

PRÓLOGO

Este proyecto esta realizado para analizar los tres sistemas de TV digital existentes actualmente en el mundo que son: ATSC desarrollado en los Estados Unidos, DVB-T desarrollado en Europa y ISDB-T desarrollado en Japón.

Para poder definir el procedimiento, el tipo de pruebas a realizarse, factores y parámetros que intervienen en las pruebas de campo de TV digital, así como también posteriormente la evaluación de las mediciones realizadas en el Brasil para tener referencia de las pruebas que se deberán realizar en el Ecuador.

Este análisis de medición de las pruebas de campo es justificado por los siguientes motivos:

- Los sistemas de TV Digital usan diferentes modelos de modulación y Ecuador posee una zona geográfica diversa y diferente a otros países que influyen en el desempeño de la modulación.
- Al partir del sistema analógico de TV NTSC en el Ecuador, se debe analizar la interferencia de canales digitales, para saber cual de los sistemas de transmisión digital se acopla mejor al sistema NTSC.
- Dar al País las ventajas de la transmisión de TV digital.

Por estos motivos es importante comenzar los estudios de TV digital en el Ecuador y el paso más importante es la medición y análisis de campo para poder lograr la implementación de uno de los tres sistemas de TV digital.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO.....	11
ÍNDICE DE TABLAS.....	51
ÍNDICE DE FIGURAS.....	61
ÍNDICE DE ANEXOS.....	81
GLOSARIO.....	1G

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Sistema ATSC.....	1
1.1.1 Características de la fuente	3
1.1.2 Características del sistema de codificación y modulación	6
1.1.3 Soluciones del sistema ATSC para movilidad	10
1.2. Sistema DVB-T.....	12
1.2.1 Características de la fuente	12
1.2.2 Características del sistema de codificación y modulación	15
1.3. Sistema ISDB-T.....	19
1.3.1 Características de la fuente	19
1.3.2 Características del sistema de codificación y modulación	20
1.3.3 Diferencia entre la norma MPEG-2 y MPEG-4	24
1.3.4 Diferencia entre Sistema Brasileño de Televisión Digital Terrestre SBTVD-T.....	26

CAPÍTULO II

2. PRUEBAS A REALIZARSE EN LOS SISTEMAS DE TV DIGITAL.....	28
2.1. Sistemas probados.....	28
2.1.1 Introducción	28

2.1.2	Sistemas probados en Brasil	29
2.2.	Pruebas de campo	32
2.2.1	Materiales y métodos.....	33
2.2.2	Protocolo de pruebas.....	44

CAPÍTULO III

3.	TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN.....	52
3.1.	Transmisión y recepción de la señal de video en ATSC	52
3.1.1	Codificación de la señal de video	54
3.1.2	Decodificación de la señal de video.....	55
3.2.	Transmisión y recepción portable y móvil en DVB-T	56
3.2.1	Transmisión No-Jerárquica.....	56
3.2.2	Transmisión Jerárquica.....	58
3.2.3	Recepción portable y móvil.....	59
3.3.	Transmisión y recepción en el sistema ISDB-T.....	59
3.3.1	Transmisión OFDM en forma segmentada	59
3.3.2	Operación en distintos modos de transmisión	60
3.3.3	Transmisión segmentada.....	60
3.3.4	Transmisión en modo Jerárquico.....	62
3.3.5	Transmisión en modo parcial o de banda angosta	63
3.3.6	Parámetros de transmisión del canal de 6 MHz	64

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS DE CAMPO.....	67
4.1.	Parámetros de análisis	67
4.1.1	Introducción	67
4.1.2	Herramientas de análisis	72
4.1.3	Características de los sistemas	73
4.1.4	Rendimiento de los sistemas	75
4.2.	Pruebas de cobertura con recepción externa.....	76
4.2.1	Introducción	76
4.2.2	Experimento 1.....	77
4.2.3	Experimento 2.....	84

4.3. Pruebas de recepción en condiciones domésticas.....	90
4.3.1 Introducción	90
4.3.2 Prueba	92
4.4. Pruebas con la estación reforzadora de señal	96
4.4.1 Introducción	96
4.4.2 Experimento único.....	98
4.5. Pruebas de recepción móvil	102
4.5.1 Introducción	102
4.5.2 Análisis de las pruebas.....	102

CAPÍTULO V

5. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	104
5.1. Sistema ATSC vs Sistema DVB-T.....	104
5.1.1 Fuente de datos.....	104
5.1.2 Tasas de datos y cobertura	106
5.1.3 Movilidad y multitrayectoria.....	109
5.1.4 Ancho de banda y eficiencia espectral	111
5.1.5 Coexistencia con transmisiones analógicas	112
5.2. Sistema ATSC vs Sistema ISDB-T.....	114
5.2.1 Fuente de datos.....	114
5.2.2 Tasas de datos y cobertura	115
5.2.3 Movilidad y multitrayectoria.....	116
5.2.4 Ancho de banda y eficiencia espectral	117
5.3. Sistema DVB-T vs Sistema ISDB-T.....	118
5.3.1 Fuente de datos.....	118
5.3.2 Tasas de datos	119
5.3.3 Movilidad y multitrayectoria.....	119
5.3.4 Ancho de banda y eficiencia espectral	120
5.3.5 Costo y disponibilidad de equipos	121
5.3.6 Extensiones y proyección futura.....	122

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	123
------------------------------------------------	------------

6.1. Cuadros comparativos de los resultados.....	123
6.2. Conclusiones de los cuadros.....	124
6.3. Conclusiones y recomendaciones finales del proyecto	127

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla. 1.1. Formatos de videos más comunes utilizados en EEUU	4
Tabla. 1.2. Formatos de video y las relaciones de imágenes utilizadas en el estándar ATSC.....	5
Tabla. 1.3. Formatos más comunes en SDTV y HDTV del estándar DVB-T.....	14
Tabla. 1.4. Resoluciones de pantalla.	20
Tabla. 1.5. Tabla comparativa de sistemas de TV Digital	26
Tabla. 2.1. Sistemas ampliamente probados.	31
Tabla. 2.2. Receptores probados.	32
Tabla. 2.3. Escala subjetiva de 5 niveles.	41
Tabla. 3.1. Parámetros principales para HDTV y STDV en modo de transmisión No-Jerárquica.....	57
Tabla. 3.2. Parámetros principales para transmisión Jerárquica.....	59
Tabla. 3.3. Parámetros de transmisión para ISDB-T en 6MHz. Reproducida con el permiso de la DIBEG.....	65
Tabla. 3.4. Intervalos de guarda para los distintos modos de operación.....	66
Tabla. 4.1. Sistemas probados.....	78
Tabla. 4.2.a) Valores medidos.....	79
Tabla. 4.2.b) Valores calculados.	80
Tabla. 4.3. Características de recepción y cálculo de parámetros.	92
Tabla. 6.1. A.....	123

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1.1. Sistema ATSC [3].....	2
Figura. 1.2. Diagrama funcional del sistema de codificación de canal y modulación de ATSC.....	7
Figura. 1.3. a) Espectro VSB, b) Espectro analógico NTSC.....	10
Figura. 1.4. Diagrama general del sistema DVB-T.....	12
Figura. 1.5. Modos de operación en 2K y 8K en COFDM.....	16
Figura. 1.6. Modulador COFDM.....	17
Figura. 1.7. Sistema de codificación de canal y jerarquización de ISDB-T.....	21
Figura. 2.1. Diagramas de bloques del transmisor.....	33
Figura. 2.2. Diagramas de bloques del receptor.....	38
Figura. 2.3. Mediciones exteriores, interiores y móviles.....	50
Figura. 3.1. Proceso de transmisión y recepción de una señal de video en el estándar ATSC.....	53
Figura. 3.2. Codificador con estimación de movimiento.....	55
Figura. 3.3. Diagrama de un decodificador para la señal de video.....	55
Figura. 3.4. Capacidad de programas a transportar en modo No-jerárquico.....	57
Figura. 3.5. Capacidad de programas a transportar en modo Jerárquico.....	58
Figura. 3.6. Segmento de datos en ISDB-T, para 6MHz de ancho de banda del canal.....	61
Figura. 3.7. Segmento de datos intercalados.....	61
Figura. 3.8. Ejemplo de transmisión COFDM en modo Jerárquico, en dos grupos diferentes, en el mismo canal y al mismo tiempo.....	62
Figura. 3.9. Recepción ISDB-T de banda angosta.....	64

Figura. 4.1. Diagrama de bloques	68
Figura. 4.2. Intensidad de campo frente a los puntos de medida	81
Figura. 4.3. Margen de recepción frente a los puntos de medida.....	83
Figura. 4.4. Índice de Eficiencia del Sistema frente a la diferencia entre intensidad de campo recibida y intensidad de campo mínima.....	84
Figura. 4.5. Intensidad de campo frente a los puntos de medida	86
Figura. 4.6. Margen de recepción frente a los puntos de medida.....	88
Figura. 4.7. Índice de Eficiencia del Sistema frente a la diferencia entre intensidad de campo recibida y intensidad de campo mínima.....	89
Figura. 4.8. Relación señal a ruido de recepción frente a los puntos de medida ..	93
Figura. 4.9. Margen de recepción frente a los puntos de medida.....	94
Figura.4.10. Índice de Eficiencia del Sistema frente a la diferencia entre intensidad de campo recibida y intensidad de campo mínima.....	95
Figura. 4.11. Intensidad de campo frente a los puntos de medida	99
Figura. 4.12. Margen de recepción frente a los puntos de medida.....	100
Figura.4.13. Índice de Eficiencia del Sistema frente a la diferencia entre intensidad de campo recibida y intensidad de campo mínima.....	101

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Emplazamientos Quito y Guayaquil	130
ANEXO 2. Datos para las Pruebas de Cobertura con Recepción Externa: Experimento 1	134
ANEXO 3. Datos para las Pruebas de Cobertura con Recepción Externa: Experimento 2	135
ANEXO 4. Datos para las Pruebas Recepción Interna: Conjunto 3	137
ANEXO 5. Datos para las Pruebas con la Estación Gap-filler: Experimento Único	139

