cuando el contenido entregado de video es pagado por los usuarios. Un sistema con calidad de servicio asegura la velocidad de bit del contenido de video y disminuye la probabilidad de errores en grandes distancias de transmisión. Garantizando los proveedores servicios como VoD e IP multicast [3].

2.2.3 Empaquetización y Encapsulación de Video

La empaquetización de contenido de video involucra insertar y organizar datos de video en paquetes individuales. El termino encapsulación es utilizado para describir el proceso de formar contenido de video en datagramas. Estos procesos sirven de gran ayuda para entender un *framework* llamado modelo de comunicaciones de IPTV (IPTVCM).

A. Modelo de Comunicaciones de IPTV (IPTVCM)

Está compuesto de siete capas que se muestran en la fig. 2.16:

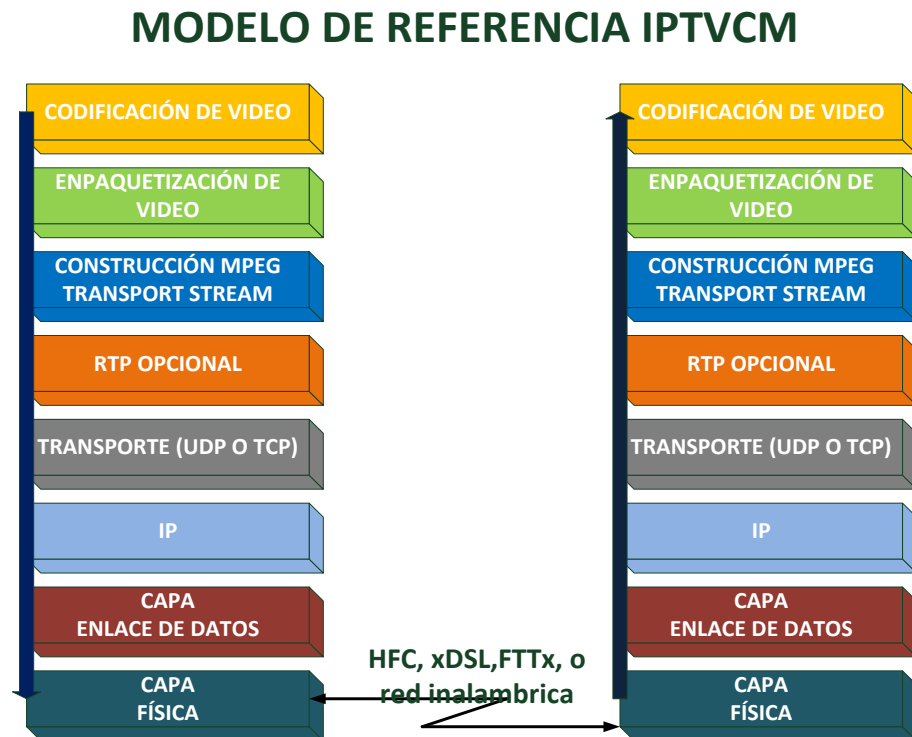


Figura 2. 16 Modelo de Comunicaciones IPTV

Las siete capas y en algunos casos ocho pueden ser clasificadas en dos categorías: capas superiores y capas inferiores. Las capas superiores se preocupan de aplicaciones específicas de IPTV y formato de archivos, y las capas bajas del modelo se encargan del transporte de contenido.

B. IPTVCM y Transporte de Contenido MPEG

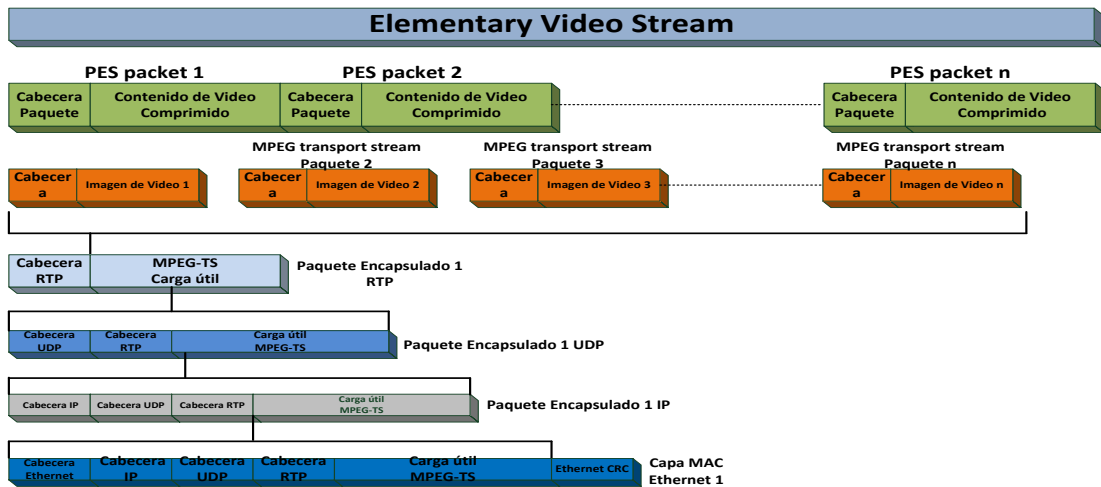


Figura 2. 17 Capas de Encapsulamiento IPTVCM, [3]

La figura 2.17 muestra en detalle a que procesos se involucra cuando se comprime video en un sistema IPTV [3].

Al ingresar los datos de video a la red IP codificado con H.264, se utiliza una trama de video elemental, esta capa después es dividida en paquetes de trama elemental, agregando a cada paquete una cabecera y comprimiendo el contenido de video, para que esta pueda pasar a la capa de encapsulamiento MPEG-2, en esta capa se divide en paquetes de transporte TS, la cual lleva la información de voz, video y datos. Si existe una aplicación en tiempo real se utiliza la capa de Protocolo de Tiempo Real (RTP), la cual añade una cabecera y una carga útil para luego llamarse paquete RTP. La siguiente capa es la de transporte y se puede utilizar dos tipos de protocolo el UDP y el TCP, la mayoría de aplicaciones de IPTV utilizan UDP. Después sigue la capa IP para luego terminar con la capa MAC de Ethernet.

C. Capa de Transporte

Para la capa de transporte la entrada es el flujo de datos RTP del modelo IPTVCM. Existe la posibilidad de encapsular paquetes MPEG-TS directamente en la carga útil de la capa de transporte, evitando efectivamente la capa RTP [3].

La capa de transporte ha sido diseñada para esconder las complejidades de la estructura de red desde los procesos que involucran las capas superiores del modelo

IPTVCM. Los estándares en esta capa proveen confiabilidad e integridad en el enlace de comunicaciones extremo a extremo. Si el contenido de video no es entregado correctamente en el IPTV, la capa de transporte es capaz de iniciar la retransmisión [3].

Para eliminar los errores que ocurren en las otras capas TCP utiliza un sistema secuencial de numeración para permitir que los dispositivos retransmitan datos de video que se han perdido o descartados. El sistema secuencial de numeración es implementado en la estructura del paquete a través del uso de dos campos de 32 bits. El primer campo contiene el número de secuencia del dato en el paquete y el segundo campo contiene el valor del siguiente número de secuencia que el servidor de video está esperando recibir desde el IPTVCD [3].

Además de disminuir los errores que pueden ocurrir durante la transmisión de datos de video sobre una red de banda ancha IP, TCP puede controlar el flujo de datos que atraviesa la red utilizando un campo de tamaño de ventana conjuntamente con un algoritmo de ventana deslizante. El valor en este campo determina el número de bytes a transmitir en el flujo de datos IPTV tal como se muestra en la fig. 2.18 [3].

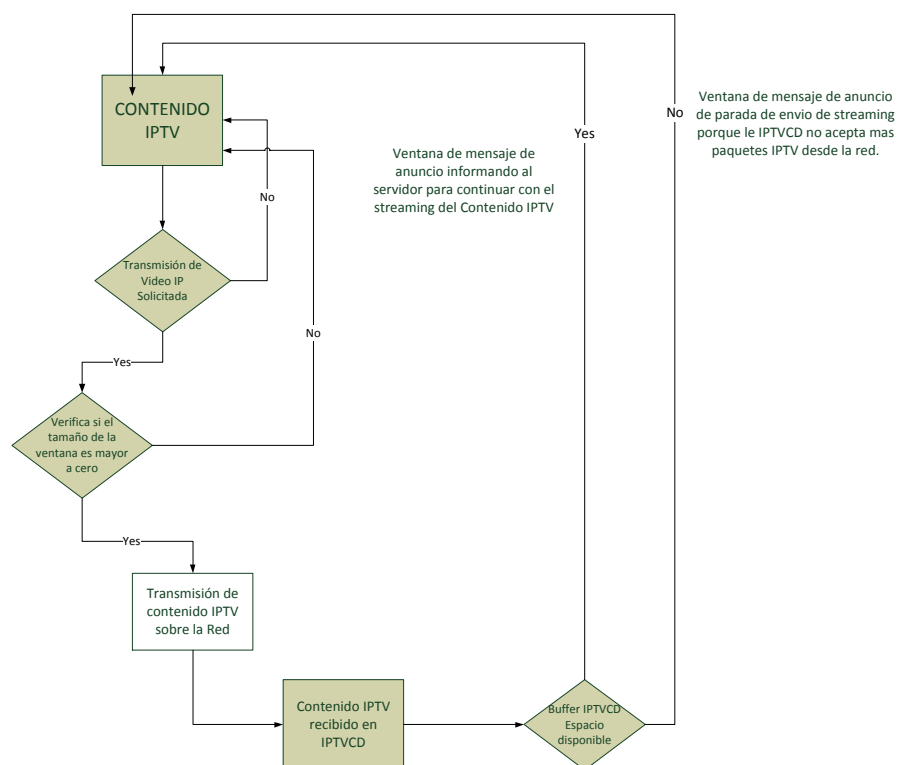


Figura 2. 18 Proceso de decisión TCP del Control de Flujo [3]

En un ambiente IPTV el valor del campo del tamaño de la ventana equivale al espacio de almacenamiento de los buffers en el IPTVCD menos la cantidad de contenido de video que se encuentra en el buffer en esos instantes. El valor de este campo se mantiene actualizado mediante mensajes recibidos desde el IPTVCD llamados ventana de anuncios [3].

Si el valor de este campo se encuentra en cero, entonces el IPTVCD en la recepción no consigue procesar los datos IPTV a una velocidad suficientemente alta. Cuando esto sucede TCP informa al servidor que detenga o disminuya la velocidad de envío de datos al IPTVCD. Asegurando que el receptor se sobre cargue de información evitando eliminar o descartar paquetes en el suscriptor [3].

Una vez que el IPTVCD tiene datos de video en el buffer, el servidor de IPTV es informado y el tamaño de la ventana es aumentado y el servidor de video comienza a transmitir el contenido nuevamente [3].

Una conexión típica de IPTV tiene una dirección IP asociada al puerto, entonces una típica conexión va a tener cuatro identificadores como:

- Dirección IP del servidor de video
- Numero de puerto del servidor de video
- Dirección IP del IPTVCD
- Numero de puerto del IPTVCD [3]

Combinando la dirección IP con un puerto permite establecer la conexión entre el servidor de video y el IPTVCD. Un puerto está definido como un número de 16 bits identificando una dirección para enviar la información entre las capas de la red. Los puertos se clasifican en dos tipos:

- Puertos bien conocidos (wellknownports) con valores entre 1 y 1023, usados por los servidores.
- Puertos efímeros que son establecidos por el IPTVCD en una base cuando el IPTVCD se comunica con el servidor. Los valores asignados son entre 1024 hasta 65535.

Los sockets son otro elemento importante del modelo de comunicación de IPTV, un socket es una interface de programación aplicada (API) y se utiliza para facilitar el proceso de comunicación entre dispositivos IP, un socket está conformado por la combinación de la dirección IP con el número de puerto [3].

El TCP segmenta el stream IPTV construido, segmentándolo en dos, una es la cabecera en donde lleva información de las rutas desde el destino hacia el usuario, el número de secuencia y además un checksum y el otro segmento es el contenido de video. Una vez que llega la información al destino, el IPTVCD se encarga de organizar nuevamente el stream IPTV [3].

En la tabla 2.4 se describe la estructura de TCP basado en un segmento de video.

Tabla 2. 4 Estructura de TCP Basado en un segmento de Video IP

Nombre del Campo	Descripción
Puerto Origen	Numero de puerto origen de envío de la aplicación IPTV.
Puerto destino	Campo de 16 bits utilizado para identificar el número de puerto destino IPTVCD.
Número de secuencia	Identifica la secuencia del segmento TCP.
Número de <i>Acknowledgment</i>	Este campo contiene el número de secuencia que se espera recibir.
Offset de Datos	Indica en donde comienza los datos de video.
Reservado	Reservado para usos futuros.
Bits de control	Este campo incluye 6 bits de control: URG: Puntero Urgente campo importante ACK: Reconocimiento campo importante PSH: Función presionar RST: Reset la conexión SYN: Número de Secuencia de Sincronismo FIN: No existen más datos por enviar.
Ventana	Tamaño de la ventana para enviar datos entre ack.
Checksum	Detección de errores simple, utilizado para proteger los datos que se envían a la red. Si existe una diferencia entre la enviada y la calculada localmente hay una petición de reenvío del paquete.
Puntero Urgente	Este campo es interpretado si el puntero urgente está activado.
Opciones y Padding	Disponible en múltiplos de 8 bits. Este campo determinara la longitud total del segmento TCP.

También se utiliza UDP como protocolo para enviar contenido de video en una red de banda ancha, entregando una calidad de video aceptable en broadcast a los IPTVCD. UDP es un protocolo orientado a no conexión. UDP utiliza datagramas para transportar el contenido de video sobre la red. En la figura 2.19 muestra el datagrama UDP para IPTV [3].

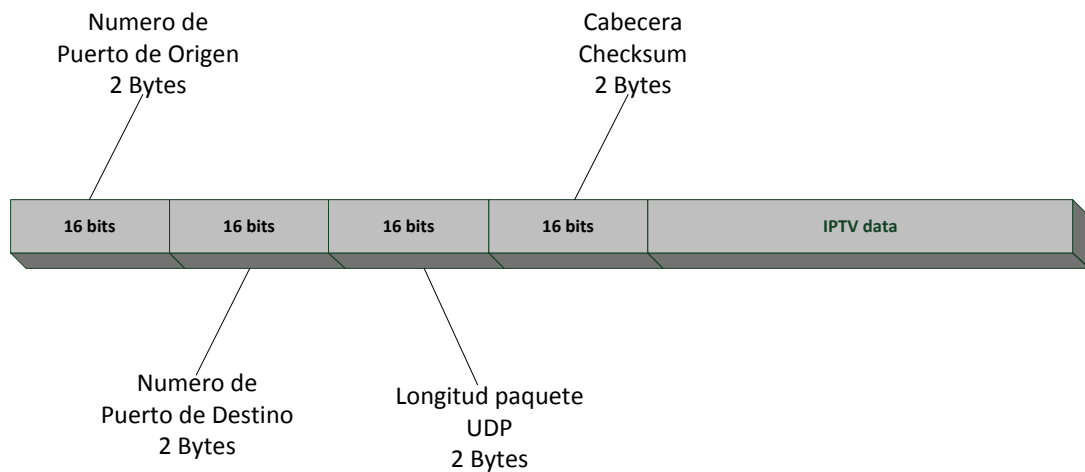


Figura 2. 19 Formato típico de un datagrama UDP basado en IPTV, [3].

D. Capa IP

Su principal objetivo es mover datos a través de la red hacia diferentes destinos con varias conexiones independientes de la red. Esta capa envía datos sobre específicas rutas hacia los destinos. IP provee el paquete de servicios básicos de entrega para todos los servicios IP. Los servicios varían desde sistemas unicast a sistemas más complejos multicast que envía un stream de video hacia varios IPTVCD. IP utiliza un mecanismo llamado *besteffort* para la entrega de datos el cual no garantiza la entrega de datos a través de la red [3].

Paquete IP de Video

Un paquete IP de video es una unidad que contiene los datos de video actual y los detalles de cómo obtener el video desde el servidor IPTV hacia el IPTVCD. En la figura 2.20 se muestra los principales elementos de un paquete IP de video [3].

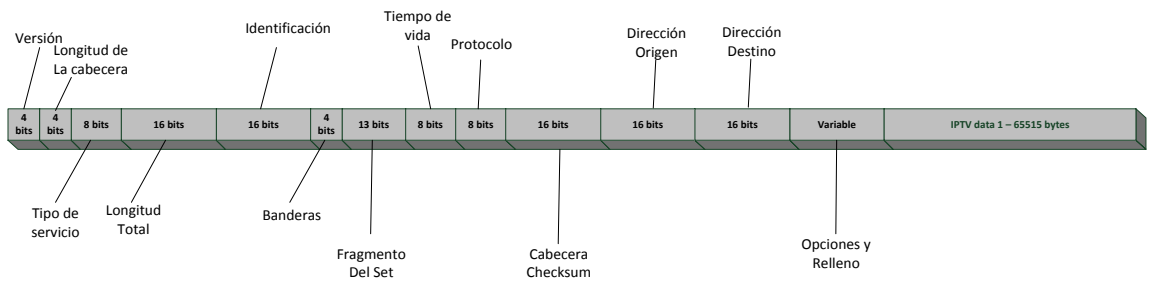


Figura 2. 20 Formato IPv4 para aplicaciones de video [3]

E. Capa Física

Esta capa se relaciona con los tópicos que se deben tomar en cuenta para transmitir bits sobre la red. Se preocupa de la obtención de datos a través de un tipo específico de red física. Definiendo las especificaciones de estructura, mecánica y eléctrica para utilizar un tipo determinado de medio de transmisión [3].

2.3 Dispositivos y Componentes de un Sistema ISDB-T eIPTV

La figura 2.21 muestra los dispositivos que componen un sistema de TV multicast y video bajo demanda en una red IP [3].

2.3.1. Integrated Receiver Devices (IRDs)

Estos equipos digitales son utilizados para recibir video de diferentes tipos de redes como televisión terrestre, TV satelital, etc.

2.3.2. Codificadores en Tiempo Real

Para un Sistema de Transmisión de video broadcasting son fundamentales los sistemas de compresión quienes entregan video y audio de alta calidad a los usuarios utilizando una mínima cantidad de ancho de banda. El principal objetivo del sistema de compresión es minimizar la cantidad de almacenamiento de información manteniendo la calidad en los streams de video y audio. El sistema de compresión está compuesto por encoders en tiempo real utilizados para comprimir la información de audio, video y datos.

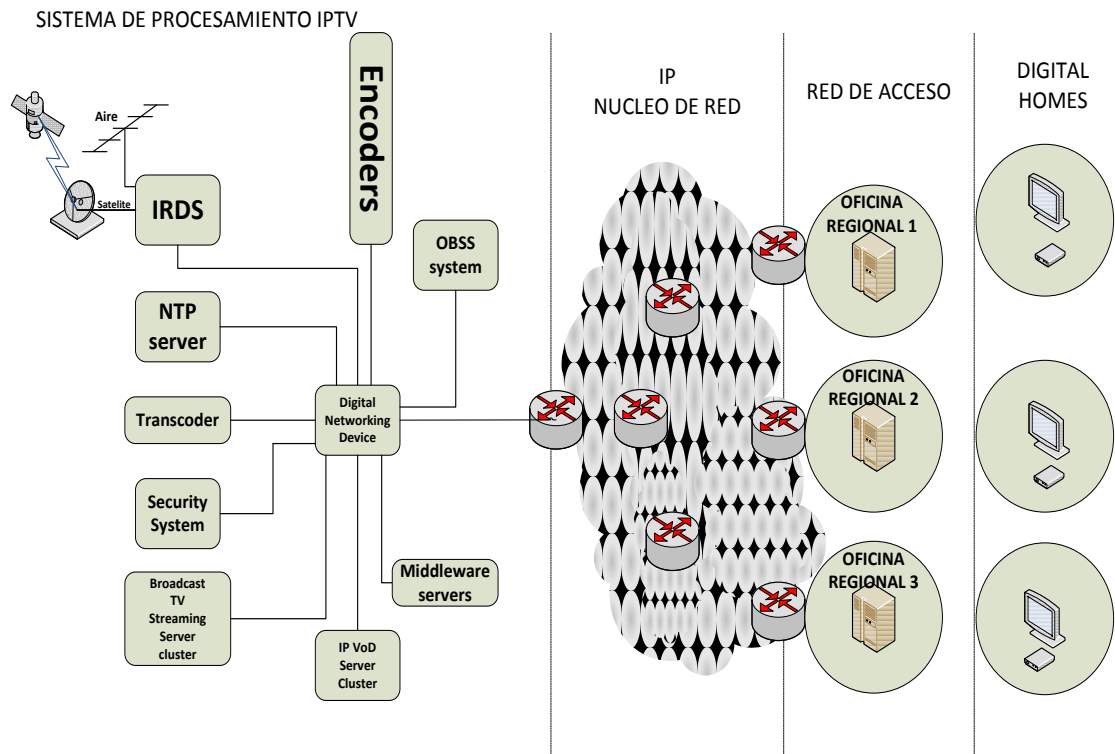


Figura 2. 21 Dispositivos de un Sistema IPTV [3]

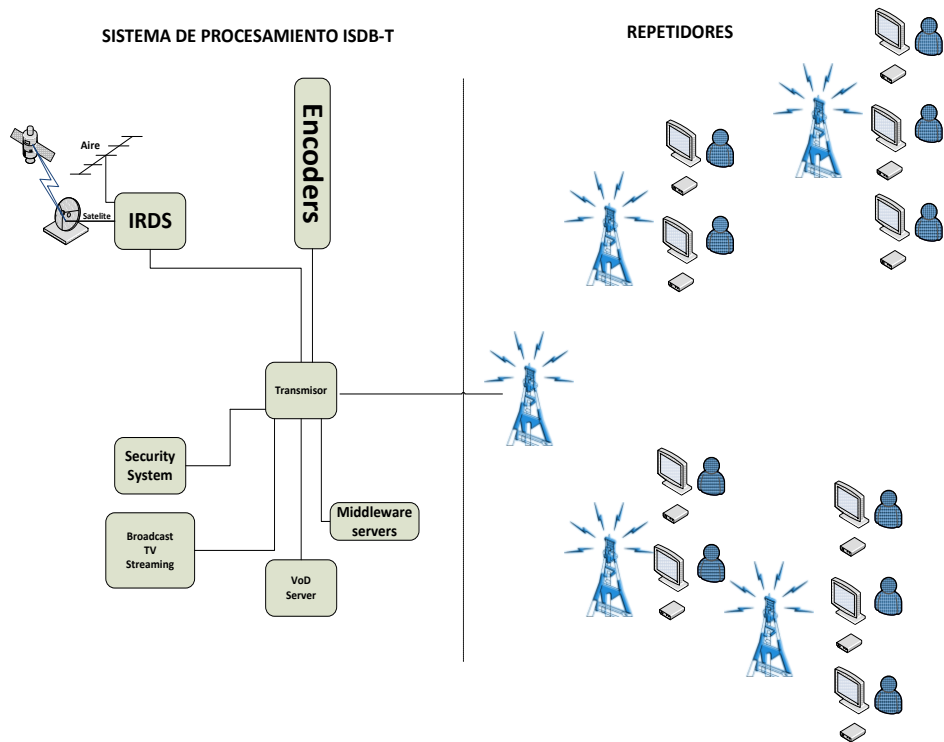


Figura 2. 22 Dispositivos de un Sistema ISDB-T

Los encoders digitales permiten enviar varios contenidos de video de alta calidad sobre el mismo ancho de banda utilizado al enviar un programa analógico. Una vez comprimido el stream de video es transmitido [3].

2.3.3. Servidores de Broadcasting de Streaming TV

Son configurados en grupos y se encargan de transmitir el contenido de video en vivo [3].

2.3.4. Sistema Transcoding

Depende de dos factores:

- Formato del contenido de video del origen.
- El estándar de compresión implementado en la red.

Estos dispositivos son utilizados para convertir *streams* MPEG-2, interface digital serial no comprimido (SDI), o incluso video analógico a otro tipo de formato como H.264/AVC. Además puede realizar ajustes en la velocidad de transmisión de las tramas de video [3].

2.3.5. Sistema de Soporte de Negocios y Operación (OBSS)

También conocidos como Sistema de Administración de abonado, es utilizado conjuntamente con otros elementos de red para activar, plasmar y proveer servicios, en tiempo real para cumplir requerimientos de los usuarios [3].

La información procesada por OBSS durante la entrega de un nuevo servicio puede incluir:

- Nombre y dirección de los suscriptores
- Detalles de la facturación y pago
- Programas requeridos (canales).
- VoD activos requeridos

- Uso de Ancho de banda requerido para proveer el nuevo servicio, para el caso de IPTV.
- Tiempo deseado de los Suscriptores para la instalación y provisión de nuevos servicios en el caso de IPTV.

Puede incluir funcionalidades administrativas como:

- Generar peticiones de provisión para los grupos de ingeniería e instalación.
- Reunión de la información utilizada asociada con los tipos particulares de servicios.
- Monitoreo del estatus de la provisión de servicios.
- Almacenar en una base de datos de hardware y software recursos propios o arrendados por el proveedor de servicios.
- Gestión y soporte de los contenidos del proveedor.
- Gestión de cuentas, perfiles y facturación.

Entre las funciones más importantes.

2.3.6. Sistema CRM

La utilización de un CustomRelationship Management (CRM) provee a los operadores de una visibilidad de las ventas de servicios a los suscriptores.

2.3.7. Sistema de Seguridad

De la salida del sistema de codificación de video se ingresa a un bloque llamado sistema de seguridad para la protección de contenido. El propósito de este sistema es restringir el acceso a suscriptores y proteger contra robo de contenido. El sistema de seguridad consiste de dos componentes. Acceso Condicional (CA) y Gestión de Derechos Digitales (DRM) [3].

2.3.8. Servidores de Aplicaciones de Video bajo Demanda

Este tipo de servidores guarda y oculta los archivos de VoD. Son generalmente conectados en grupo, con redundancia en caso de que se presente una falla o exista corte de servicio. Los servidores VoD funcionan con un software de aplicación, el cual soporta la gestión del VoD y diferentes tipos de datos multimedia [3].

2.3.9. Cabecera Middleware y Servidores De Aplicación

El middleware se divide en dos categorías: cliente y servidor. El servidor se implementa en varios servidores de aplicación que corren en la data center o transmisor. Los servidores de aplicación y el Middleware realizan las siguientes funciones:

- Interactuar entre el OBSS y el Sistema CA (Conditional Access)
- Ayudar a proveer a nuevos suscriptores el servicio, facturación y gestión del video.
- Software de aplicación para Hosting, con interface de cliente embebida en dispositivos de acceso.
- Soportar las interfaces de usuario para multicast IPTV y servicios bajo demanda, ISDB-Tb.

Middleware del cliente reside en el set top box y se utiliza para aislar los programas de aplicación de los detalles en las cabeceras de la señal en el sistema.

2.3.10. Servidor de Tiempo de Red

Debido a varios tipos de reloj que existen en el sistema y en la red, diferencias entre los mismos, ocurriendo variaciones y problemas como Jitter o Retardos, para evitar estos problemas se utiliza Servidores de Tiempo de Red.

2.3.11. Infraestructura de Conmutación

El tamaño y complejidad de los equipos utilizados en la conmutación va a depender de cuantas señales de video y audio se van a transportar o transmitir. El

utilizar un mismo protocolo para transportar el contenido ayuda a mejorar el desempeño del sistema.

2.3.12. Red de Distribución

La Red de Distribución consiste de dos partes:

1. Núcleo que es responsable del transporte de todo el contenido de video, además del tráfico generado por los servicios triple play.
2. Acceso o última milla que utiliza un arreglo de tecnologías como fijas e inalámbricas para dotar del servicio IPTV o ISDB-T a los usuarios.

2.3.13 IPTVCD o Set top Box

Que significa, Equipo de Usuario de ISDB-T o IPTV. Definido como el hardware donde termina una conexión. Un IPTVCD puede ser una PC, una consola de juego, gateways residenciales y un set-top boxes.

CAPÍTULO 3

Estudio y Análisis de los Sistemas IPTV e ISDB-Tb

En este capítulo se realizara el estudio y análisis de los dos sistemas, que incluye la simulación del transmisor de laboratorio de la ESPE y ECTV para establecer cobertura y capacidad, además se analizan los resultados obtenidos.

Se realizaran también las pruebas de desempeño de la red WiMAX instalada en la ESPE, utilizando el servidor de IPTV, así como la simulación de la red.

3.1 IPTV

En esta sección se realiza el análisis de la simulación de la red IPTV y de la red implementada en la ESPE.

3.1.1 Simulación de un Sistema IPTV

En esta sección se detalla cómo se realizó la simulación utilizando un software especializado de redes QUALNET 5.2, el cual permite trabajar con redes WiMAX 802.16 2009, en donde se configura la estación base y los usuarios CPE a una frecuencia de 5,725 MHz, con un ancho de banda de 10 MHz, las redes WiMAX como se muestra en la figura 3.1 tienen los componentes:

- Estación Base
- Estación Suscriptora
- CPE
- Servidor IPTV.

Se implementa una topología punto – multipunto para dar servicio a las terminales que en total son 4 en la simulación. La estación base y la estación suscriptora está ubicada en los Laboratorios del Departamento de Eléctrica y Electrónica de la ESPE y los Clientes están ubicados respectivamente en:

- Laboratorio de Mecánica

- Edificio Postgrado
- Edificio Administrativo
- Hangares CICTE.

En la figura 3.1 se muestra la estación base, la estación suscriptor, el servidor de video IPTV y los CPE.

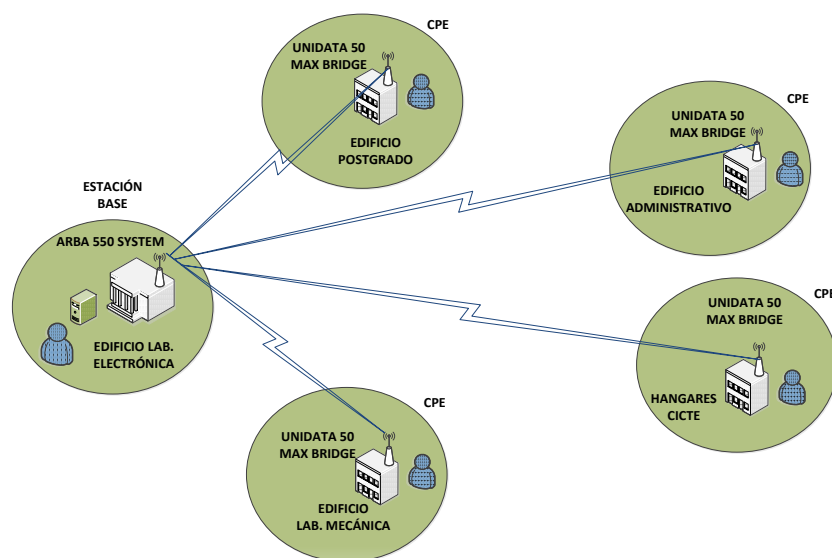


Figura 3. 1 Esquema implementado para la Simulación

Los parámetros ingresados en el software de simulación se encuentran detallados en la tabla 3.1.

Tabla 3. 1 Parámetros ingresados en el Simulador

Especificaciones del Sistema	
Parámetros de radio	Descripción
Banda de Frecuencia	5725 MHz
Modulación	OFDM, 256 subportadoras, prefijo cíclico 1/4, 1/8, 1/16, 1/32.
Ancho de banda del Canal	10 MHz
Modulación Adaptativa	BPSK, QPSK, 16 QAM y 64 QAM.
Velocidad de Código FEC	1/2, 2/3 y 3/4, concatenado con Reed Solomon y Viterbi.
Potencia de Salida máx.	+26 dBm. (22 dBm para modulación 64 QAM)
Calidad de Servicio	UGS, RTPS, nRTPS, eRTPS y BE (IEEE 802.16-2009)

WiMAX define algunos tipos de calidad de servicio de acuerdo a la aplicación, en la tabla 3.2 se especifica el uso de cada uno de estos servicios. Los parámetros que definen la calidad de servicios relativos a los servicios IPTV incluyen la disponibilidad de canal, tiempo de sintonización, tiempo de retardo, Jitter, throughput, etc.

Tabla 3. 2 Tipos de Calidad Servicios en WiMAX

Tipos de Calidad de Servicio	Aplicación
UnsolicitedGrantService (UGS)	Para servicios con Tasa de Bit Constante, en tiempo real como: streaming de audioVoIP. Asignaciones de ancho de Banda Fija.
Real Time Polling Service (RTPS)	Este servicio soporta flujos de tiempo real, con paquetes de datos variables, como video MPEG. Para esta aplicación se necesitan varias peticiones para aumentar el ancho de banda, lo que implica un gasto de recursos importante al momento de asignar nuevo ancho de banda.
Non – Real Time Polling Service (nRTPS)	Este servicio encuesta regularmente a la estación suscriptora, para asegurarse que transmita solicitudes de ancho de banda. La BS encuesta a la conexión y permite el envío de solicitudes.
Extended Real-Time Polling Service (eRTPS)	La BS proporciona asignaciones unicast no solicitadas, de la misma manera que UGS, así evita la latencia de solicitudes de ancho de banda. Las reservaciones son de tamaño dinámico a diferencia de UGS.
BestEffortService (BE)	Este servicio intenta proporcionar un servicio de transporte de datos lo más eficientemente que se pueda. La Estación Suscriptora tiene permitido utilizar cualquier oportunidad de transmitir una solicitud de ancho de banda. Transferencia de datos, navegación, etc.