GLOSARIO

SIGLAS	INGLES	ESPAÑOL
8-VSB	<i>Vestigial Side Band</i>	Modulación por Banda Lateral Residual
A		
AAC	<i>Advanced Audio Coding</i>	Codificación de Audio Avanzado
AC1	<i>Auxiliar Channel 1</i>	Canal Auxiliar 1
AC2	<i>Auxiliar Channel 2</i>	Canal Auxiliar 2
ACATS	<i>Advisory Committee on Advanced Television Service</i>	Comisión Consultiva en Asuntos de Servicios Avanzados de Televisión
ADSL	<i>Asimetric Digital Subscriber Line</i>	Línea de Abonado Digital Asimétrica
AM	<i>Amplitude Modulated</i>	Amplitud modulada o Modulación de Amplitud
ANATEL		Agencia Nacional de Telecomunicaciones-Brasil
ARIB	<i>Association of Radio Industries and Businesses,</i>	Radio Asociación de Industrias y Negocios
ATSC	<i>Advanced Television Systems Committe</i>	Comité de Sistemas Avanzados de Televisión
AVC	<i>Advanced Video Coding</i>	Codificación de Video Avanzado
AWGN	<i>Additive White Gaussian Channel</i>	Canal Aditivo del Ruido Blanco Gaussiano
B		
BER	<i>Bit Error Rate</i>	Tasa de Error de Bit
BST	<i>Band Segmented Transmission</i>	Segmentación de la Banda de Transmisión
C		
Cb		Representa una muestra de la señal de referencia al azul.
COFDM	<i>Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>	Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales Codificado
CONARTEL		Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión
Cr		Representa una muestra de referencia al rojo.
D		
DAC	<i>Digital to Analog Converter</i>	Convertidor Digital Análogo
DCS	<i>Digital Communications System</i>	Sistema Digital de Comunicaciones
DCT	<i>Discrete Cosine Transform</i>	Transformada del Coseno Discreto
DFE	<i>Decision Feedback Equalizer</i>	Ecuador de Decisión por Reacción
DIBEG	<i>Digital Broadcasting Experts Group</i>	Grupo de Expertos de Radiodifusión Digital
Dolby AC-3	<i>Adaptive Transform Coder 3</i>	Decodificador de Transformación Adaptable
DQPSK	<i>Differentially encoded Quadrature Phase Shift Keying</i>	Modulación Diferencial de Fase en Cuadratura
DTS	<i>Digital Theater Systems</i>	Sistema de Teatro Digital
DTT	<i>Digital Terrestrial Television</i>	Televisión Digital Terrestre
DVB-C	<i>Digital Video Broadcasting Cable</i>	Radiodifusión de Video Digital por Cable
DVB-H	<i>Digital Video Broadcasting Handheld</i>	Radiodifusión de Video Digital para Terminales Portátiles

DVB-S	<i>Digital Video Broadcasting Satellite</i>	Radiodifusión de Video Digital Satelital
DVB-T	<i>Digital Video Broadcasting Terrestrial</i>	Radiodifusión de Video Digital Terrestre
DVB-T2	<i>Second Generation Digital Video Broadcasting Terrestrial</i>	Radiodifusión de Video Digital Terrestre de segunda generación
DVD	<i>Digital Versatile Disc</i>	Disco Versátil Digital
E		
EPG	<i>Electronic Program Guide</i>	Guías de Programacion Electrónicas
ERP	<i>Effective Radiated Power</i>	Potencia Efectiva Irradiada
ES	<i>Elementary Stream</i>	Flujo Elemental
ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>	Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones
F		
FCC	<i>Federal Communications Commission</i>	Comisión Federal de Comunicaciones
FEC	<i>Forward Error Correction</i>	Corrección de Error por Adelanto
G		
GPS	<i>Global Positioning System</i>	Sistema de Posicionamiento Global
H		
HDTV	<i>High Definition Television</i>	Televisión de Alta Definición
HP	<i>High Priority</i>	Alta Prioridad
I		
IDCT	<i>Inverse Discrete Cosine Transform</i>	Transformada Inversa del Coseno Discreto
IDS		Índice de Disponibilidad de Servicio
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>	Comisión Electrotécnica Internacional
IES		Índice de Eficiencia del Sistema
ISDB-T	<i>Terrestrial Integrated Service Digital Broadcasting</i>	Radiodifusión Digital de Servicios Integrados Terrestres
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>	Organización Internacional de Normalización
L		
LDTV	<i>Low-Definition Television</i>	Televisión de Baja Definición
LP	<i>Low Priority</i>	Flujo de mas alta velocidad binaria
M		
MFN	<i>Multiplex Frequency Network</i>	Redes de Frecuencia Multiple
MHP	<i>Multimedia Home Platform</i>	Plataforma Multimedia en Casa - DVB
MIMO	<i>Multiple-input and Multiple-output</i>	Multiples entradas multiples salidas
MPEG	<i>Moving Picture Experts Group</i>	Grupo de Expertos de Imágenes en Movimiento
N		
Ns		Número de segmentos
NTSC	<i>National Television System Committee</i>	Comisión Nacional de Sistemas de Televisión
O		
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>	Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales
P		
PAL	<i>Phase Alternating Line</i>	Línea Alternada en Fase
PAM	<i>Pulse-Amplitude Modulation</i>	Modulación por Amplitud de Pulsos
PDA	<i>Personal Digital Assistant</i>	Asistente Digital Personal
PLL	<i>Phase Locked Loop</i>	Fase de Bucle Cerrado
PRSB	<i>Pseudo Random Binaria Sequence</i>	Secuencia Seudo Randómica Binaria
PSK	<i>Phase Shift Keying</i>	Transmitir por desplazamiento en fase

Q		
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>	Modulación de Amplitud en Cuadratura
QPSK	<i>Quaternary Phase Shift Keying</i>	Trasmisión por Desplazamiento de Fase Cuaternaria
R		
RF	<i>Radio frequency</i>	Radiofrecuencia
RS	<i>Reed-Solomon</i>	
S		
SBTVD-T	<i>Sistema Brasileiro de Televisão Digital-Terrestre (en Brasileño)</i>	Sistema Brasileño de Televisión Digital Terrestre
SDI	<i>Serial Digital Interface</i>	Interface Digital en Serie
SDTV	<i>Standard Digital Television</i>	Televisión Digital Estándar
SECAM	<i>Séquentiel Couleur à Mémoire (en Frances)</i>	Color Secuencial con Memoria
SER	<i>Segment Error Rate</i>	Tasa de Error de Segmento o Probabilidad de Error de Segmento
SFN	<i>Single Frequency Network</i>	Redes de Frecuencia Única
SNR	<i>Signal-to-Noise Ratio</i>	Relación Señal a Ruido
STB	<i>Set Top Box</i>	Caja Decodificadora
SUPERTEL		Superintendencia de Telecomunicaciones del Ecuador
T		
TDT	<i>Terrestrial Digital Television</i>	Televisión Digital Terrestre
TOV	<i>Threshold of Visibility</i>	Umbral de Visibilidad de la Señal
TPS	<i>Throttle Position Sensor</i>	Sensor de Posición del Acelerador
TS	<i>Transport Stream</i>	Flujo de Transporte
TSP	<i>Transport Stream Packet</i>	Flujo de Transporte de paquetes
U		
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>	Ultra Alta Frecuencias (300 MHz a 3 GHz)
UIT	<i>International Telecommunication Union</i>	Unión Internacional de Telecomunicaciones
V		
VHF	<i>Very High Frequency</i>	Muy Altas Frecuencias (30 a 300 MHz)
VLC	<i>Variable Length Coding</i>	Código de Longitud Variable
VLD	<i>Variable Length Decoder</i>	Decodificador de Longitud Variable
VSB	<i>Visual Side Band</i>	Banda Lateral Visual

1,33 a 1: Se refiere a la relación de aspecto de la imagen de 4:3. Esta relación, resulta de dividir la base 4 por la altura 3.

4:3: Relación de aspecto de la televisión convencional. Representa la relación de la imagen, que en este caso es 4 de base y 3 de altura. Ver también 1,33 a 1

16:9: Relación de aspecto utilizada primero en HDTV y luego en SDTV. La relación 16:9 es similar a la utilizada en cine de pantalla ancha y representa 16 de base y 9 de altura. Con esta relación, el ángulo de visión horizontal supera los 20

en promedio, respecto a los 10 de la relación 4:3. Para una óptima visión, la distancia a la pantalla se reduce de 6H a 3H, siendo H la altura de la misma.

2K: Se refiere al número de portadoras seleccionadas en la modulación COFDM, del estándar DVB-T. Este modo de operación corresponde a 1705 portadoras.

8K: Se refiere al número de portadoras seleccionadas en la modulación COFDM, del estándar DVB-T. Este modo de operación corresponde a 6817 portadoras.

480 i: Se refiere a una señal de SDTV con 480 líneas activas y barrido entrelazado.

480p: Se refiere a una señal de SDTV con 480 líneas activas y barrido progresivo.

8-VSB: Sistema de modulación para TV digital terrestre, utilizada en ATSC de USA. Es un sistema de modulación de banda lateral vestigial, con 8 niveles discretos de amplitud.

1080i: Formato de video para HDTV. Se refiere al barrido entrelazado de 1080 líneas activas. Por cada línea activa se muestran 1920 pixeles. La resolución vertical efectiva es de 756 líneas.

720p: Formato de video para HDTV. Se refiere al barrido progresivo de 720 líneas activas. Por cada una de estas líneas se muestran 1280 pixeles. La resolución vertical efectiva es de 648 líneas.

1080p: Formato de video para HDTV. Se refiere al barrido progresivo, con la misma cantidad de muestras por línea activa y cantidad de líneas activas, que el formato 1080i. La resolución vertical efectiva es de 972 líneas.

AC-3: Estándar de compresión de audio digital desarrollado por *Dolby Laboratories* de USA. Se pueden comprimir hasta 6 canales de audio digitales. Estos se componen de un canal central, uno izquierdo y derecho (estéreo), uno izquierdo y derecho (*surround*) y un canal de baja frecuencia de 20 a 120 Hz.

Coefficiente de Pearson: Es un índice estadístico que mide la relación lineal entre dos variables cuantitativas. A diferencia de la covarianza, la correlación de *Pearson* es independiente de la escala de medida de las variables.

DTS (*Digital Theater System / Sound / Surround*): Es un sistema digital de codificación de sonido que permite la existencia de 6 canales independientes de audio en una sola señal comprimida. Además de usarse para el cine, DTS también se utiliza en "sitios especiales" como parques temáticos o simuladores virtuales, caso en que puede albergar hasta 8 canales independientes en una sola señal, pudiendo sincronizar varias señales para conseguir un número ilimitado de canales totalmente independientes.

Dolby AC-3: Estándar de compresión de audio digital desarrollado por los laboratorios Dolby de USA. Este sistema está preparado para comprimir seis canales de audio digitales.

Estación *Gap-filler*: Es básicamente un sistema activo de repetición de la señal, compuesta por; una antena de recepción oficial, un repetidor heterodino, un amplificador y la antena oficial de transmisión. El repetidor heterodino convierte la señal recibida por una frecuencia intermedia en el que el canal deseado es filtrado, para evitar la retransmisión de señales no deseadas, y posteriormente convertida a la frecuencia original de RF.