Desde el servidor de IPTV hacia los CPE's se creó un tipo de tráfico de velocidad constante (CBR) con los que se simula el tráfico de un cliente VoD, la tabla 3.2 muestra la configuración:

Tabla 3. 3 Parámetros del Tipo de Tráfico

Origen	Número del Nodo 1, 4 (Estación Base y Servidor IPTV)
Destino	Número del Nodo 2 Postgrados 3 Laboratorios de Mecánica 6 Hangares CICTE 7 Edificio Administrativos
Ítems a enviar	100
Largo del Ítem (bytes)	1024



Figura 3. 2 Estructura de Red WiMAX ESPE

La distancia entre el servidor IPTV y el CPE del hangar es de 700 m, y la distancia hacia las otras estaciones es de 300 m. La figura 3.2 muestra la estructura implementada en la simulación.



Figura 3. 3 Esquema WiMAX, EB, ES y Servidor IPTV.

En la figura 3.3 se muestra la distribución del servidor de IPTV, de la estación base, la estación suscriptor y los CPE's del laboratorio de Mecánica y del Edificio de Postgrado.

3.1.2 Resultados de la Simulación

Para evaluar el desempeño de un sistema inalámbrico se utilizan parámetros como el throughput, el Jitter y el retardo, en las figuras se muestra el resultado obtenido en las simulaciones.

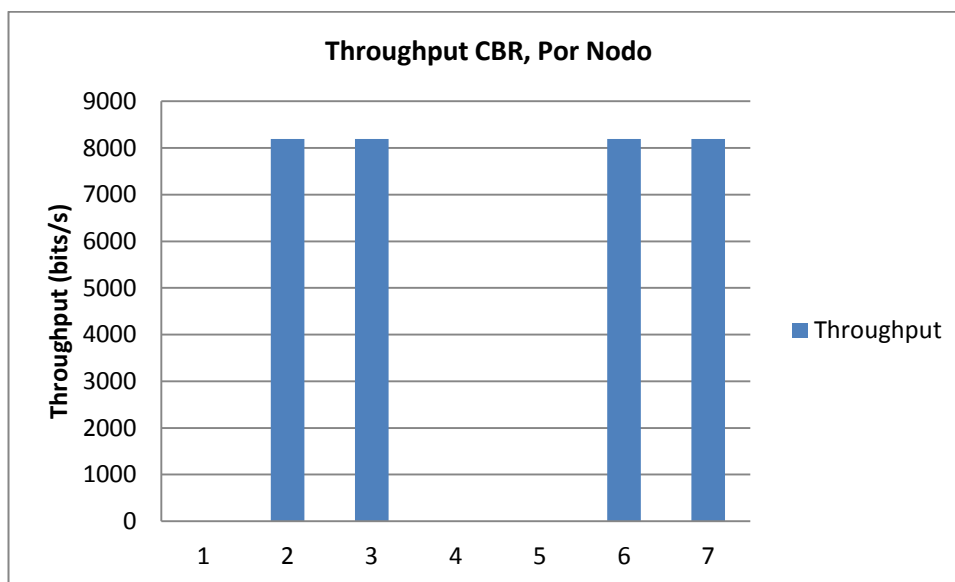


Figura 3. 4 Throughput Red WiMAX

La figura 3.4 muestra que el Throughput en cada nodo del sistema es de 8192 bps al momento de inyectar tráfico, de 1000 ítems enviados con tamaño de paquete de 1536 bytes y tiempo del envío de 25 min.

Como se demuestra en la figura 3.4 el desempeño de la red en cada nodo es el mismo, pudiendo transmitir con la misma calidad a todos los CPE's del sistema, llegando a velocidades de hasta 40 Mbps como define el estándar WIMAX, aumentando el tamaño del paquete enviado y el número total de paquetes, logrando brindar servicios de transmisión de video de alta definición.

Para el caso del envío de la trama de video, el sistema acepta una capacidad de 4 Mbps en total para que no exista congelamiento de la imagen, pixelamiento de la señal de video, retardo de la señal, saturación del canal y pérdida de la señal, si se sobrepasa esta capacidad el canal se desborda y se pierde el enlace.

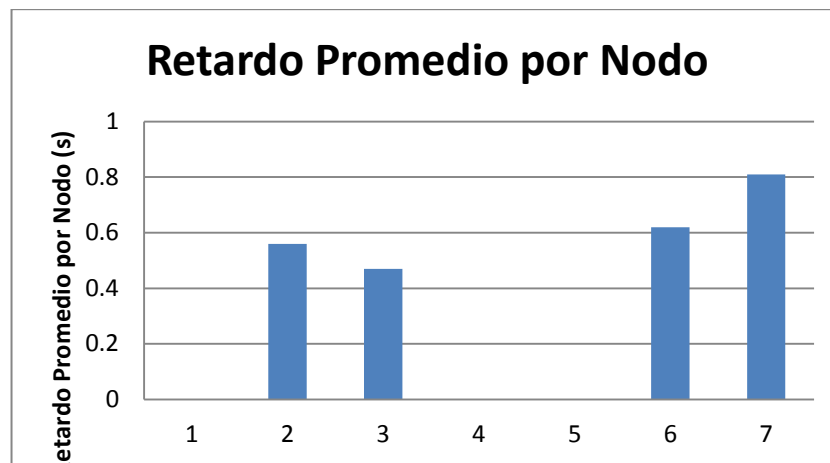


Figura 3. 5 Retardo

El retardo que existe entre la estación base y el hangar del CICTE es igual a 0.8 s, retardo máximo en el sistema, debido a la distancia entre BS y el CPE.

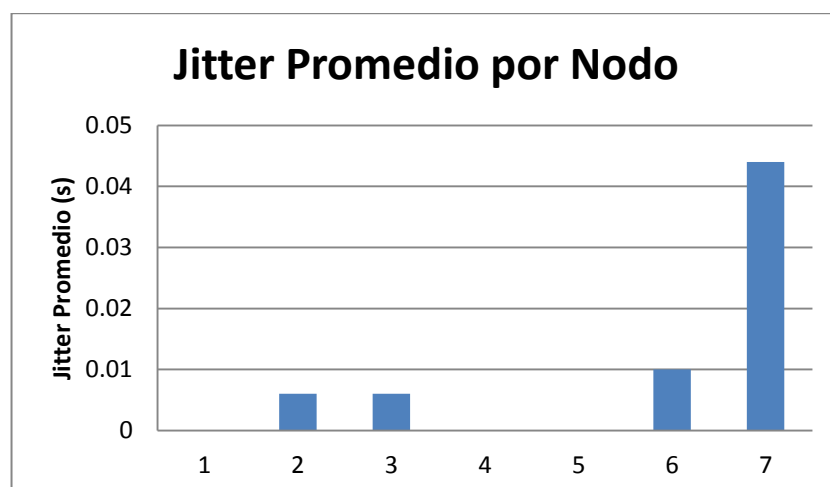


Figura 3. 6 Jitter

El Jitter máximo está entre el CPE del hangar del CICTE y la BS, siendo 0.045 s, debido a las variaciones de sincronismo entre la estación base y el CPE, al momento de incrementar el flujo de información, llegando los paquetes de datos en forma desordenada.

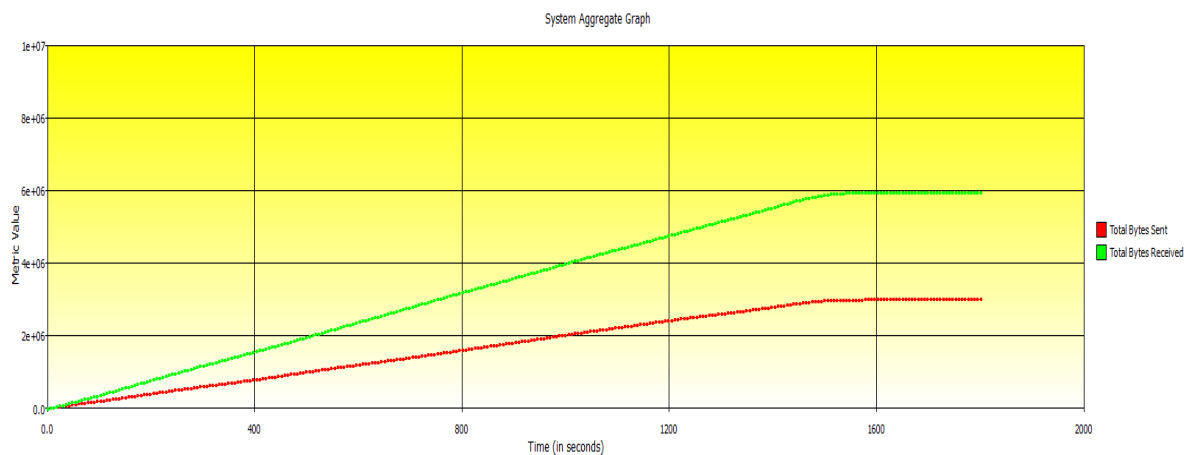


Figura 3. 7 Total Paquetes Transmitidos y Recibidos

La figura 3.7 muestra los resultados de los paquetes transmitidos desde la Estación Base hacia los suscriptores, teniendo un flujo total de datos de 6 Mbps.

3.1.3 Desempeño de la red WiMAX - ESPE en aplicaciones de IPTV

En esta sección se evaluará el desempeño del sistema IPTV implementado sobre la red WiMAX-ESPE, tomando medidas reales de cada sistema, para después realizar su respectivo análisis y si fuera el caso las correcciones necesarias para su adecuado funcionamiento.

3.1.4 Descripción de la red WIMAX de la ESPE.

El propósito de esta sección es dar a conocer la arquitectura de la Red WiMAX para la cual se realizó la evaluación del desempeño del sistema de IPTV, así como una breve descripción de los dispositivos que conforman el sistema.

En la figura 3.10 se muestra la arquitectura del sistema implementado basado en el estándar IEEE 802.16-2009 para la transmisión de video IPTV.

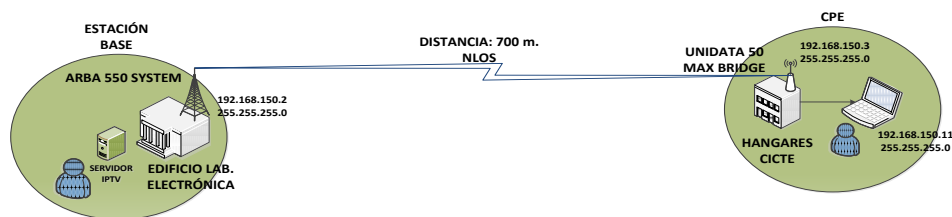


Figura 3. 8 Arquitectura del Sistema WiMAX implementado

Los equipos que conforman el sistema son:

- Estación Base ARBA 550 de Alentia con tres antenas sectoriales de 17 dBi.
- Terminal WiMAX *CustomerPremiseEquipment* (CPE) UNIDATA 50 MAX BRIDGE, CPE posee una unidad interna (IDU) y una unidad externa (ODU), la ODU hace de puente entre la red cableada LAN y la red de radio hacia la estación base.
- Servidor de Video IPTV instalado en el laboratorio.

3.1.5 Estación Base WiMAX:

La estación base ARBA 550 está basada en el estándar IEEE 802.16-2009 para poder ofrecer múltiples servicios a bajo costo, con gran ancho de banda y a alta velocidad. Utilizando la banda libre de frecuencia de 5725 MHz. La figura 3.11 muestra la ODU de la estación base utilizada.



Figura 3. 9ODU Estación Base WiMAX

Entre los parámetros más importantes que posee la Estación Base:

- Control de parámetros de transmisión como: potencia de transmisión, prefijo cíclico, duración de la trama, ancho de banda, permite el ajuste de parámetros de

desempeño del sistema como latencia, sensibilidad, distancia del enlace, inmunidad frente al multicamino y el BER.

- Modulación adaptativa OFDM con 256 subportadoras trabajando incluso con escenarios NLOS, con velocidad de transmisión adaptativa dependiendo del calculo de la potencia recibida de radio enlace de hasta 40 Mbps.
- Ancho de banda de hasta 10 MHz.
- Eficiencia espectral logrando transmisiones de más de 3 bps/Hz, con técnicas de modulación como BPSK, QPSK, 16-QAM y 64-QAM.
- Throughput de hasta 37 Mbps con una modulación de 64-QAM, para distancias cortas y con línea de vista.
- Implementa mecanismos de ARQ, FEC, soporta QoS como BE, RTPS, nRTPS, eRTPS, UGS, encriptación de datos y diferencia de usuarios por flujo.
- Utiliza TDD.
- La estación puede trabajar en diferentes modos tales como: Routing, Bridging, IP Multicast (aplicaciones para IPTV), NAT.

La figura 3.10 muestra la IDU de la estación base de Albentia.



Figura 3. 10IDU Estación Base

Los parámetros configurados en la estación base se muestran en la tabla 3.4

Tabla 3. 4 Parámetros de Configuración de la Estación Base

Especificaciones del Sistema	
Parámetros de radio	Descripción
Banda de Frecuencia	5725 MHz
Modulación	OFDM, 256 subportadoras, prefijo cíclico 1/4, 1/8, 1/16, 1/32
Ancho de banda del Canal	3,5, 5, 7, 10 MHz

Modulación Adaptativa	BPSK, QPSK, 16 QAM y 64 QAM.
Velocidad de Código FEC	1/2, 2/3 y 3/4, concatenado con Reed Solomon y Viterbi
Potencia de Salida máx.	+26 dBm. (22 dBm para modulación 64 QAM)
Calidad de Servicio	UGS, RTPS, nRTPS, eRTPS y BE (IEEE 802.16-2009)

3.1.6CPE WiMAX.

En la tabla 3.5 se muestra los parámetros más importante de configuración de la CPE.

Tabla 3. 5 Parámetros de Configuración CPE

Especificaciones del Sistema	
Estándar	IEEE 802.16-2004/2009
Parámetros de radio	Descripción
Banda de Frecuencia	5150 hasta 5950 MHz
Modo Duplex	TDD, WiMAX / 256 portadoras
Método de Acceso	TDMA
Modulación	OFDM, 256 subportadoras, prefijo cíclico 1/4, 1/8, 1/16, 1/32
Ancho de banda del Canal	3,5, 5, 7, 10 MHz
Modulación Adaptativa	BPSK, QPSK, 16 QAM y 64 QAM.
Velocidad de Código FEC	1/2, y 3/4 , concatenado con Reed Solomon y Viterbi
Potencia de Salida máx.	+20 dBm

La figura 3.11 muestra el tipo de ODU, que utiliza la CPE, y en la figura 3.15 se muestra el IDU de la estación del cliente.

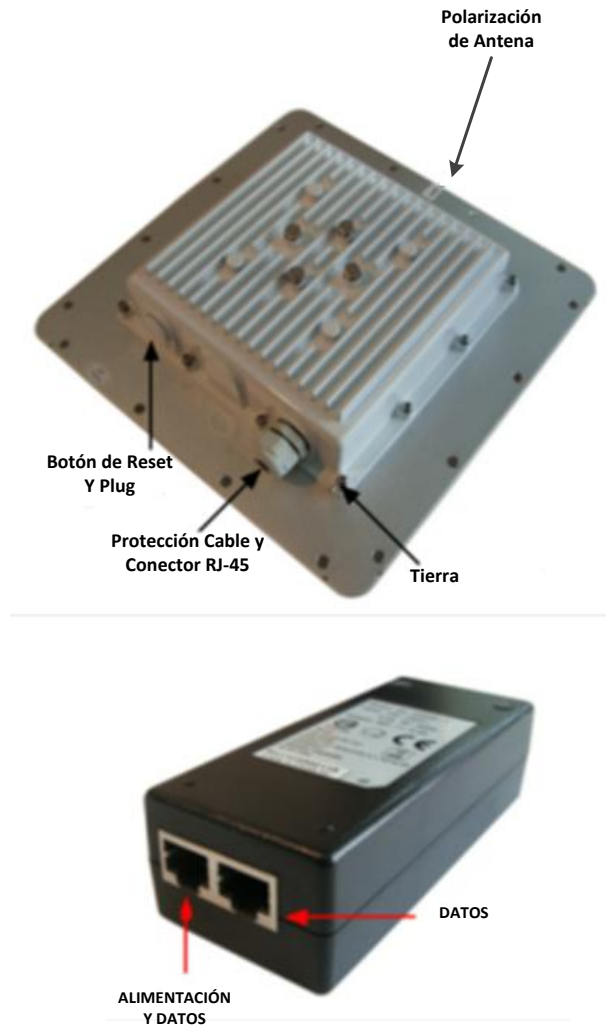


Figura 3. 11IDU y ODU del CPE

3.1.7 Medición de la calidad de video, throughput, retardo y Jitter.

Metodología:

La metodología consistió en realizar transmisiones de videos desde el servidor IPTV hacia el cliente CPE, tras varias transmisiones y gracias al software JPER y DITG se lograron obtener las capacidades tanto de throughput, retardo y el Jitter que son los principales parámetros importantes para evaluar el desempeño de la red WiMAX, con servicios de IPTV.

Pruebas:

El entorno de pruebas es el que se muestra en la figura 3.10, en los laboratorios del Departamento de Eléctrica y Electrónica de la ESPE (DEEE) se encuentra instalado el servidor de IPTV y en los hangares del CICTE al otro extremo del campus de la ESPE Sangolquí A 700 m, se encuentra instalado el CPE, se eligió este escenario por ser un ambiente ideal para pruebas, por no tener línea de vista. El CPE está conectado a una computadora donde se encuentra instalado el software de captura de tráfico. Primero se probó inyectando tráfico con el software, luego se trabajó con el tráfico de video del servidor.

3.1.8 Pruebas Realizadas con Canal de 10 MHz

La capacidad del canal es de 10 MHz, configurando un servicio con una velocidad máxima de 40 Mbps, en la BS para las CPE, con una calidad de servicio UGS y los demás parámetros se configuraron como se detallada en la tabla 3.5, los resultados de las pruebas con inyección de tráfico de hasta 12,9 Mbps, se muestran en las figuras 3.12 y 3.13.

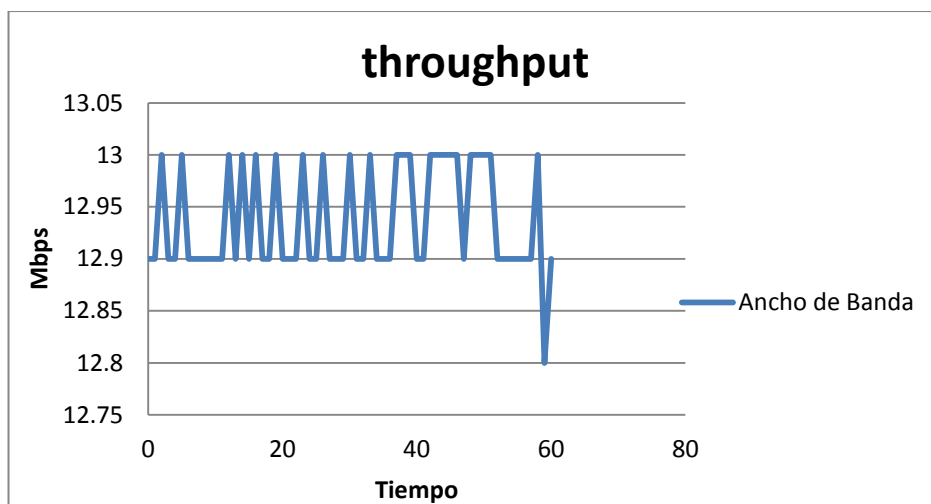


Figura 3. 12throughput WiMAX

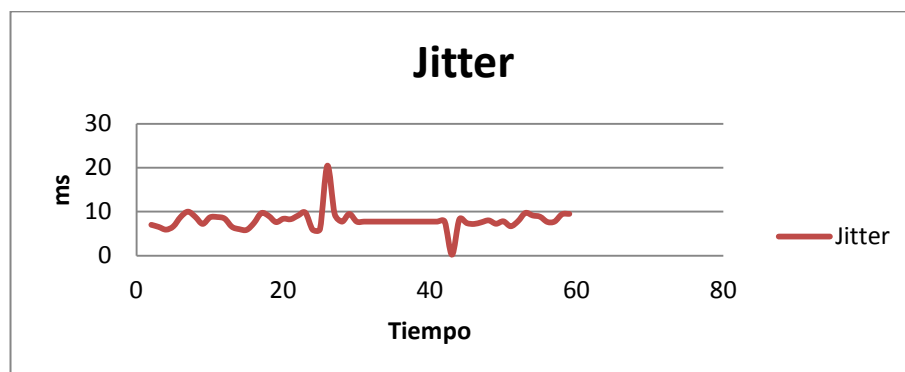


Figura 3. 13 Jitter WiMAX

La tabla 3.6 muestra los resultados obtenidos en las pruebas de inyección de tráfico.

Tabla 3. 6 Resumen de Resultados de la inyección de tráfico

FlowNumber: 1	
From: 192.168.150.11	
To: 192.168.150.10	
Tiempo Total	60 s
Paquetes	1470
Jitter Promedio	7,697 ms
Retardo Promedio	0,72 s
Throughput	12,784 kbps

El throughput promedio es 12,78 Mbps, existe un problema de intermitencia en el enlace cuando se trabaja a 10 MHz, este problema se debe a que el nivel de señal recibido es menor que el equipo puede manejar, al inyectar tráfico, satura el canal y se pierde la señal. Al configurar la calidad de servicio no mejora la intermitencia.

La BS encuesta y pregunta a la SS para saber cual es el estado del enlace, una vez que se conoce el estado, de acuerdo a la calidad de servicio que se configura se asigna automáticamente la modulación que se utiliza con la que se establece la velocidad a la cual trabajara el enlace.

Para esta prueba se configuró un prefijo cíclico de 1/4, potencia de salida de 26 dBm y modulación automática en el UPLINK y DOWNLINK.

Para hacer las pruebas de transmisión de video con el servidor de IPTV, se configuró con un *transport stream* de salida de 2 Mbps, por el canal, permitiendo llegar con esta velocidad a los CPE, sin que se desborde y permita la configuración remota del servidor y la BS. Cuando se aumentó la velocidad a 4 Mbps del *transport stream*, el canal se desborda, la calidad del video mejora pero impidió la configuración del servidor y de la BS. Se pierde el enlace.

La estación base se configura con UGS en el servicio que se crea, la cual habilita la calidad de servicio en el enlace, entregando la capacidad requerida al cliente que son los 2 Mbps configurados en el servidor IPTV.

Para mejorar la intermitencia en el enlace se configura parámetros en la estación base como el ancho de banda, prefijo cíclico, umbral de sensibilidad en la recepción y potencia del canal, mejorando notablemente la estabilidad del enlace. Los parámetros que se configuraron en la estación base para mejorar la intermitencia fueron: ancho de banda de 7 MHz, y una potencia de 20 dBm, llegando a utilizar modulaciones de hasta 16 QAM.

3.1.9 Resultados de las mediciones realizadas en el Servidor de IPTV

Para las pruebas en el Servidor de IPTV se utilizaron equipos WiMAX 2009, permitiendo el envío de video de alta definición con una velocidad real de hasta 4 Mbps.

Los equipos utilizados son altamente configurables con lo cual se mejoró el desempeño del enlace, permitiendo llegar a modulaciones de 16 QAM en un ambiente sin línea de vista.

Se sugiere adquirir clientes de IPTV o set top box dedicados para esta red ya que con estos dispositivos se sacara el mayor provecho posible a la transmisión de video.

Al momento de realizar las pruebas de transmisión de video se configuraron videos de alta definición de hasta 8 Mbps en el servidor, y con un ancho de banda de transmisión de 10 MHz. Con esta configuración el enlace se presentó muy intermitente por el nivel de señal recibido y por la saturación del canal, quedando inclusive sin comunicación entre la BS y el CPE.

Se debe tomar en cuenta la potencia de transmisión de las señales ya que esta varia el nivel de sensibilidad del receptor, captando con mayor facilidad las señales, en la BS, al iniciar las pruebas se trabajó con 26dBm, luego para solucionar la intermitencia y mejorar el desempeño del canal se trabajo con 20 dBm, permitiendo trabajar con modulaciones con mayor numero de niveles.

El ancho de banda se configuro inicialmente con 10 MHz siendo el canal muy intermitente, se cambió dicha configuración y se disminuyó el ancho de banda del canal

a 7 MHz mejorando notablemente la intermitencia. Permitiendo transmitir video de hasta 4 Mbps en la red.

Para mejorar el desempeño de la red y dado que se trabajó sin línea de vista se aumentó el prefijo cíclico a 1/4, disminuyendo la capacidad de transmisión del enlace pero mejoro la robustez del mismo.

Los niveles de recepción en la estación base se mejoraron trabajando con umbrales de hasta -92 dBm, que permitieron la comunicación sin intermitencia del CPE con la BS, pero se debe tomar en cuenta que la BS y el CPE, escogen automáticamente las modulaciones y dependen directamente el throughput de la red, por lo que para enlaces sin línea de vista se deben considerar todos estos parámetros.

Una de las principales características del sistema es que se puede configurar la potencia de salida de la BS, pero se debe tomar en cuenta que si se configura a la máxima potencia (26 dBm), el sistema automáticamente no permite trabajar con modulaciones con mayor número de niveles utilizando únicamente BPSK, QPSK y 16QAM reduciendo considerablemente la capacidad de transmisión del sistema, llegando únicamente a transmitir videos de hasta 2 Mbps sin colapsar.

De acuerdo a los parámetros de desempeño del Sistema, se podría brindar el servicio IPTV en el campus Sangolquí a ciertas áreas, pudiendo ampliar el servicio a dispositivos móviles, a distancias de hasta 1 km NLOS.

En la figura 3.14 se muestra el throughput conseguido una vez optimizado el desempeño del enlace WiMAX.

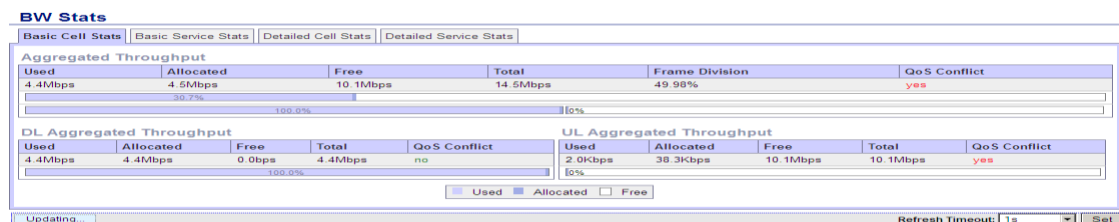


Figura 3. 14 Ancho de banda y throughput medido en la BS de WiMAX

En la figura 3.15 se muestra la configuración del CPE.

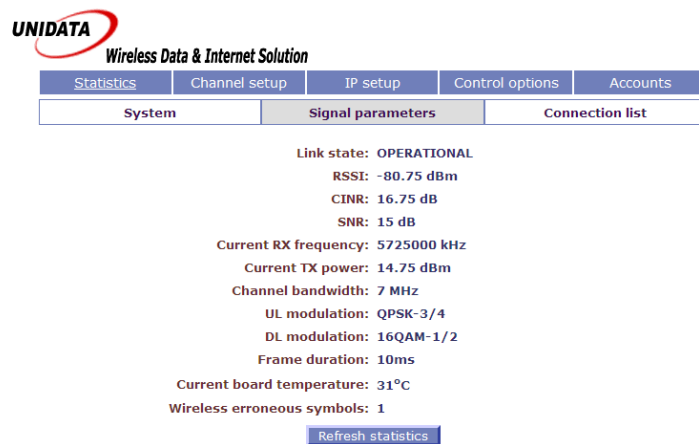


Figura 3. 15 Configuración CPE

Con los parámetros mencionados anteriormente se concluye que WiMAX es una tecnología capaz de brindar servicios de IPTV, con calidad de servicio y calidad de experiencia.

Gracias a la versatilidad IPTV, puede ofrecer interactividad para el usuario como por ejemplo VoD, Pay per View, DVR, por estos servicios se hace imprescindible el análisis de la estructura de red que se utilizará para proveer IPTV.

3.2 ISDB-T

En esta sección se realiza el análisis de la simulación del transmisor ISDB-T de la ESPE y del canal del estado ECTV, utilizando SIRENET 3.6 que incluye un módulo para análisis de ISDB-T

3.2.1 Simulación del área de cobertura de un transmisor ISDB-T

En esta sección se detalla el procedimiento para el desarrollo de la simulación de un sistema ISDB-T, los parámetros que se ingresaron, los procedimientos seguidos así como una breve explicación del software utilizado para dicha simulación.

Para las simulaciones se tomó en cuenta el transmisor de laboratorio de televisión digital de la ESPE y el transmisor de Ecuador TV (ECTV) que irradia en la ciudad de Quito, considerando los parámetros descritos en las tablas 3.7 y 3.8 respectivamente. Los parámetros ingresados en el simulador fueron:

Tabla 3. 7 Parámetros del Simulador para el trans. del lab.

Parámetros de Calculo	Valores
Potencia del Transmisor	10 dBm
Frecuencia	557 MHz
Canal	28
Polarización	Vertical
Antena	Dipolo Doblado
Ganancia de Antena	2,2
Tipo de Servicio	ISDB-Tb
Área de Cobertura	10 km
Sensibilidad del Receptor	-85 dBm

Tabla 3. 8 Parámetros del Simulador para el trans. ECTV.

Parámetros de Calculo	Valores
Potencia del Transmisor	56,9897 dBm o 500 W
Frecuencia	671 MHz
Polarización	Vertical
Canal	47
Antena	Dipolo Doblado
Ganancia de Antena	2,2
Tipo de Servicio	ISDB-Tb
Área de Cobertura	20 km
Sensibilidad del Receptor	-85 dBm

3.2.2 Pruebas en el Transmisor de Laboratorio.

Para la simulación se tomó en cuenta el transmisor de laboratorio:

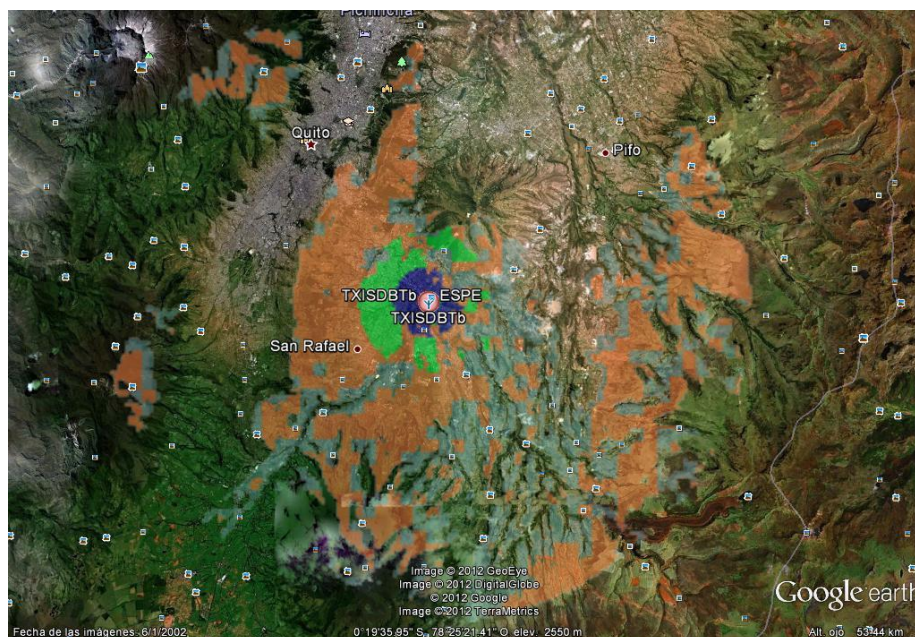


Figura 3. 16 Área de Cobertura del transmisor de laboratorio

La figura 3.16 muestra el resultado de la simulación que corresponde al estudio del área de cobertura del transmisor fijo de laboratorio y se consideran receptores fijos de 1,5 m de altura de antena y una potencia de transmisión de 10 dBm.

Para la simulación se consideraron pérdidas en los conectores, circuladores, cables, de 1 dB.

En la figura 3.16 el área de color verde se ubica en un rango de -75.79 dBm hasta -65,79 dBm. El área de color morado está entre -65.79 dBm hasta -55.79 dBm, y el área de color rosado desde -55.79 dBm hasta -45.79 dBm es la de mejor cobertura, dentro del laboratorio. La tabla 3.5 muestra las zonas de cobertura.