***Scrambling*:** Encriptación. Alteración de las características de un flujo codificado de video, audio y datos, para evitar que personas no autorizadas puedan recibirlo. Un sistema de Acceso Condicional, controla este proceso y la alteración de los flujos de datos.

***Sex-top-box*:** Se refiere al Decodificador utilizado en la casa del abonado. La función de éste es recibir las señales de video y audio digitales, remodularlas, decomprimirlas y desenscriptarlas.

Píxel: Es un elemento de imagen. Representa el área más pequeña de una imagen. Un píxel es un elemento de área cero.

Umbral: Es la cantidad mínima de señal que ha de estar presente para ser registrada por un sistema. Por ejemplo, la mínima cantidad de luz que puede detectar el ojo humano en la oscuridad. El umbral es la base de la exploración psicofísica de las sensibilidades (táctil, olfatoria, visual o auditiva). Sensibilidad = $1/\text{Umbral}$. Para la determinación práctica del umbral se considera un 50% de probabilidades. Es decir, umbral es la menor cantidad de estímulo que tiene un 50% de probabilidades de ser detectado.

La plataforma o Middleware: Se trata de una capa intermedia entre la capa hardware y la software. Se trata de un conjunto de módulos que permiten un desarrollo más eficiente de las aplicaciones. El *middleware* proporciona un API (*Application Programming Interface*) para cada uno de los tipos de programación que soporta. De los diferentes lenguajes de programación que puede soportar un STB, el que sería más destacable, sería DVB-J (DVB-Java), que es utilizado para las aplicaciones interactivas (MHP)

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

La elección del estándar para transmisión de televisión digital en el Ecuador, requiere de un conocimiento de los estándares de televisión digital actuales en el mundo, por esta razón este capítulo trata sobre una introducción y características principales de los tres sistemas de televisión digital: Comité de Sistemas Avanzados de Televisión (*ATSC-Advanced Television Systems Committee*), Radiodifusión Digital de Video Terrestre (*DVB-T - Digital Video Broadcasting Terrestrial*) y Radiodifusión Digital de Servicios Integrados Terrestres (*ISDB-T – Terrestrial Integrated Service Digital Broadcasting*).

1.1. Sistema ATSC

En 1987, la Comisión Federal de Comunicaciones (*FCC- Federal Communications Commission*) de los Estados Unidos de Norteamérica, estableció la Comisión Consultiva en Asuntos de Servicios Avanzados de Televisión (*ACATS-Advisory Committee on Advanced Television Service*). Este comité trabajó en estrecha relación con el Comité de Sistemas Avanzados de Televisión (*ATSC-Advanced Television Systems Committee*), organización privada creada en 1982 para coordinar el desarrollo y definir el estándar de televisión digital que adoptaría Estados Unidos. El estándar fue desarrollado por un consorcio de empresas que lleva el nombre de Gran Alianza (*Grand Alliance*), y fue adoptado por ATSC [1].

El estándar ATSC describe un sistema para transmisión de video, audio y datos; que transporta datos a una velocidad de hasta 19,39 Mbps.[2], a través de un canal de 6MHz de ancho de banda, del que, se pueden transportar múltiples programas de Televisión Digital Estándar (SDTV-*Standard Digital Television*) o un programa digital de Televisión de Alta Definición (HDTV- *High Definition Television*).

El diagrama de bloques del sistema se muestra en la Fig.1.1, en la que se aprecia que el sistema ATSC consiste de tres subsistemas [3]:

- Codificación y compresión de fuentes (video, audio, datos).
- Múltiplex y transporte de los servicios.
- Transmisión de radiofrecuencia (RF).

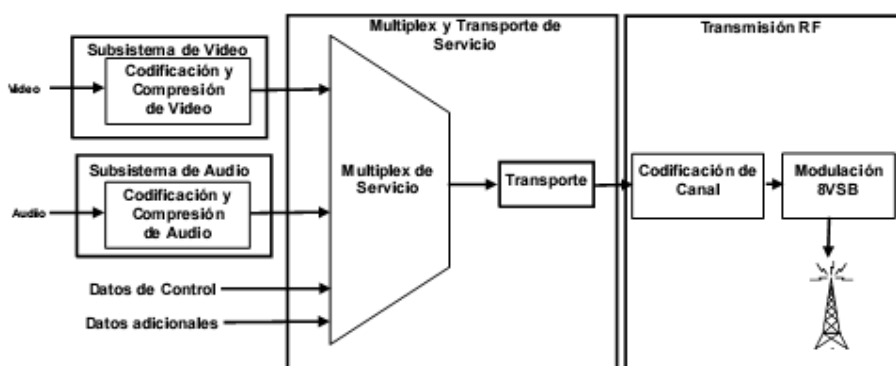


Figura. 1.1. Sistema ATSC [3].

En el bloque de Codificación y Compresión de Fuentes comprime los flujos de audio y video con el propósito de minimizar la cantidad de bits necesarios para representar la información correspondiente. Para la compresión y codificación de los flujos de video el sistema ATSC utiliza el estándar del Grupo de Expertos de Imágenes en Movimiento (MPEG-2 - *Moving Picture Experts Group*) [4-5], mientras que para la compresión de audio digital se utiliza el sistema Decodificador de Transformación Adaptable 3 (DOLBY AC-3 *Adaptive Transform Coder 3*) [4-5].

En el bloque de Múltiplex y Transporte de Servicios divide el flujo continuo de información en paquetes de datos, inserta marcas de identificación únicas a cada paquete y multiplexa los flujos de paquetes de video, audio y datos anexos para componer un único flujo de transporte. Los datos anexos incluyen datos para el control de la transmisión, control de acceso e información sobre la configuración de los servicios de audio y video.

El sistema de transporte de ATSC utiliza el sistema de múltiplex y transporte definido por el estándar MPEG-2, el cual es compatible con el formato de transporte de otros medios digitales, tales como la radiodifusión terrestre de audio digital, sistemas de televisión digital por cable y satelital, medios de almacenamiento como discos de video digital y Disco Versátil Digital (*DVD-Digital Versatile Disc*), e interfaces computacionales.

En el bloque de Transmisión de RF agrega codificación de canal y realiza la modulación del flujo de transporte para su posterior transmisión inalámbrica. El propósito de la codificación de canal es agregar información redundante al flujo de datos. Dicha información es luego utilizada en el receptor para detectar y corregir errores causados por el canal inalámbrico e interferencias. El sistema de modulación usa la modalidad 8 VSB para transmisiones terrestres. La norma también considera un modo de alta capacidad de datos, 16 VSB, orientado a televisión por cable [6].

1.1.1 Características de la fuente

a) Características del video

El estándar ATSC contempla numerosos formatos de video y no existe una regla específica sobre cual de ellos se debe utilizar.

Tabla. 1.1. Formatos de video más comunes utilizados en EEUU.

Tipo de señal	Denominación	Relación de aspecto	Muestra por línea activa x cantidad de líneas activas
HDTV	1080i	16:09	1920 x 1080
HDTV	720p	16:09	1280 x 720
SDTV	480i	16:9 y 4:3	720 x 483
SDTV	480p	16:9 y 4:3	720 x 483
	i: líneas activas con barrido entrelazado p: líneas activas con barrido progresivo		

El formato 1080i (1080 líneas activas con barrido entrelazado) y el formato de 720 p (720 líneas activas con barrido progresivo), existiendo poca diferencia de calidad, en términos de líneas de resolución verticales. En el formato 720p la resolución vertical es de 648 líneas, mientras que en el formato 1080i la resolución vertical es de 756 líneas.

El tercer formato de la Tabla 1.1, corresponde a SDTV, que puede tener una relación de aspecto de 16:9 (360 Mbps) ó 4:3 (270 Mbps). En ambos casos el muestreo se realiza a razón de 720 muestras por línea activa, para un total de 485 líneas activas. El cuarto formato corresponde al 480p (progresivo), con una velocidad binaria del flujo de datos de 540 Mbps. En la Tabla 1.2, se muestran los formatos utilizados en ATSC, con las distintas relaciones de imagen (cuadros y campos barridos por segundo).

Tabla. 1.2. Formatos de video y las relaciones de imagen utilizadas en estándar ATSC.

Líneas activas en la imagen	Píxeles* por línea activa	Relación de aspecto	Relación de imagen cuadros y campos por segundo
1080	1920	16:09	60I**,30P***,24P
720	1280	16:09	60P,30P,24P
480	704	16:9 y 4:3	60P,60I,30P,24P
480	640	16:9 y 4:3	60P,60I,30P,24P
	* Muestras de luminancia		**I: Campos con Barrido Entrelazado (<i>Interlaced</i>) ***P: Campos con Barrido Progresivo(<i>Progressive</i>)

Para el formato de 480 líneas activas con 704 muestras de luminancia por línea activa (740x480), se emplean en este estándar las siguientes relaciones; 60P (60 campos con barrido progresivo), 60I (60 campos con barrido entrelazado), 30P (30 cuadros con barrido progresivo) y 24P (24 cuadros con barrido progresivo) [7].

b) Características del audio

La compresión y codificación de audio en ATSC se basa en el estándar de compresión digital de audio Dolby AC-3, el cual permite comprimir hasta seis canales de audio digitales de alta calidad para su utilización en sistemas de tipo *Home Theater*, denominadas señales "5.1". Los seis canales de audio son: un estéreo Izquierdo (L), un canal Central (C), un estéreo Derecho (R), Sonido envolvente (*Surround*) Izquierdo (LS), Sonido envolvente (*Surround*) Derecho (RS) además un canal de Baja Frecuencia (LFE) de 20 a 120 Hz.

c) Subsistema de múltiplex de transporte

El subsistema de transporte presentado en la Fig. 1.1 usa como entradas los flujos de video, audio y datos, codificados y comprimidos de acuerdo al estándar MPEG-2 (ISO/IEC 13818-1) [4-5], los paquetiza y multiplexa de acuerdo al sistema definido en el mismo estándar MPEG-2. El subsistema de transporte divide los flujos elementales de video, audio y datos en unidades más pequeñas y las multiplexa en estos paquetes de transporte de 188 bytes, cuyo primer byte es insertado para sincronismo. El receptor es responsable de recuperar esos flujos elementales para entregárselos a los decodificadores correspondientes junto con la señalización de errores. El subsistema de transporte también incorpora la función que permite la sincronización del receptor.

1.1.2 Características del sistema de codificación y modulación

El sistema de codificación de canal y modulación de ATSC, bloque “Transmisión de RF” en la Fig.1.1 constituye la característica más propia de éste estándar. Los dos bloques fundamentales son la Codificación de Canal y la Modulación 8-VSB, descritos a continuación.

a) Codificación de canal

La Fig. 1.2, muestra el diagrama del proceso de codificación y modulación. El sistema es alimentado con el flujo de transporte paquetizado.