Tabla 3. 9 Zonas de cobertura del Transmisor de laboratorio

RANGO DE POTENCIA COBERTURA	COLOR	DISTANCIA
-75.799 dBm ≤ P < -65.7992 dBm	VERDE	100 m
-65.799 dBm ≤ P < -55.7992 dBm	MORADO	10 m
-55.799 dBm ≤ P < -45.7992 dBm	ROSADO	5m

Utilizando en el receptor una antena de tipo dipolo doblado con una ganancia de 2 dBi y asumiendo unas pérdidas de 0 dB. Trabajando con una impedancia a la entrada de 75Ω .

3.2.3 Pruebas Transmisor ECTV.

Para la simulación se tomó en cuenta la misma ubicación en Cruz Loma del Transmisor de ECTV, tomando en cuenta la potencia de salida del transmisor.

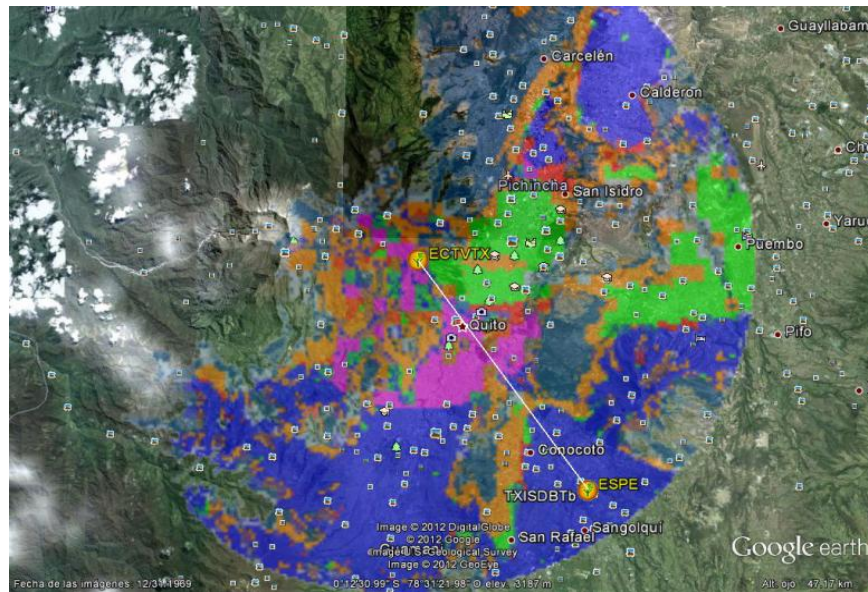


Figura 3. 17 Transmisor ECTV

La figura 3.17 muestra el resultado de la simulación que corresponden al estudio del área y zonas de cobertura del transmisor fijo de ECTV con una potencia de transmisión de 56 dBm, ubicado en CRUZ LOMA y se consideran para la simulación receptores fijos con altura de antena de 1,5 m.

Para la simulación se consideraron pérdidas en los conectores, circuladores, cables de muy bajas pérdidas, con un total de 2 dB. Así también se consideró un área de cobertura total de 20 km.

En la tabla 3.10 se muestra los resultados del análisis de cobertura del transmisor de ECTV.

Tabla 3. 10 Resumen zonas de cobertura del transmisor ECTV

RANGO DE POTENCIA COBERTURA	ZONA DE COBERTURA (COLOR)
$-106.799 \text{ dBm} \leq P < -96.7992 \text{ dBm}$	GRIS
$-96.799 \text{ dBm} \leq P < -86.7992 \text{ dBm}$	AZUL OSCURO
$-86.799 \text{ dBm} \leq P < -76.7992 \text{ dBm}$	NARANJA
$-76.799 \text{ dBm} \leq P < -66.7992 \text{ dBm}$	VERDE
$-66.799 \text{ dBm} \leq P < -56.7992 \text{ dBm}$	ROJO
$-56.799 \text{ dBm} \leq P < -46.7992 \text{ dBm}$	AZUL CLARO
$-46.799 \text{ dBm} \leq P$	ROSADO

Utilizando en el receptor una antena de dipolo doblado con una ganancia de 20 dBi y asumiendo unas pérdidas de 0 dB. Trabajando con una impedancia a la entrada de 75Ω .

Con los resultados se comprueba que desde el laboratorio se tiene cobertura del transmisor ECTV para el análisis de desempeño. La distancia entre el receptor que está ubicado en el laboratorio y el transmisor en Cruz Loma es aproximadamente 17.1 km.

Para el caso del transmisor laboratorio la potencia de transmisión está dentro de la zona de cobertura que va desde $-66.799 \text{ dBm} \leq P < -56.7992 \text{ dBm}$.

3.2.4 Desempeño del Sistema de ISDB-T.

En esta sección se realiza las pruebas de desempeño de los transmisores mencionados anteriormente, para lo cual se utilizó un equipo de medición de laboratorio.

3.2.5 Parámetros de Desempeño de un Sistema ISDB-T.

Para la evaluación de los transmisores de TV Digital tanto de la ESPE como el de ECTV se utilizó el Analizador de Espectro marca Agilent Technologies modelo CXA, N9000A, como se muestra en la figura 3.18, tiene incorporado un módulo de pruebas de ISDB-T. Este modulo permite evaluar transmisores midiendo parámetros como:

- Potencia de canal

- Potencia canal adyacente
- Precisión de modulación
- Ancho de banda utilizado
- Estadísticas de potencia CCDF

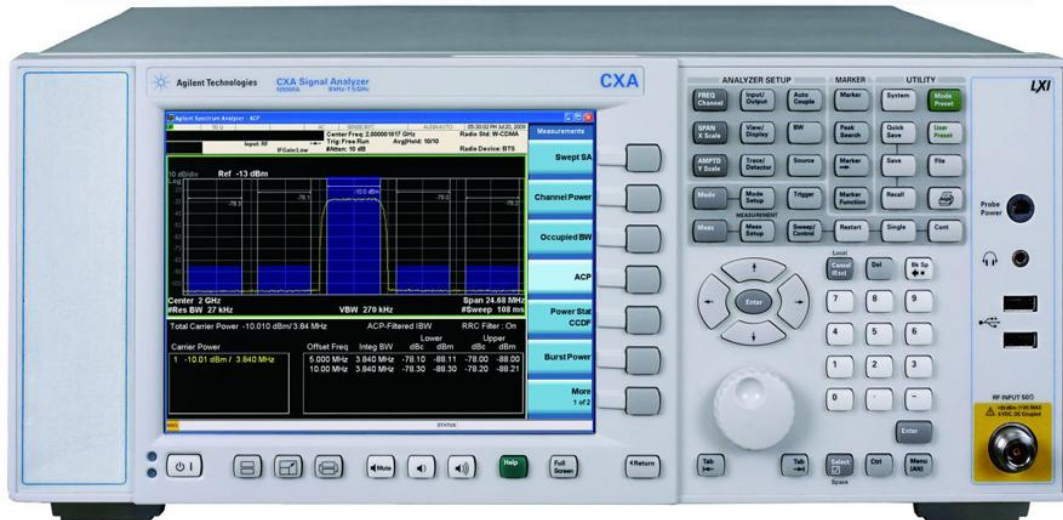


Figura 3. 18 Analizador de Espectros CXA 9000

La antena que se utilizó para las mediciones fue una antena tipo látigo contraíble de 1m de longitud, de ganancia de 2 dBi, para pruebas de campo y laboratorio.

En la tabla 3.11 se detalla los parámetros de los transmisores de laboratorio y de ECTV.

Tabla 3. 11 Resumen de Parámetros de los Transmisores Analizados

Parámetros	Transmisor de Lab.	Transmisor ECTV
Potencia	10 dBm	56,47 dBm
Ancho de Banda	6 MHz	6 MHz
Frecuencia	557 MHz	671 MHz
Canal	28	47

Antes de iniciar las pruebas se deben tomar en cuenta las características de los transmisores de ISDB-T [9]. En la tabla 3.9 se muestra un resumen de los parámetros más importantes, que se deben tomar en cuenta al momento de realizar las pruebas.

Tabla 3. 12 Segmentación para Transmisores ISDB-T (6 MHz) [9]

Modo		Modo 1		Modo 2		Modo 3	
Ancho de Banda		6000/14 = 428.57kHz					
Espaciamiento entre portadoras		6000/(14 x 108)= 3.968kHz		6000/(14 x 216)= 1.984 kHz		6000/(14 x 432)= 0.99206kHz	
Numero de Portadoras	Total	108	108	216	216	432	432
	Datos	96	96	192	192	384	384
	SP	9	0	18	0	36	0
	CP	0	1	0	1	0	1
	TMCC	1	5	2	10	4	20
	AC1	2	2	4	4	8	8
	AC2	0	4	0	9	0	19
Modulación Portadoras		16QAM, 64QAM, QPSK	DQPSK	16QAM, 64QAM, QPSK	DQPSK	16QAM, 64QAM, QPSK	DQPSK
Numero de símbolos por trama		204					
Duración de símbolo efectiva		252 μ s		504 μ s		1.008 ms	
Intervalo de guarda		63 μ s (1/4), 31.5 μ s (1/8), 15.75 μ s (1/16), 7.875 μ s (1/32)		126 μ s (1/4), 63 μ s (1/8), 31.5 μ s (1/16), 15.75 μ s (1/32)		252 μ s (1/4), 126 μ s (1/8), 63 μ s (1/16), 31.5 μ s (1/32)	
Duración de la trama		64.26ms (1/4), 57.834ms (1/8), 54.621ms (1/16), 53.0145ms (1/32)		128.52ms (1/4), 115.668ms (1/8), 109.242ms (1/16), 106.029ms (1/32)		257.04ms (1/4), 231.336ms (1/8), 218.464ms (1/16), 212.058ms (1/32)	
Velocidad de reloj FFT		512/63 = 8.126984.... MHz					
Código Interno		Código Convolutivo (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8)					
Código Exterior		RS (204,188)					

donde SPes *ScatteredPilot* y CP*ContinualPilot* se utilizan como frecuencia de sincronización y estimación del canal, TMCC (Control de Configuración de Transmisión y Multiplexación) que es la información de portadoras en parámetros de transmisión y AC (Canal Auxiliar) canal auxiliar lleva información para operación en red [9].

De acuerdo a las tablas 3.12, 3.13, el tipo de transmisores en los sistemas trabajan con cuatro tipos de modulaciones, DQPSK, QPSK, 16 QAM y 64 QAM. DQPSK y QPSK está orientado al trabajo de dispositivos móviles. Estas modulaciones dependerán de la configuración del transmisor, cuantas capas va a utilizar, pudiendo hacer combinaciones como por ejemplo, si se utilizan las tres capas jerárquicas del ISDB-T, A, B, C, las tres capas pueden ocupar cualquier modulación, por lo general la

capa A trabaja con QPSK, destinado para ONESEG, la capa B trabaja con 16 QAM o 64 QAM, y dependiendo si la capa C esta activa puede trabajar con 16 QAM o 64 QAM.

Tabla 3. 13 Tasa de Transmisión por Segmento en ISDB-T (6 MHz) [9]

Modulación de Portadora	Código Convulsional	Numero de TSP Transmitidos	Tasa de Información (kbps)			
			Relación Intervalo de Guarda 1/4.	Relación Intervalo de Guarda 1/8	Relación Intervalo de Guarda 1/16	Relación Intervalo de Guarda 1/32
DQPSK QPSK	1/2	12 / 24 / 48	280.85	312.06	330.42	340.43
	2/3	16 / 32 / 64	374.47	416.08	440.56	453.91
	3/4	18 / 36 / 72	421.28	468.09	495.63	510.65
	5/6	20 / 40 / 80	468.09	520.10	550.70	567.39
	7/8	21 / 42 / 84	491.50	546.11	578.23	595.76
16QAM	1/2	24 / 48 / 96	561.71	624.13	660.84	680.87
	2/3	32 / 64 / 128	748.95	832.17	881.12	907.82
	3/4	36 / 72 / 144	842.57	936.19	991.26	1021.30
	5/6	40 / 80 / 160	936.19	1040.21	1101.40	1134.78
	7/8	42 / 84 / 168	983.00	1092.22	1156.47	1191.52
64QAM	1/2	36 / 72 / 144	842.57	936.19	991.26	1021.30
	2/3	48 / 96 / 192	1123.43	1248.26	1321.68	1361.74
	3/4	54 / 108 / 216	1263.86	1404.29	1486.90	1531.95
	5/6	60 / 120 / 240	1404.29	1560.32	1652.11	1702.17
	7/8	63 / 126 / 252	1474.50	1638.34	1734.71	1787.28

TSP: El número de Paquetes de *Transport Stream* transmitidos por una trama OFDM

También va a depender del tipo de información que se esté enviando, si se utiliza un video de HD se utilizaran los trece segmentos o sea se distribuirá los segmentos en una sola capa o distribuidos en las tres capas. Mejorando el desempeño del sistema cuando se utilizan las tres capas, alcanzando mayor tasa de transmisión.

Los transmisores pueden trabajar en tres modos conocidos:

1. Modo 1: 2k
2. Modo 2: 4k
3. Modo 3: 8k

Cada modo tiene un número total de sub-portadoras para generar en todo el espectro el ancho de banda de 6 MHz, se divide el espectro en 14 segmentos, de los cuales los trece segmentos concentran toda la información, siendo el 5,57 MHz del

ancho de banda total y el segmento faltante los 428,57 kHz son de separación para los otros transmisores, teniendo a cada extremo una separación de 214,285 kHz.

Para cada modo existe definido un total de sub-portadoras definidas de acuerdo a la tabla 3.9 y 3.10, para el primero modo de 2k existen 1404 sub-portadoras, para el modo 4k existen 2808 sub-portadoras y para el modo 8k existen 5616 sub-portadoras.

Cada modo tiene portadoras SP, CP, TMCC, AC y Datos, resultando un total número de portadoras por segmento de 108, 216, 432, dependiendo del modo que se configure el transmisor.

Los parámetros que se utilizaran para medir el desempeño de los trasmisores son:

Potencia del Canal: El propósito de medir la potencia del canal es encontrar en el canal los problemas de intermodulación, el cual se verifica observando la degradación del nivel de señal de OFDM en los extremos (hombros) del espectro. La medición de la potencia del canal tiene dos puntos de vista.

En la medición del espectro de RF, en la cual se observa la potencia total transmitida en el canal (5.6 MHz para ISDB-Tb. La *integrationBandwidth* (IBW) se utiliza para medir la potencia del canal [6].

Función de Distribución de la Potencia Complementaria Acumulativa (CCDF): El propósito de medir La CCDF es porque muchas señales moduladas digitalmente aparecen como ruido en el dominio del tiempo y de frecuencia. Esto significa que las mediciones estadísticas de las señales pueden ser de gran ayuda para el análisis del desempeño de estos sistemas. Las curvas CCDF, caracterizan las estadísticas de potencia de una señal modulada digitalmente. Estas curvas son útiles para determinar los parámetros de diseño para sistemas digitales broadcast [6].

La potencia medida en las estadísticas de las curvas CCDF es la potencia envolvente definida por la ecuación:

$$P = \frac{I^2 + Q^2}{Z_0}, \quad (3)$$

donde I y Q son las componentes de fase y cuadratura de la forma de onda del voltaje y Z_0 es la impedancia característica.

La curva amarilla muestra la distribución gaussiana ideal, y la línea azul es el resultado de la medición, el BW es el ancho de banda en el cual se ha realizado la medición.

Precisión de Modulación: La medición de la precisión de modulación es necesaria para satisfacer las pruebas definidas en ISDB-T y asegurar el correcto funcionamiento de los transmisores. Estas medidas toman en cuenta todos los posibles mecanismos de error en toda la cadena de transmisión incluyendo las señales filtradas en banda base, anomalías en la modulación I/Q, amplitud del filtro y fases no lineales y distorsión en el amplificador de potencia [6].

La precisión de modulación mide el desempeño de la circuitería de modulación del transmisor [6].

En una señal modulada digitalmente, es posible predecir la magnitud y la fase ideal de la portadora en cualquier instante de tiempo, basados en la secuencia de datos recibida. La señal modulada del transmisor es comparada con un vector de la señal ideal. La diferencia entre estos dos vectores es muestreada y procesada [6].

La medición de la precisión de modulación provee la siguiente información:

El **EVM (Error Vector Magnitude)** por definición es una métrica de la calidad de modulación ampliamente utilizada en sistemas digitales broadcast. Está definida como:

$$EVM = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)}}{S_{rms}} \times 100\%, \quad (4)$$

donde N es el número de datos en la toma de muestras. S_{rms} Es calculada de la siguiente manera:

$$S_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)}, \quad (5)$$

Para las otras mediciones se debe tomar en cuenta la Figura 3.21 como referencia:

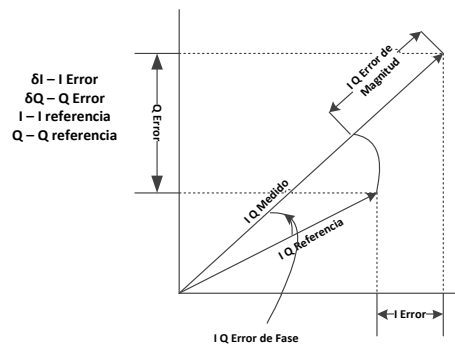


Figura 3. 19 Error de Demodulación Digital

El EVM es un parámetro de medición que se utiliza para cuantificar el desempeño de un transmisor o receptor de radio digital y permite conocer la diferencia entre el diagrama de constelación ideal comparado con el diagrama de constelación recibido. En otras palabras es la diferencia de los símbolos recibidos y los símbolos idealmente calculados y mostrados en el diagrama de constelación [6].

El **MER (Modulation Error Ratio)**, se define como la relación de potencias expresadas en dB de la suma de los cuadrados de las magnitudes de los vectores símbolo ideal con respecto a la suma de los cuadrados de las magnitudes de los vectores de error de símbolo, [6].

El MER es calculado de la siguiente manera:

$$MER = 10 \log_{10} \left[\frac{\sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)}{\sum_{i=1}^N (\delta I_i^2 + \delta Q_i^2)} \right], \quad (6)$$

El MER es una medida utilizada para cuantificar la calidad de un transmisor o receptor de radio digital en un sistema de comunicaciones que utilizan modulación digital multinivel como PSK y QAM. Una señal que es enviada por un transmisor debería tener todos los puntos de la constelación ubicados en forma ideal, sin embargo existen varias perturbaciones a los sistemas que hacen que se distorsionen las señales recibidas.

Entonces:

$$MER = -10 \log \left[\frac{\sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)}{\sum_{j=1}^N E_s} \right], \quad (7)$$

donde $\delta I_j^2 + \delta Q_j^2$ es una variable aleatoria tipo Rayleigh, descritas por $C = \sqrt{\partial I_j^2 + \partial Q_j^2}$, y E_s , es la energía del símbolo, quedando definido el MER por:

$$MER = -10 \log \left[\frac{\sum_{j=1}^N C^2}{N E_s} \right]$$

o

$$MER = -10 \log \left[\frac{E(C^2)}{E_s} \right]$$

siendo $E(C^2) = 2 \sigma^2$, σ es la potencia del ruido

Considerando las nuevas designaciones el MER queda redefinido como:

$$MER = -10 \log \left(\frac{2 \sigma^2}{E_s} \right)$$

donde

$$\sigma^2 = \frac{E_s}{2 \frac{E_s}{N_0}}$$

$$MER = -10 \log \left(\frac{2 \frac{E_s}{2 \frac{E_s}{N_0}}}{E_s} \right)$$

o

$$MER = -10 \log \left(\frac{1}{\frac{E_s}{N_0}} \right), \quad (8)$$

Finalmente el MER se define como:

$$MER = -10 \log(1) + 10 \log \left(\frac{E_s}{N_0} \right)$$

o en términos de dB

$$MER(dB) = \frac{E_s}{N_0} (dB), \quad (9)$$

Quedando definido como una relación entre la energía del símbolo versus la densidad espectral del ruido, N_0 .

Ahora el EVM se define como:

$$EVM = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)}}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)}} \times 100\%, \quad (10)$$

Se conoce que el MER:

$$\frac{MER}{10} = \log \left(\frac{\sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)}{\sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)} \right)$$

$$10^{\frac{MER}{10}} = \frac{\sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)}{\sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)}$$

$$EVM = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)}{\sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)}}$$

$$EVM = \left(\frac{\sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)}{\sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)} \right)^{1/2}$$

$$10^{-\frac{MER}{10}} = \frac{\sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)}{\sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)}$$

$$10^{-\frac{MER}{20}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)}{\sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)}}$$

Entonces el EVM en función del MER queda definido como:

$$EVM = 10^{-\frac{MER}{20}}, \quad \text{o} \quad EVM = 10^{-\frac{E_S/N_0}{20}} \quad (11)$$

El MER es una medida de la diferencia entre un valor ideal en el diagrama de constelación con respecto a un valor medido en ese instante de la constelación en el plano I y Q, el MER también se lo puede expresar como la relación entre la energía de símbolo y la densidad espectral de potencia del ruido N_0 , donde se considera varias

constelaciones como QPSK, 16-QAM y 64-QAM. Los valores recomendables de MER se muestran en la tabla 3.14:

Tabla 3. 14 Valores Recomendables de MER [11]

FORMATO DE MODULACIÓN	UMBRAL INFERIOR E_s/N_0	UMBRAL SUPERIOR E_s/N_0
QPSK	7 – 10 dB	40-45 dB
16-QAM	15 – 18 dB	40-45 dB
64-QAM	22 – 24 dB	40-45 dB
256-QAM	28 – 30 dB	40-45 dB

Lo recomendable para aplicaciones como ISDB-T es que la señal este dos o tres dB arriba del umbral inferior. Así de acuerdo con la ecuación (12) la tasa de error de símbolo esta entre 10^{-2} y 10^{-3} [11], como se muestra en la figura 3.22 de acuerdo a la ecuación:

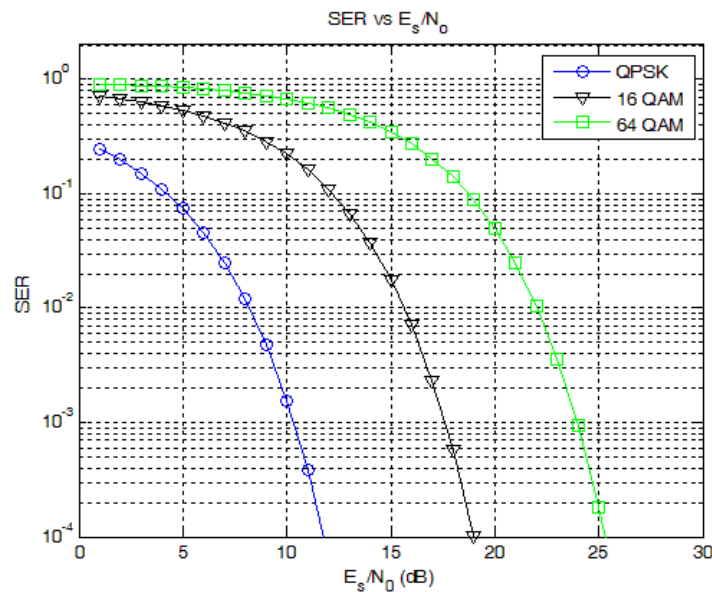


Figura 3. 20 SER vs Es/No

$$P(e|MQAM) = 2 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right) \operatorname{erfc} \left(k \sqrt{\frac{E_s}{N_0}} \right)$$

$$-\left(1 - \frac{2}{\sqrt{M}} + \frac{1}{\sqrt{M}}\right) \operatorname{erfc}^2\left(k \sqrt{\frac{E_s}{N_0}}\right), \quad (12)$$

donde M es el orden de la modulación y k es igual a:

$$k = \sqrt{\frac{1}{\frac{2}{3}(M-1)}}, \quad (13)$$

El error de magnitud es la diferencia de amplitud entre la señal medida I/Q y la señal de referencia I/Q [6].

El error de fase es la diferencia de fase entre la señal de referencia I/Q y la señal medida I/Q para una señal compuesta [6].

El error de frecuencia este parámetro se muestra en Hz y es la cantidad de desplazamiento de frecuencia, respecto a la frecuencia central del canal [6].

El error de cuadratura (error de inclinación de cuadratura) indica el error ortogonalidad entre las señales I y Q [6].

Idealmente, I y Q deben ser ortogonales. Un error de cuadratura de 3 grados significa que las señales I y Q están separadas 93 grados.

3.2.6 Mediciones del Transmisor de Laboratorio ISDB-T

En esta sección se midió la señal del transmisor de laboratorio a fin de conocer el desempeño del mismo, con la configuración de parámetros explicados en las secciones anteriores de este trabajo.

A. Potencia del Canal

De acuerdo a la definición de la potencia del canal la figura 3.19 muestra los resultados de la prueba de potencia del canal realizados al transmisor de laboratorio:

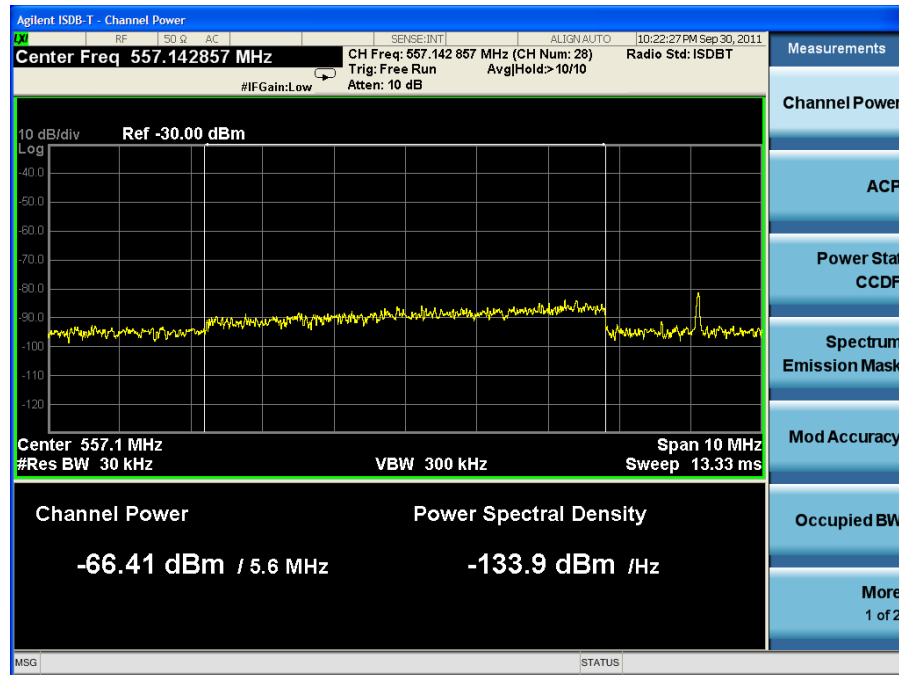


Figura 3. 21 Potencia de Canal en el Transmisor de Laboratorio

De acuerdo a las mediciones realizadas los resultados son:

Potencia de Canal: -66.41 dBm / 5,6 MHz

Densidad espectral de Potencia: -133,9 dBm /Hz

La frecuencia de transmisión del sistema de la ESPE es 557,142857 MHz, de acuerdo a la frecuencia el número de canal de transmisión es el 28, comprobando en la medición dicho canal. Para las pruebas se configuro al equipo de acuerdo a la tabla de frecuencias de Brasil en el rango de UHF, preestablecidas en el equipo.

En la figura 3.19 se muestra que en los extremos la frecuencia inferior es de 553,642857 MHz, considerando la frecuencia central del canal de 557,14 MHz. Se tiene un rango de variación para calcular la intermodulación de 0,2 MHz, obteniendo una frecuencia de 553,842857 MHz, resultando una atenuación de hombro de -10,00 dB.

Para el extremo superior, la frecuencia superior es de 560,642857 MHz, con el mismo rango para considerar de 0,2 MHz la frecuencia es de 560,442857 MHz, resultando una atenuación de hombro de -10,01 dB. Promediando un valor de -10 dB de atenuación en los extremos.

De acuerdo a la ecuación, (2), la Potencia de recepción para la propagación en el espacio libre, y calculando la potencia recibida en el decodificador, a una distancia de 6 metros desde la antena hasta el receptor el resultado de la potencia recibida es:

$$P_R(\text{dBm}) = P_T(\text{dBm}) - 10 \beta \log d, \quad (2)$$

$$P_T = -50.64 \text{ dBm}$$

$$P_R(\text{dBm}) = -50,64 \text{ dBm} - 20 \log 6$$

$$P_R(\text{dBm}) = -66,2 \text{ dBm}$$

Los resultados indican que no existen problemas de intermodulación y los cálculos de la potencia de recepción concuerdan con la potencia del canal.

B. Función de Distribución de la Potencia Complementaria Acumulativa (CCDF)

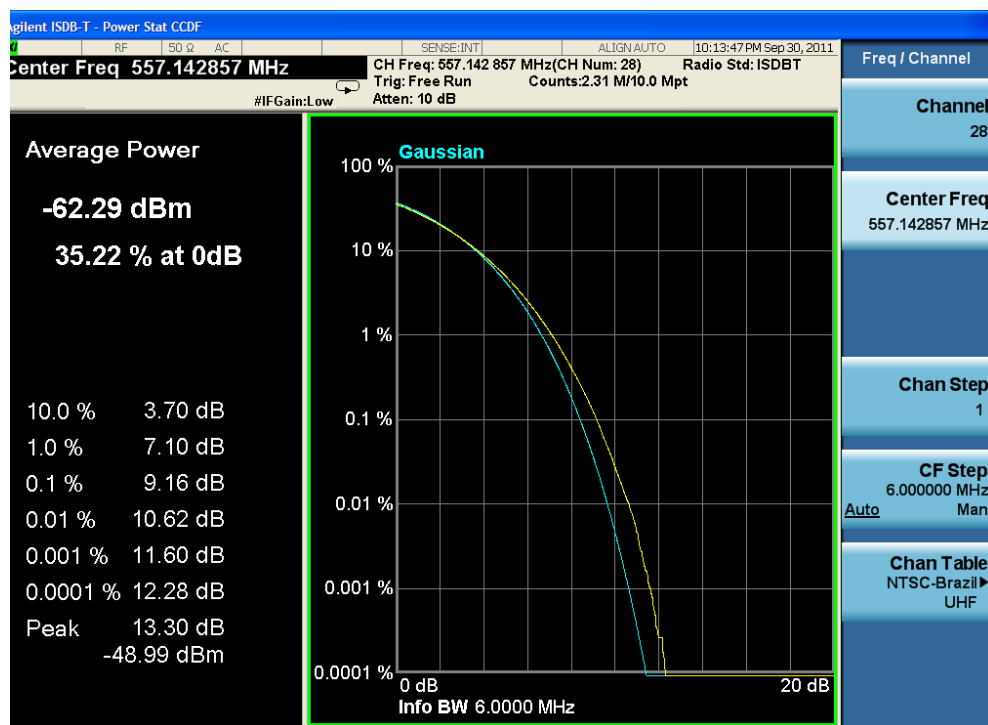


Figura 3. 22 Curvas Estadísticas CCDF Trans. deLab. ISDB-T

El objetivo principal de las curvas CCDF es especificar completamente y sin ambigüedades las características de potencia de las señales que serán multiplexadas, amplificadas y decodificadas [8]. En la figura 3.20 el eje Y es el porcentaje de tiempo en que la potencia de la señal esta en o sobre la potencia especificada en el eje X, el eje

X esta en dB lo que significa que se está midiendo la relación pico a promedio en comparación con los niveles de potencia absolutos. La razón por la que se utiliza la CCDF es debido a que enfatiza los valores picos de las señales medidas [8].

Las señales de los sistemas digitales dependiendo del tipo de modulación van a contener picos de potencia menor o mayor (pudiendo utilizarse en sistemas que no puedan utilizar el recurso de potencia sin ninguna medida). Por ejemplo QPSK tiene menos picos de potencia que 16QAM.

Como resultado de las pruebas realizadas en la figura 3.20 se observa una potencia promedio de -62,29 dBm y un pico de potencia de -48,99 dBm.

En la señal medida en el 10 % del tiempo, la señal sobre pasa en 3,70 dB a la señal de referencia que para nuestro caso es la señal amarilla. Para el 1% del tiempo la señal sobrepasa en 7,10 dB, para el 0,001% del tiempo el valor de potencia es 11,60 dB. De acuerdo a los valores obtenidos en la figura 3.18 no existen desviaciones de potencia teniendo un pico de 13,30 dB a una potencia de -48,99 dBm.

La curva muestra claramente la diferencia entre lo teórico y lo medido en la pruebas, si esta diferencia fuese considerable quiere decir que existiría un mal funcionamiento en la señal de salida ya que significaría que es mayor que el límite del mezclador o el ADC utilizado en el transmisor, debiendo analizar los componentes internos del sistema. Para el caso del transmisor de laboratorio no existen variaciones significativas.

C. Precisión de Modulación

Para las mediciones en el transmisor de laboratorio, se consideró la frecuencia del canal 28 a 557,142857 MHz.