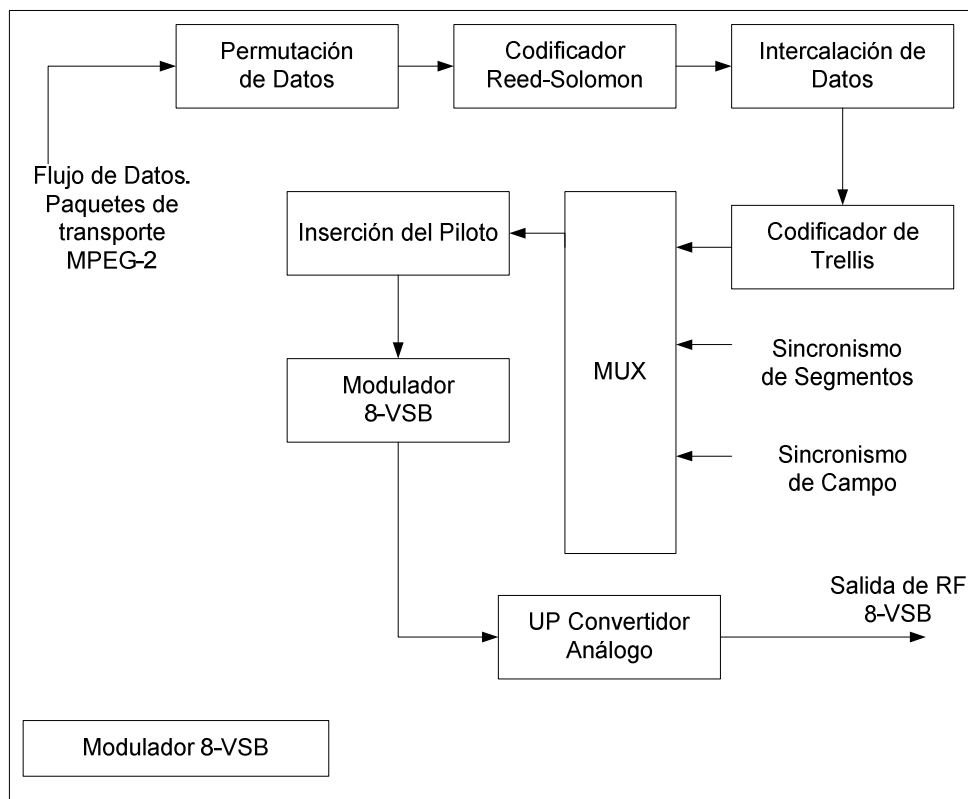


Figura. 1.2. Diagrama funcional del sistema de codificación de canal y modulación de ATSC.

Las características de cada bloque se describen a continuación:

En la primera etapa del Modulador, se efectúa la permutación de los paquetes MPEG-2 de entrada. Esto se logra mediante un Registro de Desplazamiento que sigue una secuencia Seudo Randómica Binaria (PRSB- *Pseudo Random Binaria Sequence*). Cada valor de byte es cambiado siguiendo ese patrón. La etapa siguiente, consta de un Codificador Reed Solomon (RS). Este tipo de codificación, es una técnica de corrección de errores que se aplican a los paquetes en la modulación. Durante la transmisión, pueden aparecer errores que corrompen los datos, como: ruido producido por la atmósfera, desvanecimiento de la señal en el trayecto y propagación multitrayecto (*multipath*). Estos fenómenos causan errores de bits durante la transmisión.

La codificación RS puede detectar y corregir los errores producidos a un límite razonable [8]. Continuando con el análisis de la Fig.1.2, se efectúa la

intercalación de datos, esta consiste en efectuar una aleatorización o un *scrambling* en orden secuencial del flujo de datos. Los datos intercalados son ensamblados como nuevos paquetes de datos [8]. El próximo paso es la codificación convolucional (*Encoder Trellis*). Este tipo de codificación es otra forma de Corrección de Error por Adelanto (FEC- *Forward Error Correction*) y representa un código convolucional [8].

El próximo paso en el Mux, es insertar a la señal del Codificador *Trellis*, el segmento de sincronismo y el segmento de campo y a continuación insertar la señal piloto, para tener un punto de referencia en la recepción de los datos. La inserción de estas señales auxiliares, facilitarán en el receptor la demodulación de la señal recibida. Las señales auxiliares insertadas en primera instancia, como se ve en el diagrama, son el segmento de sincronismo y el sincronismo de campo.

El segmento de datos está conformado por 207 bytes del paquete de datos intercalados.

El piloto es aplicado antes de la modulación. Este consiste en un nivel de DC sobre la señal de banda base. El piloto facilita el enganche de la Fase de Bucle Cerrado (PLL-*Phase Locked Loop*) en el receptor y es independiente de los datos transmitidos. De acuerdo al teorema de Nyquist, la mitad de la banda puede ser eliminada. La banda lateral inferior es casi suprimida, quedando solo un vestigio de la misma [8].

b) Modulación de Banda Lateral Residual 8-VSB (*Vestigial Side Band*)

El estándar ATSC emplea para la Televisión Digital Terrestre (DTT- *Digital Terrestrial Television*) la modulación 8- VSB Banda Lateral Residual (*Vestigial Side Band*). Esta modulación, fue adoptada oficialmente en EE.UU. a partir del año 1996. En la Fig. 1.3, se muestran los espectros de 6 MHz de ancho de banda, para una señal VSB y una señal analógica NTSC.

En la parte a) de la Fig.1.3 se muestra el espectro VSB. Este espectro en términos de potencia y ancho de banda, es mucho más eficiente que el espectro de una señal analógica, como por ejemplo la Comisión Nacional de Sistemas de Televisión (NTSC-*National Television System Committee*).

En la parte b) de la misma Fig.1.3, se muestra el espectro para una señal analógica modulada en AM con banda lateral residual. En este caso, la distribución de la energía del espectro está concentrada mayormente en las portadoras de video, audio y croma.

En VSB, solamente se inserta una señal piloto en el extremo inferior de la banda. Este se crea antes de la modulación, con un pequeño nivel de continua aplicado en la señal de banda base 8-VSB. Este produce una pequeña portadora residual que aparece en el punto de frecuencia cero del espectro modulado. El piloto consume solo 0,3 dB o lo que es lo mismo un 7% de la potencia total transmitida.

La función del piloto es proveer el enganche de la Fase de Bucle Cerrado (PLL-*Phase Locked Loop*) en el decodificador y es independiente de los datos transmitidos.

El espectro VSB es plano y tiene 5,38 MHz de ancho de banda, para un canal de 6 MHz. En ese espectro solo se incluye como hemos visto, una pequeña señal que representa al piloto y la portadora suprimida en el borde de la banda.

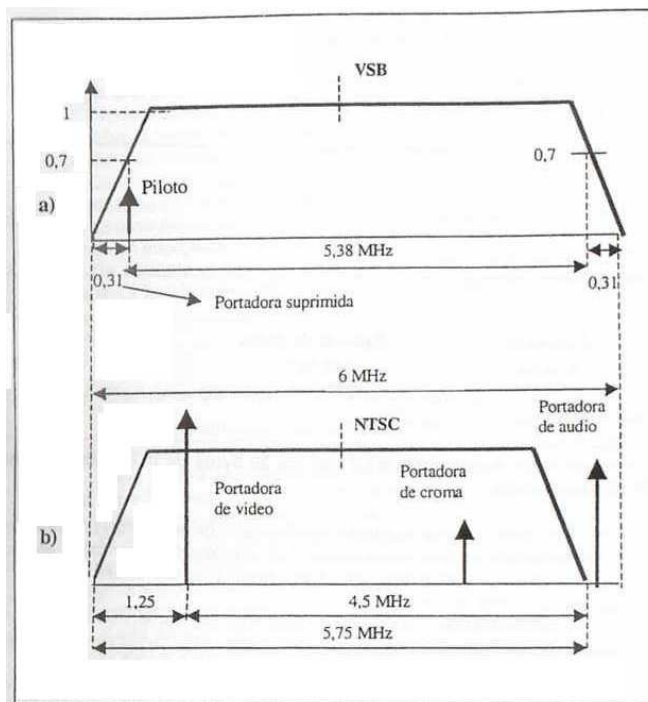


Figura. 1.3. a) Espectro VSB, b) Espectro analógico NTSC.

1.1.3. Soluciones de los sistemas ATSC para movilidad.

Al menos cuatro compañías que utilizan la norma ATSC están trabajando en soluciones móviles y portátiles [10].

- Zenith demostrará su solución en los próximos meses
- Samsung y Rohde & Schwarzhan propuesto mejoras al sistema de transmisión ATSC/VSB que permitirían movilidad y portabilidad

De estas pruebas todavía no se encontró mayor información ya que son pruebas confidenciales y al cierre de la investigación no entregaban resultados de ningún tipo.

Sin embargo; es preciso indicar que para hacer estas pruebas se estaba tomando en cuenta una nueva compresión de video para mejorar la movilidad en ATSC.

Esta nueva compresión es MPEG-4 AVC (Codificador de Video Avanzado), este en su inicio estuvo enfocado hacia el vídeo de baja calidad para videoconferencia y aplicaciones por Internet, basado en 8 bits/muestra y con un muestreo ortogonal de 4:2:0. Esto no daba salida al uso de este *códec* en ambientes profesionales que exigen resoluciones más elevadas, necesitan más de 8 bits/muestra y un muestreo de 4:4:4 o 4:2:2, funciones para la mezcla de escenas, tasas binarias más elevadas, poder representar algunas partes de video sin pérdidas y utilizar el sistema de color por componentes RGB. Por este motivo surgió la necesidad de programar unas extensiones que soportasen esta demanda. Tras un año de trabajo intenso surgieron las FExt (extensiones de gama de fidelidad) que incluían [12]:

- Soporte para un tamaño de transformada adaptativo.
- Soporte para una cuantificación con matrices escaladas.
- Soporte para una representación eficiente sin pérdidas de regiones específicas.

Este conjunto de extensiones denominadas de "perfil alto" son:

- La extensión High que soporta 4:2:0 hasta 8 bits/muestra
- La extensión High-10 que soporta 4:2:0 hasta 10 bits/muestra
- La extensión High 4:2:2 que soporta hasta 4:2:2 y 10 bits/muestra
- La extensión High 4:4:4 que soporta hasta 4:4:4 y 12 bits/muestra y la codificación de regiones sin pérdidas.

MPEG4 parte 10 AVC está considerado en la norma ATSC para nuevas aplicaciones masivas como las móviles que no requieren, al momento, de grandes capacidades de procesamiento que hasta ahora limitan el desempeño del MPEG4 AVC para HDTV [11].

1.2. Sistema DVB-T

1.2.1. Características de la fuente

El grupo de Radiodifusión Digital de Video (DVB-*Digital Video Broadcasting*), esta formado por más de 300 miembros entre fabricantes y *Broadcasters* de más de 30 países [9]. La norma de la Radiodifusión Digital de Video Terrestre (DVB-T - *Digital Video Broadcasting Terrestrial*) especifica las propiedades de la capa física para la transmisión terrestre de video y audio digital, y está descrita en el estándar [13]. El sistema se conforma muy similarmente al ATSC, como se describe a continuación en la Fig. 1.4.

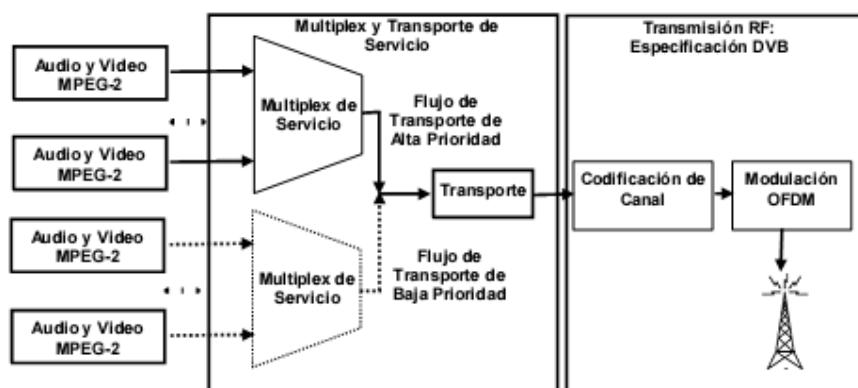


Figura. 1.4. Diagrama general del sistema DVB-T.

En primer lugar, las señales de video y audio son comprimidas y codificadas según la norma MPEG-2 [4-5], con una sintaxis especializada por el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI- *European Telecommunications Standards Institute*) para DVB [14] [15]. Varios programas (video audio y datos) codificados y comprimidos con MPEG-2 pueden ser multiplexados en un único flujo de transporte MPEG-2, permitiendo así compartir el canal para distribuir programación múltiple simultáneamente.

En la norma ATSC, la codificación de audio sigue la sintaxis AC-3, mientras que la transmisión de audio del estándar DVB sigue las recomendaciones del formato MPEG-2 para estéreo y sonido envolvente, es decir, la codificación de audio es MPEG-2 en vez de AC-3. En todo caso, el estándar DVB también permite la operación con formatos AC-3 o Sistema Digital para Teatro (DTS- *Digital Theater Systems*) para sonido envolvente, como se indica en los estándares y documentación anexa [14-15].

El sistema de *Transmisión RF* es el que caracteriza al sistema DVB, ver Fig. 1.5. En el bloque de *Codificación de Canal*, se aplica a la señal un conjunto de procesos cuyo objetivo es proteger los flujos de transporte de los efectos de las diversas fuentes de ruido e interferencias que degradan las transmisiones. Las normas de la Radiodifusión Digital de Video: Satelital (DVB-S), por Cable (DVB-C) y Terrestre (DVB-T), utilizan el mismo sistema de codificación, lo que permite aprovechar economías de escala en el desarrollo de equipos y así llegar al consumidor con productos de costos más convenientes. El sistema de codificación de DVB-T está especificado en la referencia [16]. El módulo de Modulación OFDM genera las señales de radiofrecuencia que son transmitidas por radio a partir de los datos digitales entregados por el codificador de canal.

a) Características del video

En el estándar DVB-T se maneja una amplia variedad de formatos de video para SDTV y HDTV.

En la Tabla 1.3, se encuentran los formatos más importantes y sus características.

Tabla. 1.3. Formatos más comunes en SDTV y HDTV del estándar DVB-T.**(1) Denominado 1080i. (2) Denominado 720p.**

Formato	Muestras por línea activa x cant. de líneas activas	Relación de aspecto	Tipo de barrido*
HDTV	1920 x 1080(I)	16:9	25I, 25P, 24, 29, 97P, 30P 30I
HDTV	1440 x 1152	16:9	25P
HDTV	1920 x 1035	16:9	25P, 29, 97P, 30P
HDTV	1280 x 720 (2)	16:9	25I, 50I 23, 97I 24I 29, 97I 30I -59, 94I-60I
SDTV	720 x 576	4:3 y 16:9	50I-25I 25P
SDTV	544 x 576	4:3 y 16:9	25I, 25P

b) Características del audio

Como se ha mencionado, el sistema de audio usa el estándar MPEG-2. Sin embargo, es posible utilizar formatos AC-3 o el Sistema de Teatro Digital (*DTS-Digital Theater Systems*). El sistema permite transportar hasta seis señales de audio, es decir, sonido envolvente (*surround sound*), a tasas de hasta 384 Kbps.

El sistema de transmisión del estándar DVB utiliza modulación (OFDM) codificada para la interfaz aérea, pudiendo ser usados anchos de banda de 6, 7 y 8 MHz, así como 5 MHz con ciertas limitaciones.

1.2.2. Características del sistema de codificación y modulación

a) Modulación por Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM -*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*)

Consiste en distribuir el flujo binario de información entre un gran número de portadoras de forma que cada portadora transporte una velocidad de datos reducida con respecto a la del flujo total.

En frecuencia hay una estructura de portadoras separadas entre sí y que ocupan el ancho de banda del Canal (6/7/8 MHz).

Cada conjunto de portadoras en un tiempo se conoce como “Símbolo OFDM”, los símbolos se van sucediendo en el tiempo, transportando los datos. Se logran una Velocidad de datos 19,6 Mbps en 6 Mhz de ancho de banda.

b) Modulación por Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales Codificado (COFDM-*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing*)

Codificador de Convolución: compuesto por dos elementos; un código convolucional y un *scrambler* [17], por ese motivo pasa a llamarse *Coded* -OFDM. El funcionamiento del convolucional está basado en registros de memoria, de capacidad un bit y suma módulo dos. La codificación de los bits se realiza a partir del valor del bit presente a la entrada y los valores de los “m” bits anteriores que están guardados en los registros.

El *scrambler* trata de introducir un cierto desorden de manera que las portadoras adyacentes no sean moduladas por datos consecutivos. Si se produce una pérdida de información llevada por portadoras adyacentes, al deshacer el desorden debido al mezclador, el error debido a cada portadora queda aislado, acortándose la longitud de la ráfaga.

La duración de los bits es superior a los retardos, evitando ecos y permitiendo reutilizar las mismas frecuencias en antenas vecinas [18].

El estándar DVB-T emplea la modulación COFDM de múltiples portadoras. En este tipo de modulación, existen dos modos de operación posibles;

-Modo 2K = 1.705 portadoras

-Modo 8K = 6.817 portadoras

Cada uno de estos modos representa un set de portadoras. A este set se lo denomina símbolo, esto se puede observar en la Fig. 1.5 [19].

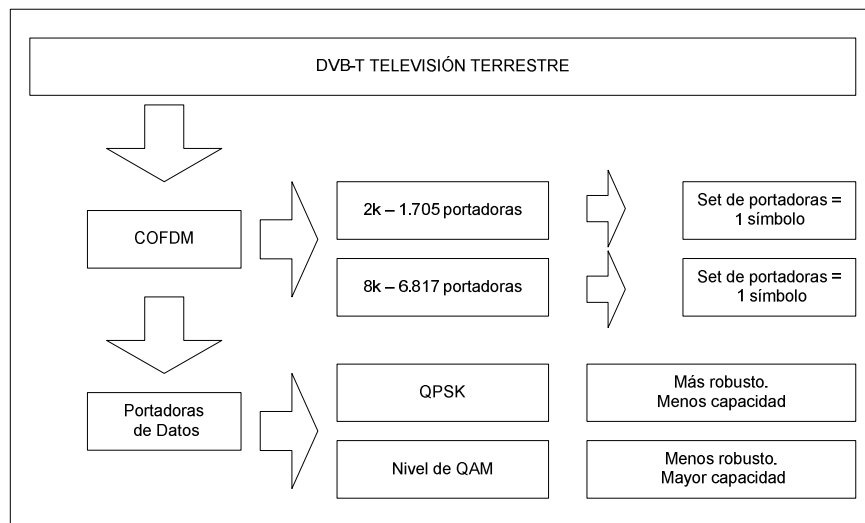


Figura. 1.5. Modos de operación en 2k y 8k en COFDM.

La secuencia de los distintos procesos en el Modulador ó excitador [19], es la siguiente;

- a) Mux de adaptación y energía dispersa.
- b) Codificación externa.
- c) Intercalación externa.

- d) Codificación interna.
- e) Intercalación interna.
- f) Mapeo, (*Mapping*).
- g) Adaptación de cuadro e inserción de pilotos y señales de sensor de posición del acelerador (TPS -Throttle Position Sensor).
- h) OFDM
- i) Inserción de intervalos de guarda.
- j) Etapa de RF.

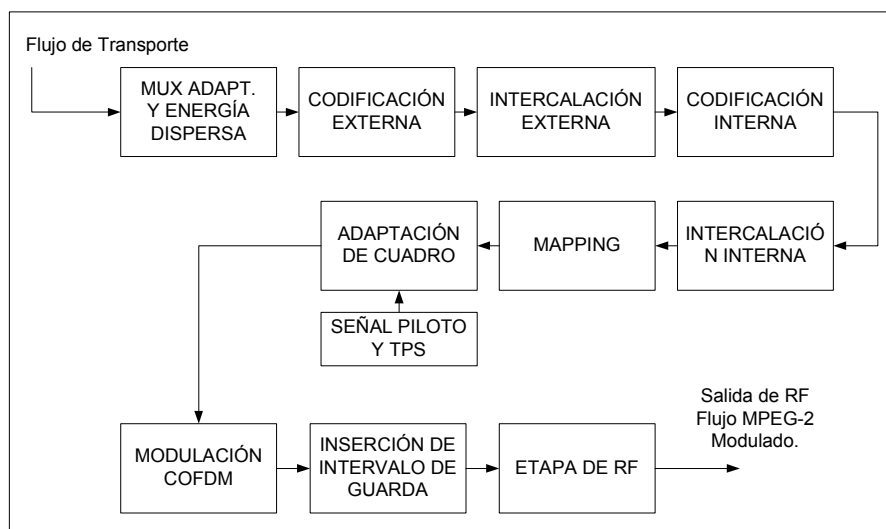


Figura. 1.6. Modulador COFDM.

c) Tasas de datos

Las tasas de datos posibles en DVB-T dependen de los siguientes parámetros de codificación y modulación:

- Tasa de codificación del código interno (convolucional)
- Ancho de banda de la transmisión
- Tamaño de la modulación QAM
- Tamaño del intervalo de guarda.