La figura 3.23 muestra los resultados de las pruebas realizadas en el transmisor de laboratorio:

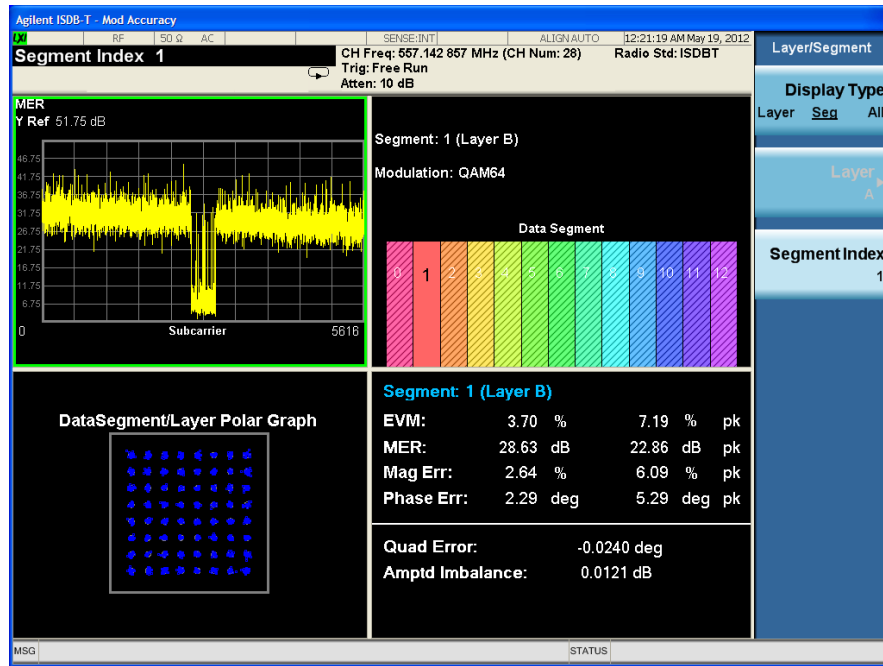


Figura 3. 23Exac. deMod, MER, Const.ySeg para 64QAM.

Tabla 3. 15 Resumen de mediciones del transmisor de laboratorio

Parámetro	RMS	PICO
EVM	3.70%	7.19%
MER	28.63 dB	22.86 dB
Error de Magnitud	2.64 %	6.09 %
Error de fase	2.29 grados	5.29 grados

Los resultados que se muestran en la tabla 3.15 muestran que existe un porcentaje bajo de EVM y MER, debido a la cercanía del analizador dentro del laboratorio, observando un resultado ideal, con una distorsión insignificante.

Los valores mínimos operacionales recomendados de MER y EVM se muestran en la tabla 3.16, de acuerdo al tipo de modulación que se utilice [11].

Tabla 3. 16 MER y EVM recomendables.

Tipo de Modulación	MER [dB]	EVM (%)
QPSK	18	12,58
16 QAM	24	6,30
64 QAM	27	4,466

La diferencia entre el valor recomendado de MER para 64 QAM y el obtenido en la medición sobrepasa en 1 dB, siendo excelente el desempeño del transmisor de laboratorio, la tasa de error de símbolo es de 10^{-7} .

Gracias a la codificación de canal o sea códigos convolucionales, RS y todos los mecanismos de corrección de errores que posee ISDB-T, al momento de decodificar las señales presenta un gran desempeño mostrando la imagen de video en pantalla nítida y con una calidad HD.

Para constelaciones con mayor orden se requiere más energía de símbolo con respecto a la densidad de potencia de ruido, sin aumentar la probabilidad de error de símbolo, como se demuestra en la figura 3.22.

3.2.7 Mediciones Realizadas al Transmisor de ECTV.

En esta sección se midió la señal del transmisor de ECTV a fin de conocer el desempeño del mismo, con la configuración de parámetros explicados en las secciones anteriores de este trabajo.

A. Potencia del Canal

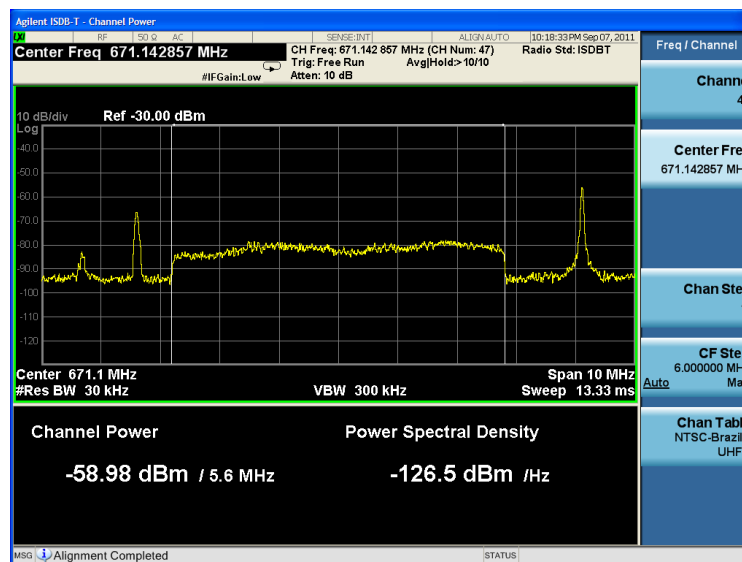


Figura 3. 24 Potencia de canal del transmisor de ECTV

De acuerdo a las mediciones realizadas los resultados son:

Potencia de Canal: -58,98 dBm / 5,6 MHz

Densidad espectral de Potencia: -126,5 dBm /Hz

En la figura 3.24 se muestra los extremos inferior y superior, donde se observa que la frecuencia inferior es de 667,642857 MHz, considerando la frecuencia central del canal de 671,1428 MHz, se tiene un rango de variación para calcular la intermodulación de 0,2 MHz, obteniendo una frecuencia de 667,842857 MHz, resultando una atenuación de hombro de -15,00 dB.

Para el extremo superior la frecuencia es de 674,642857 MHz, considerando 0,2 MHz la frecuencia es de 674,442857 MHz, resultando una atenuación de hombro de -15,0 dB.

Para las pruebas del transmisor de ECTV en el límite inferior se tiene una Potencia de -59,32 dBm con una atenuación de -15,53 dB y para el límite superior se tiene una potencia de -87,12 dBm con una atenuación de 8.87 dB.

Para este caso existen dos canales analógicos adyacentes, 46 y 48, donde la componente de video del canal 46 en el límite inferior podría causar intermodulación al canal 47, por lo que en este transmisor se realizará el análisis de potencia de canal adyacente.

B.CCDF

En la figura 3.25 se muestra el análisis de CCDF al transmisor de ECTV.

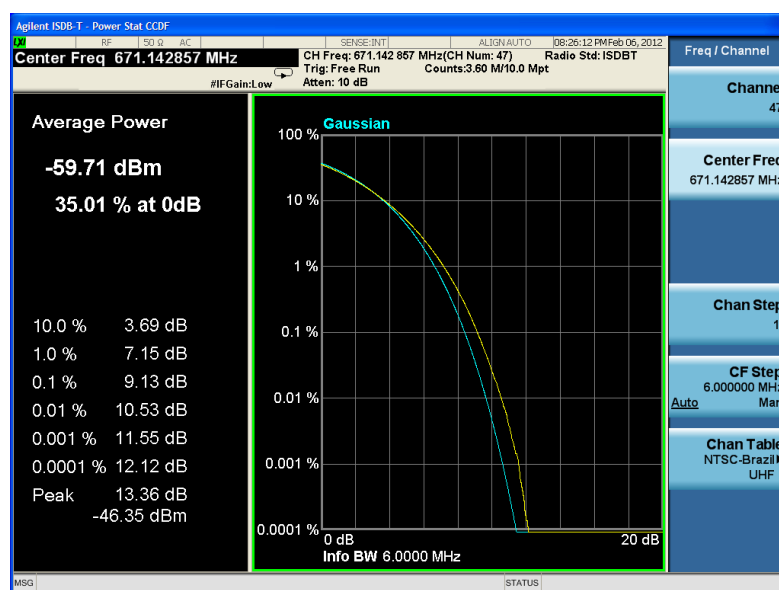


Figura 3. 25 CCDF Transmisor de ECTV

La potencia promedio es de $-62,29$ dBm y un pico de potencia de $-48,99$ dBm.

En la señal medida en el 10 % del tiempo la señal sobre pasa un $3,69$ dB de la señal de referencia. Para el 1% de la señal sobrepasa el $7,15$ dB, para el 0,001% del tiempo el valor de potencia es $11,55$ dB. De acuerdo a los valores obtenidos en la figura 3.25 no existen desviaciones considerables teniendo un pico de $13,36$ dB a una potencia de $-46,35$ dBm.

C.Potencia de Canal Adyacente

Para el transmisor ECTV existen canales adyacentes, por lo que es necesario realizar el análisis de potencias de canal adyacente, para lo cual se presenta la figura 3.26 donde se muestra el resultado obtenido en las pruebas:

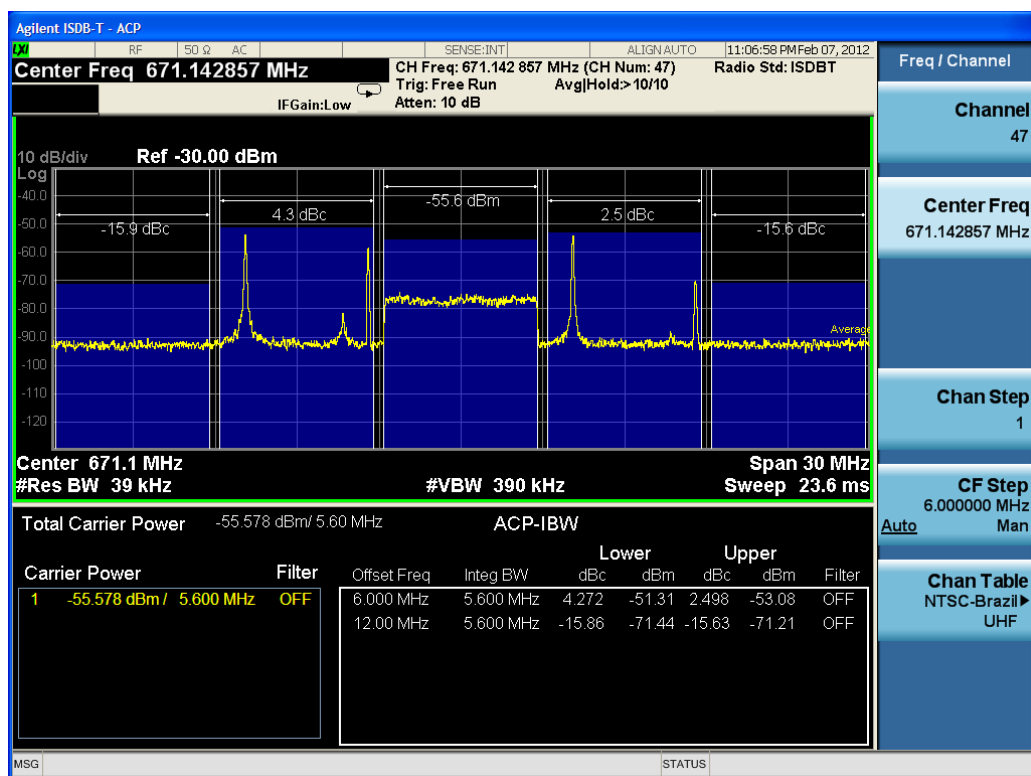


Figura 3. 26 Potencia de Canal Adyacente del Transmisor de ECTV.

La potencia del canal adyacente es la potencia contenida en un ancho de banda relativo a la potencia promedio total de la banda de frecuencia del canal. Puede también

ser expresado como una relación de densidades espectrales de potencia y la banda de frecuencia offset especificada [6].

Como una medición de emisión fuera del canal la Potencia de Canal adyacente combina especificaciones dentro y fuera de banda para proveer útil información para conocer el crecimiento espectral y emisiones producidas por componentes y bloques de circuitos [6].

La Potencia Canal Adyacente (ACP) analiza los niveles de potencia total recibida con respecto al ancho de banda de la portadora y a la potencia promedio en esa banda, y a las frecuencias dadas en las bandas laterales superior derecha e izquierda de la frecuencia de portadora, en otras palabras es la medida de la cantidad de interferencia o potencia, en los canales adyacentes [6].

Para las pruebas del sistema el Analizador de espectro divide al SPAN total de 30 MHz en 5 partes de 6 MHz, poniendo en el centro de la pantalla al canal analizado, para este caso es el 47, con una Potencia total de portadora de -55 dBm en un ancho de banda de 5,6 MHz.

En la tabla 3.17 se muestra los resultados obtenidos en los canales adyacentes:

Tabla 3. 17 Resumen del Análisis de ACP

Freq. Offset	Integ.BW	dBc	dBm
6 MHz	5.600 MHz	2.498	-53.08
-6 MHz	5.600 MHz	4.272	-51.31
12 MHz	5.600 MHz	-15.63	-71.21
- 12 MHz	5.600 MHz	-15.86	-71.44

De acuerdo al análisis la componente del canal 46 de video que está a una frecuencia central de 667,75 MHz con una potencia de portadora promedio de -51,31 dBm, y una diferencia de 4,272dBc comparado con la potencia del canal 47 de -55,6 dBm. Esta portadora de video está interfiriendo con la señal del canal 47, pero al observar la figura 2.24 muestra claramente que la señal del canal digital no interfiere con el canal 46, y viceversa, lo que lleva a la conclusión que canales analógicos adyacentes a los canales digitales no interfieren.

D.Precisión de Modulación

De acuerdo a las pruebas realizadas con los equipos se muestran la figura 3.27 y 3.28 el diagrama de constelaciones, el MER y la distribución de segmentos:

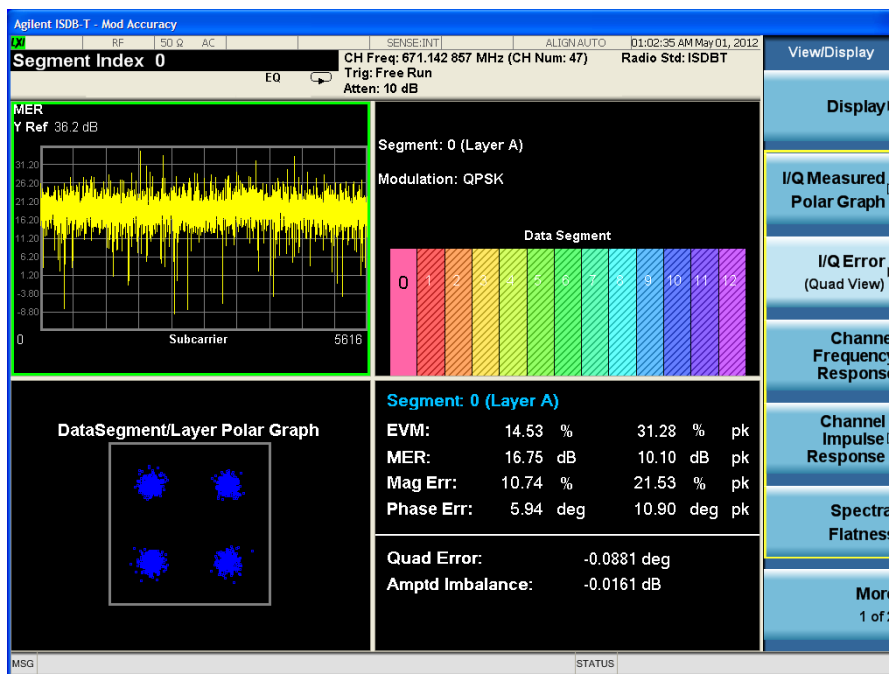


Figura 3. 27 Exactitud de Modulación del Trans. ECTV con QPSK

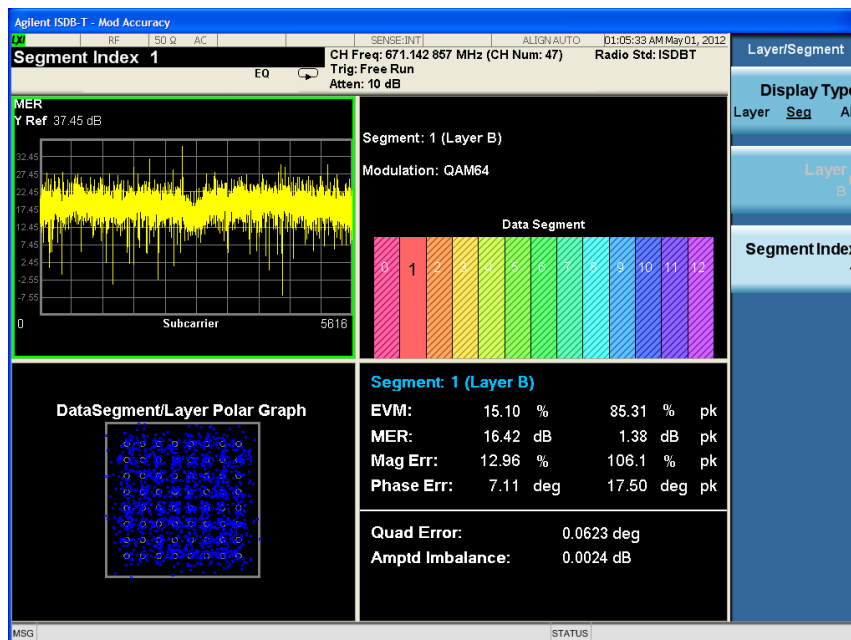


Figura 3. 28 Exactitud de Modulación del TransECTV con 64 QAM

Tabla 3. 18 Resumen de Resultados del Transmisor de ECTV

Parámetro	RMS QPSK	PICO QPSK	RMS 64 QAM	PICO 64 QAM
EVM	14.53%	31.28%	15.10 %	85.31 %
MER	16.75Db	10.10 dB	16.42 dB	1.38 dB
Error de Magnitud	10.74%	21.53%	12.96 %	106.1 %
Error de fase	5.94grad	10.90grad	7.11 grad	17.50 grad.