La tasa de datos en cambio no depende de los siguientes parámetros:

- Número de sub-portadoras (2K, 4K u 8K)
- Transmisión jerarquizada o no

Dado un ancho de banda de la transmisión y transmisión no jerarquizada (flujo de transporte único), todas las combinaciones de los demás parámetros permiten lograr en total 60 tasas de datos distintas. Para bandas de 6 MHz, las tasas de datos netas para la transmisión de contenido están entre 3,73 Mbps y 23,75 Mbps.

d) Características espectrales

Las características espectrales de una transmisión OFDM dependen principalmente del número de sub-portadoras y de la duración del intervalo de guarda. La radiación fuera de banda de OFDM disminuye con el cuadrado de la frecuencia, y puede ser reducida más aún utilizando filtros apropiados. La norma DVB-T especifica las máscaras espectrales de dichos filtros para evitar interferir con transmisiones de televisión analógica de varias normas (PAL, SECAM, etc.) realizadas desde el mismo sitio y en canales adyacentes.

f) DVB para terminales portátiles (DVB-H -*Digital Video Broadcasting Handheld*)

DVB-H es una extensión de la norma DVB-T incorporada en 2004 para definir el formato de distribución de televisión digital terrestre a terminales portátiles. DVB-H está definida en [20]. El primer documento especifica el sistema DVB-H general en torno al estándar DVB-T, así como el formato de la fuente de video y su multiplexión con programación MPEG-2 tradicional para formar el flujo de transporte.

g) DVB-T2

DVB-T2 es diseñado para satisfacer los requerimientos de los *broadcasters* después del apagón analógico. La prioridad será el multicast en HDTV, y obviamente el mejor rendimiento del espectro en SDTV multicast, móviles, interactividad y otros servicios personalizados. DVB-T2 debe ser retrocompatible, en el uso de los sistemas de antenas de transmisión y recepción existentes, DVB-T2 proveerá una mayor velocidad de transmisión de manera compatible con las redes DVB T de transmisores y antenas existentes.

En Redes de Frecuencia Única (*SFN-Single Frequency Network*), coherentemente con la mayor velocidad de transmisión, en dichas redes DVB T2 puede trabajar a mayor distancia entre repetidoras. Los receptores en DVB-T2 pueden ser: fijos, portables y móviles [21].

1.3. Sistema ISDB-T

1.3.1. Características de la fuente

La norma ISDB-T especifica las propiedades de la capa física para la transmisión terrestre de video y audio digital, y está descrita en el documento [22]. ISDB-T es muy similar a DVB-T en términos de señales y modulación, y ambos estándares coinciden en los siguientes aspectos.

- Ambas normas están basadas en codificación MPEG-2 de audio y video
- Ambas normas soportan transmisión de otros formatos de datos (MPEG-4 u otros)
- Ambas normas utilizan códigos de canal *Reed-Solomon* y convolucionales idénticos, así como el mismo mezclador.
- Ambas normas utilizan modulación OFDM con modos 2K, 4K y 8K, y modulación QAM de las sub-portadoras

a) Características del video

Al igual que en los sistemas ATSC y DVB-T, el sistema ISDB-T soporta diferentes resoluciones de pantalla y tasas de trama. Los formatos se indican en las Tabla 1.4, en resolución, forma de barrido progresivo o entrelazado y tasa de tramas por segundo, y se conforman a la sintaxis del Nivel Principal, definido en la sección de video del estándar MPEG-2 [23]:

Tabla. 1.4. Resoluciones de Pantalla

Líneas verticales	Píxeles por línea	Razón de aspecto	Frecuencia de tramas
1080	1920,1440,1080	16:9 , 4:3	60I
720	1280	16:9 , 4:3	30P
480	720,540	16:9 , 4:3	30P
480	720,544,540,480	16:9 , 4:3	60I

b) Características del audio

Como ya se ha mencionado en el caso de DVB-T y ATSC, también el sistema de audio de ISDB-T usa el estándar MPEG-2. La especialización, en este caso, está definida en el estándar ISO/IEC 13818-7 (MPEG-2 – AAC audio), la que permite el transporte de canales de audio 5.1 con una tasa de bits de hasta 320 Kbps [24].

1.3.2. Características del sistema de codificación y modulación

a) Codificación de canal

El sistema de codificación de canal de ISDB-T está ilustrado en el diagrama de bloques de la Figura 1.7.

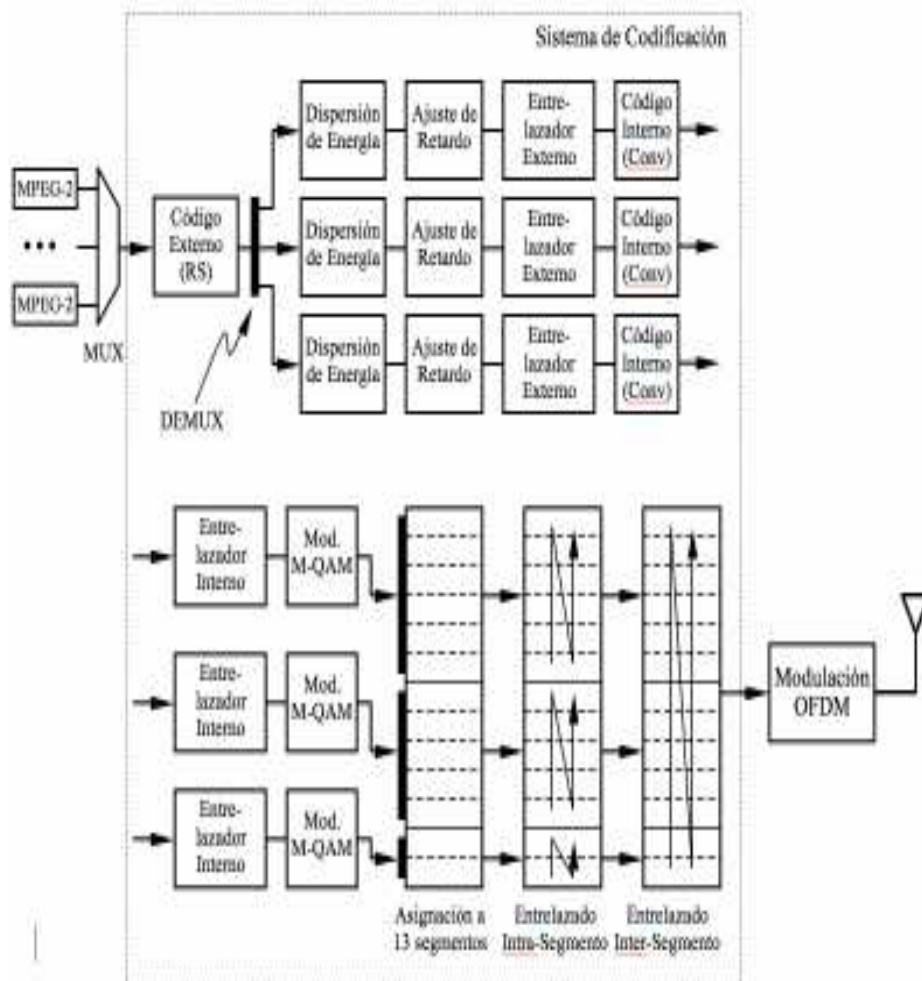


Figura. 1.7. Sistema de codificación de canal y jerarquización de ISDB-T.

El sistema permite la transmisión Jerárquica. Soporta hasta tres servicios distintos.

Cada servicio ocupa una cantidad de segmentos y se le puede aplicar una codificación distinta e individual.

Los datos de los segmentos de un mismo servicio se intercalan en un proceso llamado intercalación interna (Intra-segmento). Luego se intercalan todos los segmentos de los distintos servicios, en un proceso llamado intercalación entre segmentos (Inter-segmento)

b) Modulación OFDM

Modulación OFDM, parecida a DVB-T pero con distinto agrupamiento de datos. En 13 segmentos o bloques OFDM, trabaja por segmentos con intercalado intra e inter segmentos. Opera con un segmento específico para la televisión de baja definición (LDTV- *Low-Definition Television*), en celulares.

ISDB-T tiene una particular forma de ordenar los datos codificados para localizarlos en las frecuencias del modulador OFDM. La segmentación de las portadoras se conoce como Segmentación de la Banda de Transmisión (BST *Band Segmented Transmission - OFDM*). Se divide el ancho de banda en 14 segmentos, 13 se utilizan para datos y uno (que no transporta portadoras) se divide en dos para crear la banda de resguardo de los canales adyacentes.

El Flujo de Transporte (*Transpon Stream*) es remultiplexado y agrupado en segmentos de datos. Luego, cada uno de estos segmentos es transformado en segmentos OFDM. En total, el espectro de transmisión se compone de trece segmentos, siendo esta cantidad la misma para un canal de 6,7 y 8 MHz de ancho de banda. Lo que varía en cada uno de los espectros, es el tiempo de duración de cada segmento. Para 6 MHz de ancho de banda del canal, el espectro compuesto por los trece segmentos ocupa 5.6 MHz, siendo el ancho de banda de cada segmento de 429 KHz [25].

c) Tasas de datos

Al igual que en DVB-T, la tasa de datos de la transmisión en ISDB-T resulta de la combinación entre los parámetros de codificación, modulación M-QAM, y el tamaño del intervalo de guarda. A diferencia con DVB-T, sin embargo, la posibilidad de asignar cualquier combinación de los 13 segmentos a uno, dos o tres servicios diferentes (capas jerárquicas), y definir para cada caso una tasa de codificación convolucional y nivel de modulación M-QAM independiente, la variedad de tasas alcanzables con ISDB-T es virtualmente infinita.

Las tasas de datos netas totales de ISDB-T están el rango entre 3,65 Mbps (vs. 3,73 Mbps de DVB-T) y 23,23 Mbps (vs. 23,75 Mbps de DVB-T). Las tasas de datos netas *por* segmento son 1/13 de los valores netos totales. Se estima que lograr transmisiones *casi libre de errores* (CLE) en recepción *estática* de ISDB-T a una tasa de datos determinada requiere de condiciones relación señal a ruido (SNR- *Signal-to-Noise Ratio*) muy similares a las requeridas por transmisiones DVB-T de tasa equivalente. Ello resulta de observar que la principal diferencia entre los dos sistemas de codificación son los procesos de entrelazado, y no los de redundancia (códigos R-S y Convolutacional), y que el entrelazado más complejo de ISDB-T provee inmunidad adicional principalmente frente a variaciones temporales del canal (movilidad, ruido impulsivo, etc).

d) Características espectrales

En términos estrictos, el ancho de banda de transmisión establecido por la norma ISDB-T es 5,7 MHz. Este ancho de banda contiene el 99% de la energía radiada. La norma también especifica una máscara espectral única requerida para radiaciones fuera de banda, la que a diferencia con la norma DVB-T no considera la naturaleza de las transmisiones en bandas adyacentes, ya sea fueran digitales o analógicas. La máscara espectral de ISDB-T es menos restrictiva que la de DVB-T.

e) Transmisión a terminales portátiles

La transmisión a terminales portátiles fue considerada desde un comienzo en el estándar ISDB-T mediante el concepto de recepción parcial de un segmento ("1seg"). El servicio comenzó experimentalmente durante 2005, y comercialmente el 1 de Abril de 2006.

La solución para transmisión a terminales portátiles basada en recepción parcial de un segmento es altamente eficiente, puesto que puede ser realizada con un receptor de un solo segmento, el cual es significativamente más sencillo

(menor costo) que un receptor ISDB-T completo de 13 segmentos. Además de esta ventaja económica, un receptor 1seg también es muy eficiente en su consumo de energía, puesto que no requiere decodificar los demás 12 segmentos para recuperar el segmento 13.

El sistema “1seg” utiliza codificación de video H.26418 y en audio la Codificación de Audio Avanzada (AAC- *Advanced Audio Coding*) encapsulado en un flujo de transporte MPEG-2. La modulación del segmento es 64-QAM, el código convolucional opera con tasa 1/2 y el intervalo de guarda para la modulación OFDM es 1/8 (los demás parámetros OFDM son impuestos por la transmisión completa de 13 segmentos). La resolución de video máxima es 320x240 pixeles, y la tasa de bits máxima del video es 128 Kbps. La tasa máxima admisible para el audio AAC es 64 Kbps. Los restantes 60 Kbps están reservados para transmisión de datos y servicios interactivos.

Finalmente, 1seg no implementa funciones de acceso condicional ni protección de copia del contenido.

1.3.3 Diferencias entre la norma MPEG-2 y MPEG-4

El estándar MPEG-2 no permite transmitir simultáneamente imágenes de definición reducida a velocidades de transmisión bajas, por lo que no permite la distribución de contenidos audiovisuales de reducido tamaño adaptados a las pantallas de los teléfonos móviles, Asistente Digital Personal (PDAs-*Personal Digital Assistant*), o a las pantallas de los automóviles; esa es una principal aplicación del MPEG-4.

A comparación del MPEG-2 y MPEG-4 tiene mejoras técnicas tanto en la compresión de video como en la compresión de audio, que lo hacen un excelente candidato a reemplazar a MPEG-2 en las futuras actualizaciones de todos los estándares. El impacto que puede tener la evolución al estándar de compresión MPEG-4 en la multiplicación del número de canales disponibles, debería justificar la definición por parte de los reguladores de un plan de transición de MPEG-2 a

MPEG-4. Esta evolución podría condicionar el reparto del espectro actualmente disponible.

MPEG-4 permite literalmente duplicar la capacidad de transporte de MPEG-2. Ello posibilita que cualquiera de los tres estándares (ATSC, DVB-T e ISDB-T) puedan transportar dos canales de alta definición 1080I en 6 MHz o bien uno 1080P (lo que actualmente con MPEG-2 no es posible en ninguno de los estándares). Otra ventaja de MPEG-4 es que es capaz de codificar flujos de video a partir de 40 Kbps (MPEG-2 parte en 3 Mbps), lo que lo hace muy atractivo para las aplicaciones en movilidad y uso en terminales portátiles (nótese que el rango de MPEG-2 va desde 3 Mbps hasta 100 Mbps, mientras MPEG-4 va desde 40 Kbps a 15-20 Mbps).

En efecto, el MPEG-4 ofrece mejores características a bajos flujos de datos, típicos de la web, el MPEG-4 soporta contenido entrelazado, resoluciones de hasta 4096×4096 y un flujo de datos entre 5Kbps y 10Mbps. Teóricamente, el MPEG-4 permite desde un ancho de banda muy bajo (telefonía móvil) hasta la televisión en alta definición (HDTV- *High Definition Television*). Por supuesto, los dispositivos actuales no soportan la reproducción de todo el rango de especificaciones pero, con el tiempo, se presentarán nuevos equipos en el mercado.

La codificación se realiza de una manera muy similar a la codificación MPEG-1 y MPEG-2, incluyendo la predicción y compensación de movimiento seguido de una codificación de textura; es decir, cada objeto en capas separadas, el contorno y transparencia de cada objeto, así como las coordenadas espaciales y otros parámetros adicionales como escala, localización, zoom, rotación o translación, son incluidos como datos asociados de cada objeto en su propia capa. Durante la decodificación MPEG-4 se recupera la información de cada objeto, junto con sus datos asociados, ofreciendo al usuario la posibilidad de modificar cualquier parámetro disponible (es el autor quien define qué parámetros pueden o no modificarse, lo que permite ofrecer diferentes grados de interacción) y sin la necesidad de nuevas decodificaciones.

1.3.4 Diferencia entre Sistema Brasileño de Televisión Digital Terrestre (SBTVD-T *Sistema Brasileiro de Televisão Digital-Terrestre*) e ISDB-T

Brasil utiliza actualmente un sistema analógico de TV (PAL-M) que es levemente diferente de cualquier otro país, ha elegido el estándar ISDB-T para su formato de TDT, llamándolo SBTVD-T (*Sistema Brasileiro de Televisão Digital-Terrestre*). SBTVD-T se diferencia de ISDB-T en que utiliza el *codec* de video H.264 ó MPEG4 parte 10 AVC [11] en vez de MPEG2 de ISDB-T [26].

La Tabla 1.5, se muestra el resumen de las diferentes tecnologías y sistemas.

Tabla. 1.5. Tabla comparativa de sistemas de TV Digital.

Tecnologías	ATSC	DVB	ISDB	Brasil ISDB
Aplicativos	INTERACTIVO	INTERACTIVO	INTERACTIVO	INTERACTIVO
Middleware	DASE	MHP	ARIB	GINGA
Compresión Audio	DOLBY AC3	MPEG-1 L-II	MPEG-II AAC	MPEG-II AAC
Compresión Video	MPEG-2	MPEG-2	MPEG-2	MPEG-4
Transporte	MPEG-2	MPEG-2	MPEG-2	MPEG-2
Transmisión y Modulación	8-VSB	COFDM	BST -OFDM	BST -OFDM

Canales de operación

Los tres estándares para la transmisión de TV digital (ATSC, DVB-T e ISDB-T) ocupan 1 canal para HDTV el resto de banda para datos. Para SDTV son máximo 4 canales y el resto para datos, este puede llegar hasta 8 canales

pero ocuparía todo el ancho de banda y por tanto no podría ser usado para transmisión de datos.

CAPITULO II

2. PRUEBAS A REALIZARSE EN LOS SISTEMAS DE TV DIGITAL

2.1. Sistemas Probados

2.1.1 Introducción

En las Pruebas realizadas en Sao Paulo – Brasil de acuerdo a la Fase 2 del Tercer Plan de Trabajo Aditivo al Acuerdo N ° 005/98 entre Anatel y CPqD, tiene por objeto:

- Presentación de las pruebas de laboratorio de los sistemas de televisión digital realizada en Brasil por los concesionarios autorizados por la ANATEL.
- El análisis de los resultados de las pruebas de laboratorio.
- Presentación de pruebas de campo de los sistemas de televisión digital hecho en la ciudad de Sao Paulo por los concesionarios autorizados por la ANATEL.
- El análisis de los resultados de las pruebas de campo.

Para las pruebas en el laboratorio y de campo, se consideraron los tres sistemas de televisión digital para aplicaciones de radiodifusión terrestre con ancho de banda de 6 MHz, para lo cual se puso a prueba:

- El Comité de Sistemas Avanzados de Televisión (ATSC- *Advanced Television System Committee*)[27], definido por los Estados Unidos de América;
- La Radiodifusión Digital de Video Terrestre (DVB-T - *Digital Video Broadcasting Terrestrial*)[28], definido por los países europeos; y
- La Radiodifusión Digital de Servicios Integrados Terrestres (ISDB-T – *Terrestrial Integrated Service Digital Broadcasting*)[29], definido por el Japón.

2.1.2 Sistemas probados en Brasil

El sistema ATSC, presenta una configuración única que emplea un método de portadora única con modulación 8-PAM/VSB, Modulación por Amplitud de Pulso (*Pulse-Amplitude Modulation*) / Banda Lateral Residual (*Vestigial Side Band*), evaluada en todos las pruebas de laboratorio y de campo.

Para la prueba del sistema DVB-T, la cual permite una amplia gama de configuraciones, fueron seleccionadas las que permiten una capacidad de carga útil del sistema ATSC, que se muestra en la Tabla 2.1.

En el sistema ISDB-T, sólo está disponible desde noviembre de 1999 que fue la fase final de las pruebas. En vista de esto el sistema ISDB-T ofrece la misma flexibilidad del sistema DVB-T en la misma configuración, se han probado sólo en un entorno que permite la misma capacidad de carga útil del sistema ATSC mostrados en la Tabla 2.1.

En los sistemas DVB-T e ISDB-T, fueron empleados el método de multiportadoras por Codificado División de Frecuencia Ortogonal Multiplexado (COFDM-*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), cuya configuración es definida por los siguientes parámetros básicos:

- Modulación digital, define la constelación que se utiliza entre: Transmisión por Desplazamiento de Fase Cuaternaria (QPSK- *Quaternary Phase Shift*

Keying), 16-QAM Modulación de Amplitud en Cuadratura (*Quadrature Amplitude Modulation*) y 64-QAM. En el sistema ISDB-T también se puede configurar usando la modulación Modulación Diferencial de Fase en Cuadratura (DQPSK- *Differentially encoded Quadrature Phase Shift Keying*). La Modulación QPSK es la más robusta, lo que permite una menor carga útil, en cambio la modulación 64-QAM es la menos robusta, lo que permite una mayor carga útil;

- El código convolucional corrector de errores (FEC- *Forward Error Correction*), donde la tasa se define entre los siguientes valores: 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 y 7/8, una cifra menor es una condición de una mayor robustez y la disminución de la carga útil;
- Intervalo de guarda, donde se define la relación entre el intervalo de guarda y la duración del símbolo OFDM [28,29] de una de las siguientes cifras: 1/4, 1/8, 1/16 y 1/32, un valor inferior corresponde a enfrentar ecos mas largos y una menor carga útil; y
- Modo de operación, donde se define un total de portadoras de COFDM, entre uno de los siguientes valores: 2K (1705 portadoras) o 8K (6817 portadoras) en el estándar DVB-T y 2K (1405 portadoras), 4K (2809 portadoras) o 8K (5617 portadoras) en el ISDB-T.