Los resultados que se muestran en la tabla 3.18 prueban que existe una diferencia en el porcentaje entre el EVM y MER de QPSK, comparado con 64QAM. Pese a la distancia entre el transmisor y el receptor (17 km) ha sido posible visualizar los parámetros de configuración del transmisor.

Se debe tomar en cuenta que la potencia de salida del transmisor del sistema de ECTV es 500 w, 56,9897 dBm comparada con la de recepción en el equipo de -55.17 dBm en el instante de la medición.

La figura 3.29 muestra la configuración real del transmisor, comprobando que se está enviando una señal OneSeg, utilizando la capa A y con una modulación QPSK. Y para los demás segmentos utilizan 64 QAM, en la capa B, dejando para la transmisión del canal de HD a la Ciudad de Quito.

		Current	Next	Current Settings
Partial Reception		Yes	Yes	Yes
Layer A:	Modulation Scheme	QPSK	QPSK	QPSK
	Code Rate	2/3	2/3	
	Interleaving Length	4	4	
	Segs	1 Segment	1 Segment	1 Segment
Layer B:	Modulation Scheme	64QAM	64QAM	64QAM
	Code Rate	3/4	3/4	
	Interleaving Length	2	2	
	Segs	12 Segment	12 Segment	12 Segment
Layer C:	Modulation Scheme	Unused layer	Unused layer	Unused layer
	Code Rate	Unused layer	Unused layer	
	Interleaving Length	Unused layer	Unused layer	
	Segs	Unused layer	Unused layer	Unused layer
System Descriptor		ISDB-T		
Indicator of Transmission-parameter Switching		Normal value		
Startup Control		OFF		
Phase Correction		0 (No Phase Correction)		

Figura 3. 29 TMCC Resultados de la Codificación del Transmisor ECTV

3.2.8 Resultados de las mediciones realizadas en el Sistema ISDB-T

Para establecer el desempeño del canal se realizó las pruebas de:

- Potencia del Canal
- Potencia del Canal Adyacente
- CCDF
- Exactitud de Modulación.

Al realizar el análisis, primero se debe configurar el modo el cual va a trabajar el transmisor, esto permitirá aumentar o disminuir la tasa de transmisión.

De acuerdo al tipo de modulación, se aumentará la eficiencia espectral, permitiendo una tasa de transmisión que soporte servicios de canales en HD.

El ajuste del intervalo de guarda ayudará a dar mayor robustez al sistema en ambientes donde la multitrayectoria de las señales sea mandatoria.

Se debería establecer un protocolo de pruebas para el Ecuador a fin de que esté de acuerdo a las necesidades del País.

Se comprobó que el MER es la Energía del Símbolo con respecto a la Energía del Ruido, quedando en función de la modulación el desempeño del sistema.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el transmisor de ECTV se encuentra listo para su transmisión oficial en formato digital.

En ambientes donde existe bastante ruido, el estándar se desempeña de una forma excelente brindando a los usuarios una calidad de video muy buena, comprobándose en el transmisor de laboratorio y en el transmisor de ECTV.

Se comprobó que el canal ECTV está transmitiendo OneSeg, para utilizar dispositivos móviles, que de acuerdo al análisis realizado trabaja con buen desempeño.

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

ISDB-T

- Para las pruebas se utilizaron los datos de videos pregrabados, de hasta tres canales, de HD, para lo que se recomienda utilizar un servidor que permita realizar el TS en tiempo real.
- El transmisor de laboratorio, no puede ser utilizado para transmitir con mayor potencia ya que al generar las portadoras en OFDM, las portadoras inferiores presentan atenuación comparadas con las portadoras superiores. Al incrementar la potencia se aumentaría la distorsión en el espectro.
- El transmisor del laboratorio, como el de ECTV trabajan en modo 3, generando 5616 portadoras en total, 432 por segmento tomando en cuenta los 13 segmentos de todo el espectro de ISDB-T, en el equipo se selecciona modo 8k, por el número de portadoras que utiliza cada modo en la realidad.
- De las tres capas jerárquicas del estándar la capa A, B y C trabajan con modulación QPSK, 16 QAM y 64 QAM, dependiendo de la configuración de los transmisores.
- Una manera de comprobar el desempeño de la modulación digital en un transmisor de ISDB-Tb es medir la exactitud de Modulación, la cual permite obtener un resumen de resultados, que verifican los parámetros de configuración del transmisor.
- Las pruebas realizadas con el ancho de banda de canal se comprueba los cálculos realizados dejando como resultado una eficiencia en el canal de 99%, con 5,57 MHz utilizados y 428,57 kHz de separación a los otros transmisores, con un total de ancho de banda de 6 MHz, en el transmisor de la ESPE y ECTV, pasando las pruebas los dos transmisores.
- La potencia de canal para los sistemas manejan diferentes potencias de transmisión, con lo que se comprueba que no existen problemas de intermodulación en el transmisor de ECTV. La densidad espectral de potencia da

como resultado – 133 dBm / Hz. Parámetro que se debe tomar en cuenta cuando se instalen más transmisores digitales.

- De las mediciones realizadas la más importante es la precisión de modulación trabajando con parámetros como EVM y MER, los cuales se deben considerar porque dan el desempeño real del transmisor, obteniendo valores no recomendados en el transmisor de ECTV y menores variaciones en el transmisor de laboratorio.
- A diferencia del transmisor de la ESPE, para el transmisor de ECTV se debe analizar la potencia de canal adyacente ya que cuando se migre a TV Digital no deben superar los límites de potencia establecidos.
- El transmisor de laboratorio sirvió como prueba para encontrar la configuración real del transmisor de ECTV, que se muestra en la figura 3.26, en donde se puede observar que transmite en el modo 3, con 1 segmento en la capa A y doce segmentos en la capa B. Igualmente en la capa A utiliza una modulación QPSK y en la capa B utiliza 64 QAM. El intervalo de guarda que utiliza este canal es de 1/16 a diferencia de la configuración del transmisor de laboratorio donde se configuro a 1/8.
- Al momento de configurar el receptor, los dos parámetros más importantes son el modo donde se escogen el número de portadoras por segmento, el cual está directamente relacionado con la velocidad de transmisión de datos, mientras que el segundo parámetro es el intervalo de guarda, que también influye en el flujo de información ya que se utiliza menos porción del tiempo del símbolo como respaldo en la transmisión. Al utilizar un intervalo de guarda erróneo y un modo diferente al configurado, los valores de EVM, MER y el diagrama de constelaciones resultan totalmente colapsados.
- Una manera de comprobar el desempeño de la modulación digital en un transmisor de ISDB-T es medir la exactitud de Modulación, donde se encuentran valores de EVM y MER, donde se comprobó que están directamente relacionados con la Energía del Símbolo con respecto a la Potencia del Ruido, donde se aprecia que para constelaciones con mayor número de símbolos como 64-QAM, se utiliza mayor energía de símbolo resultando valores de MER más elevados.

- Las pruebas realizadas con el ancho de banda de canal, permiten comprobar los cálculos realizados, dejando como resultado una eficiencia en el canal de 99%, con 5,57 MHz utilizados y 428,57 kHz de separación a los otros transmisores y con un total de ancho de banda de 6 MHz, en el transmisor de laboratorio y en el canal del Estado ECTV.
- De acuerdo a las curvas características de los transmisores, se presenta una desviación estándar sin variaciones con un pico máximo de 13,30 dB, que es una diferencia aceptable entre la curva ideal y la medida por el equipo. De existir una diferencia mayor, esto significaría un mal funcionamiento en el bloque de pre-amplificación y amplificación.
- De las mediciones realizadas y como se comprobó, la más importante es la precisión de modulación trabajando con parámetros como EVM y MER, mismos que deben enmarcarse en los valores recomendados ya que estos valores muestran el desempeño real de los transmisores.
- De acuerdo a las pruebas realizadas, el desempeño del canal se refleja en los valores del MER y EVM. Los niveles de MER y EVM para cuando la señal se congela o distorsiona cuando se trabaja con QPSK, en promedio están en los 15 dB. Para modulaciones como 64 QAM que utiliza más energía de símbolo en promedio están entre 22 dB.

IPTV

- Una manera de comprobar el desempeño de un Sistema IPTV es encontrar el throughput, jitter y retardo, por lo que se concluye que WiMAX es capaz de brindar este servicio con buena capacidad y calidad de servicio.
- Se probó el desempeño de la red utilizando software inyector de tráfico, logrando encontrar la capacidad del canal, pudiendo enviar canales de alta definición, dependiendo de la capacidad de la BS.
- Para brindar servicios de SD y HD el sistema tiene la capacidad, pero el desempeño se mejoraría aumentando la potencia de salida de la BS, utilizando modulaciones como 64 QAM o 16 QAM.

- Gracias a la versátil configuración que ofrece la BS, se puede escoger la calidad de servicio de los usuarios y la velocidad, con lo que se garantizaría la entrega de video en HD.
- Una de las principales características de WiMAX es su escalabilidad y su fácil instalación permitiendo brindar servicio de una forma muy rápida. Gracias a las técnicas de codificación digital y las técnicas de modulación digital se ha incrementado la eficiencia espectral en estos sistemas llegando en el mejor de los casos a 3 bits/Hz.
- De acuerdo al análisis realizado se optimizó el desempeño del sistema permitiendo brindar a los clientes sin línea de vista una velocidad de 4 Mbps, sin saturación del canal y con calidad de servicio.
- El valor del Retraso (Delay) según la recomendación de la ITU debe ser menor a 150 ms en una red WiMAX, para el caso del Sistema implementado el valor de 0,72 s superando el valor recomendado, este valor se debe a la posición donde se encuentra el CPE. El Jitter en promedio es de 7,5 ms mucho menor al valor recomendado de la ITU. El throughput promedio de la red es de 4 Mbps lo cual asegura la entrega de servicios como IPTV en un ambiente como la ESPE.
- Para mejorar el desempeño de la Red de IPTV se debe tomar en cuenta los protocolos que se utilizan para la transmisión de video unicast y multicast, los cuales mejoran el uso del recurso ancho de banda, se recomienda hacer un estudio del comportamiento de los protocolos multicast que mejoran la experiencia del usuario al cambio y entrada a un grupo (dejar un canal o escoger uno nuevo).
- El desempeño del sistema mejora cuando se optimiza el ancho de banda asignado en la BS, ya que mejora la intermitencia en los enlaces, entregando mayor capacidad a los CPE.
- Al crear un servicio en la estación base se trabajó con UGS asignando el ancho de banda mínimo para el envío del video ocupando toda la capacidad del canal, lo que implica que si el enlace tiene una capacidad de 2 Mbps la BS asigna esa capacidad, al contrario de BE, que asigna la capacidad sin asegurar una calidad de servicio.

- Las diferencias en los resultados entre la simulación y en el sistema implementado es que se considera línea de vista alcanzando en la simulación la capacidad máxima, en cambio en el sistema se obtienen mediciones reales alcanzando una capacidad máxima de 4 Mbps.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

IPTV

- ✓ WiMAX no necesita instalación de canal de retorno y es una tecnología que permite implementar servicios como IPTV.
- ✓ Se puede brindar servicios además del video como voz y datos.
- ✓ Se necesita una infraestructura de red que permita garantizar a los usuarios un ancho de banda de por lo menos 8 Mbps para canales de alta definición y para canales con definición estándar de 4 Mbps.
- ✓ El costo de implementación en este tipo de redes se debe considerar ya que tiene una infraestructura similar a la de un sistema celular.
- ✓ Puede trabajar sin línea de vista y también para usuarios móviles.

ISDB-T

- ✓ Fácil instalación y bajo costo al momento de brindar el servicio.
- ✓ Proceso de migración lento de analógico a digital
- ✓ Excelente desempeño en ambientes de mucho ruido y con multicamino.
- ✓ Se puede enviar utilizando el mismo espectro varios tipos de video como HD y SD e incluso para dispositivos móviles.
- ✓ No afectan canales adyacentes analógicos a canales digitales con este estándar.

5. TRABAJOS FUTUROS

- Analizar los tiempos de cambio de un canal a otro en un ambiente multicast con un servidor de playout IPTV en tiempo real, por lo menos 3 canales de alta definición.
- Estudiar las referencias del estándar brasileño para crear como base para la generación de normas aplicadas a las necesidades del país.
- Estudiar la asignación de frecuencias previa la migración de canales analógicos a digitales, para establecer las necesidades.
- Simular la generación del transport stream y todos los bloques con los cuales se compone un transmisor a fin de evaluar el desempeño del mismo variando parámetros fundamentales como el intervalo de guarda, interleaving, entre otros.
- Estudiar el desempeño del transmisor con diferentes códigos de canal para establecer el mejor código en diferentes ambientes.
- Desarrollo de una herramienta de Simulación para ISDB-Tb.

PUBLICACIONES

- ✓ Artículo titulado: “Analysis of Transmission Measurements of ISDB-T”
Publicado en ANDESCON Noviembre 2012. POSTER.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Gerald W. Collins (2001), *Fundamentals of Digital Television Transmission.*, PE; Editorial John Wiley & Sons, Inc.
- [2] Marcelo Sampaio de Alencar (2009), *Digital Television Systems.*, Editorial Cambridge.
- [3] Hervè Benoit (2007), *Digital television, Satellite, cable, Terrestrial, IPTV, Mobile TV in the DVB Framework*, Third Edition
- [4] Gerard O`Driscoll (2007), *Next Generation IPTV Services and Technologies*, Wiley & Sons, Inc., Publication.
- [5] Borko Furht, Ph.D. (2008), *Handbook of Mobile Broadcasting DVB-H, DMB, ISDB-T, AND MEDIAFLO*, by Taylor & Francis Group, LLC. Birthday
- [6] Agilent Technologies Inc., (2008-2011) *N6155A & W6155A ISDB-T Measurement Application Measurement Guide.*
- [7] María Augusta Illescas, Diego Villamarín, (2010), *Proyecto de Grado "Implementación de un transmisor de pruebas de TV Digital ISDB-Tb, para la emisión de aplicaciones interactivas"*.
- [8] Agilent Technologies Inc., (2008-2011), *Characterizing Digitally Modulated Signals with CCDF Curves*, Application Note.
- [9] Science and Technology Research Laboratories (2012-03-19), URL: [Http://www.nhk.or.jp/strl/open99/de-2/shosai-e.html](http://www.nhk.or.jp/strl/open99/de-2/shosai-e.html).
- [10] Byron Moreno Q. y Juan Salazar B (Noviembre 2011), *Estudio y Análisis del Estándar de Televisión Digital adoptado por el Ecuador.*
- [11] Ron Hranac (2012-05-14), URL: *Digital Transmission, Part 2; CNR, SNR and MER*, Cisco Systems, and Bruce Currivan, Broadcom.
- [12] A practical Engineering Guide (2011), *Digital Video and Audio Broadcasting Technology*; Springer 2011, Third Edition.
- [13] Alberto Los Santos Aransay (2009), URL: *Estado del Arte en IPTV.*
- [14] Dr. Víctor Rangel Licea (Octubre 2009); *Modelado de redes WiMAX*; Universidad Nacional Autónoma de México.

FECHA DE ENTREGA DE LA TESIS

El presente documento fue entregado en la Dirección de Postgrado, reposando en la Escuela Politécnica del Ejército desde:

Sangolquí, 05 de Octubre del 2012

Ing. Raúl Haro Báez
AUTOR

Ing. Rodrigo Silva
Coordinador MRIC