Los tres primeros parámetros tienen un impacto directo sobre la carga útil permitida, mientras que, los cuatro parámetros influyen en la robustez de los sistemas DVB-T e ISDB-T.

En el sistema ISDB-T [29], se puede configurar con la compresión entrelazada en el tiempo (*Time Interfeaving*) del sistema entre uno de los siguientes valores: 0, 0,1, 0,2 y 0,5 segundos, este parámetro no da ningún tipo de influencia sobre la carga útil permitida. Un valor mayor en el sistema ISDB-T proporciona una mayor robustez a las distorsiones de corta duración, como el ruido impulsivo y el

desvanecimiento (*fading*), con el inconveniente de la introducción de un retardo (*delay*).

Tabla. 2.1. Sistemas ampliamente probados.

Sistema	Modulación	FEC	Intervalo de guardia	Total de portadoras	Carga útil (Mbps)	Nombre utilizado en todo el informe
ATSC	8-PAM/VSB	2/3	No se aplica	No se aplica	19,39	ATSC
DVB-T	64-QAM	3/4	1/16 (18,7us)	2K(1705 portadoras)	19,76	DVB-T 3/4 1/16 2K
DVB-T	64-QAM	3/4	1/16 (74,7us)	8K(6817 portadoras)	19,76	DVB-T 3/4 1/16 8K
DVB-T	64-QAM	2/3	1/32 (37,3us)	8K(6817 portadoras)	18,10	DVB-T 2/3 1/32 8K
ISDB-T	64-QAM	3/4	1/16 (31,5us)	4K(2809 portadoras)	19,33	ISDB-T 3/4 1/16 4K

En las pruebas de laboratorio y de campo en relación con la recepción móvil, además de los ajustes teniendo en cuenta la última tabla, se pusieron a prueba las configuraciones más robustos de los sistemas DVB-T e ISDB-T, que emplean modulaciones QPSK y 16 QAM.

En las pruebas de campo fue empleada una señal de la estación reforzadora de separación de relleno (*Gap-Filler*), el sistema ISDB-T emplea las siguientes configuraciones: 3 / 4 1 / 16 8K (5617 portadoras).

Durante las pruebas, varios receptores de los tres sistemas fueron probados, como la relación dada en la Tabla 2.2, donde los mismos son identificados los nombres de la forma " Chip X ", siendo X una letra de identificación. Aunque el término "receptor X" sería más apropiado, pero se utiliza la nomenclatura aprobada por los concesionarios autorizados ("Chip X") en sus informes [30, 31,32], para facilitar la lectura de los documentos con los resultados de las pruebas de los sistemas de televisión digital realizados en Brasil. Los fabricantes de receptores no son identificados, ya que en algunas situaciones el equipo fue prestado a las empresas autorizadas con el compromiso de no revelar la identidad del fabricante.

Tabla. 2.2. Receptores probados.

Sistema	Chip
ATSC	A
	S
	T
	U
	Z
DVB-T	D
	L
	K
	M
	N
ISDB-T	I
	J

2.2. Pruebas de campo

Las pruebas de campo evaluarán el desempeño de los tres estándares a través de la comparación de sus principales parámetros técnicos y evaluarán sus características de propagación, cobertura, disponibilidad del servicio, robustez,

capacidad de transmitir programación en definición estándar y en alta definición, movilidad y portabilidad del sistema, entre otros.

2.2.1 Materiales y métodos

- Configuración de la transmisión.

La configuración general del sistema transmisor se muestra en el diagrama de bloques de la Fig. 2.1, los elementos del diagrama se describen en las subsecciones que siguen.

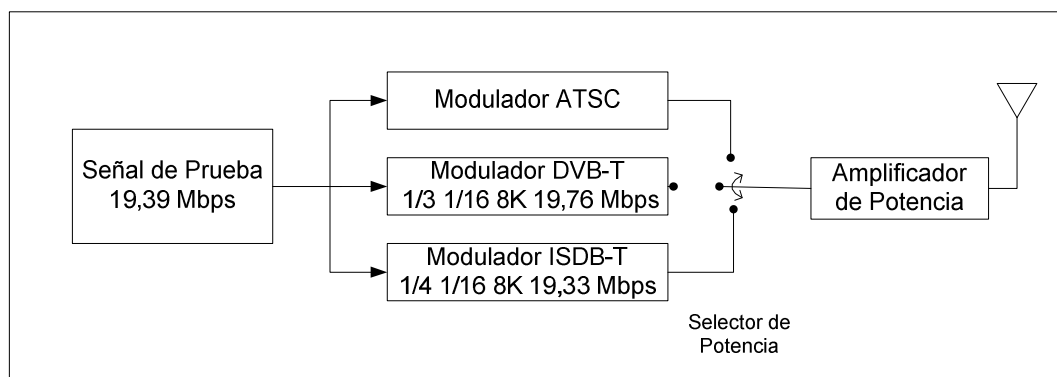


Figura. 2.1. Diagrama de bloques del transmisor.

- Señal de prueba.

Se utilizará una señal de prueba que corresponda a una secuencia de vídeo de alta definición, que se repita con un período de 2 minutos y que sea observada por al menos dos períodos consecutivos para la evaluación subjetiva de la calidad de la imagen. Preferentemente, esta señal debería ser seleccionada entre las señales de prueba estándar disponibles. Esta señal deberá tener un contenido en movimiento suficientemente rápido como para ocupar casi íntegramente la capacidad binaria disponible del canal a fin de maximizar la precisión de la

probabilidad de error visual. Para todos los estándares, esta tasa deberá ser la que permita una transmisión de alta definición 1080i en MPEG-2 lo más cercana posible a la tasa de 19,39 Mbps (Tasa fija de ATSC). El sonido debe también ser apropiado para poder evaluar los errores del tren del programa.

- Moduladores.

No se usará moduladores experimentales, si no de carácter comercial, ya que estos serán los utilizados diariamente en el país y su costo será mas económico.

Los parámetros de transmisión de los estándares DVB-T e ISDB-T deberán ser los adecuados para acomodar la tasa de transmisión de 19,39 Mbps o su valor más cercano, operando los tres estándares en un canal con un ancho de banda de 6 MHz.

En DVB-T, para poder comparar en igualdad de condiciones con ATSC, se utilizará el modo de transmisión 8k, 64QAM, tasa de codificación 3/4 e intervalo de guarda de 1/16 (tasa 19,76 Mbps). Para ISDB-T, puesto que existe una tasa similar a la de ATSC, se propone utilizar el modo de transmisión 8k, 64QAM, tasa de codificación 1/4 e intervalo de guarda de 1/16 (tasa 19,33 Mbps) y entrelazados en 0,2 s. Todas estas condiciones son planteadas para tomar la mayoría de condiciones en el sistema NTSC.

- Selector en baja potencia.

La salida de los moduladores de los tres estándares deberá ser alimentada mediante cables idénticos a un selector. Este dispositivo debe permitir cambiar lo más rápidamente posible la señal que sale al aire.

- Modulador RF y amplificador de potencia.

Para los moduladores y amplificador de potencia los canales recomendados son: 22 UHF en Guayaquil y 39 UHF en Quito [33], dependiendo del canal en el cual se va a realizar la transmisión, con potencia media 1kW, con la posibilidad de conmutar para operar con moduladores 8VSB (ATSC) y COFDM (DVB-T e ISDB-T). La potencia será verificada, ajustada y registrada en la lista de chequeo de calibración de las mediciones de cada estándar, en cada punto de medición y para cada vez que se cambia de estándar, ya que las salidas de los moduladores pueden no tener la misma potencia. Para tal efecto, a la salida del transmisor se medirá en línea y registrará la potencia media suministrada a la antena.

- Antena transmisora.

El patrón de radiación de la antena será de azimut de máxima radiación 90° y de ancho del Lóbulo a -3dB 150° , y estará instalada en el sector de las antenas transmisoras de NTSC.

Las características técnicas del sistema radiante deberán quedar registradas y permanecer inalteradas durante todas las mediciones.

- Selección de los puntos de medición.

La calidad de la recepción será medida en diferentes ubicaciones geográficas dentro de la zona de radiación de la antena transmisora. La determinación de estos lugares o puntos de medición se describe a continuación.

Para obtener resultados estadísticamente significativos en recepción fija, tanto en ambientes interiores como exteriores, se considera que 80 puntos para pruebas en exteriores y 80 puntos en interiores son representativos de las condiciones que se dan en una mayoría de situaciones reales. Se considera que estas cifras presentan un compromiso aceptable entre tiempo y costo de medición, así como significación estadística. En el caso de las pruebas de

funcionamiento bajo condiciones de movilidad, se seleccionarán dos recorridos, cada uno de 10 Km.

Para ubicar los puntos de medición fueron seleccionados 123 emplazamientos en Guayaquil y 59 en Quito en base a la experiencia de las estaciones de televisión y empresas privadas del país [33].Anexo1.

- Selección de emplazamientos.

a) Emplazamientos exteriores.

Se hará un proceso de pre-selección de los puntos de medida de acuerdo a un sistema de radiales, como se explica a continuación. Se harán 12 radiales, equiespaciados cuyo centro se ubicará en el sitio de la antena transmisora. Sobre cada radial, los puntos de medición se ubicarán a 1,2, 3, 6, 9, 12, 15, 20 Km, y en aquellos puntos en que se justifique, 30 y hasta 35 Km de distancia medida desde el transmisor. De los 120 puntos así preseleccionados, se descartarán aquellos en que el acceso sea imposible, aún desplazándose hasta en un radio de 50 m.

Podrán descartarse también otros puntos si se considera que no son de interés, siempre que el total de puntos no sea menor que 80.

Hasta dos puntos de cada radial podrán ser cambiados para realizar mediciones que reflejen condiciones que no queden suficientemente representadas por la preselección, previo visto bueno del mandante. Cuando la selección de un emplazamiento sea modificada de esa forma, se señalará tal circunstancia en los resultados y en la base de datos de las pruebas.

b) Emplazamientos interiores.

Puesto que las mediciones en interiores consideran la obtención de permisos, así como traslado manual de equipamiento, la selección de los puntos de medida en interiores se hará de acuerdo a consideraciones prácticas y logísticas, pero cuidando de representar en lo posible todas las condiciones de recepción normal, así como cubriendo en lo posible la mayor extensión posible de la zona geográfica en estudio. En lo posible, se elegirán los puntos de medición tomando como referencia los radiales definidos antes.

c) Medición de condiciones de recepción bajo movilidad.

Los recorridos a seleccionar serán dependiendo del lugar ha ser tomado en cuenta para las pruebas y recorriendo al menos 2 caminos diferentes para cada lugar, constatándose si existe o no (en porcentaje) recepción en cada estándar. Como resultado de las pruebas, se especificará qué porcentaje del tiempo hubo recepción de buena calidad o, equivalentemente, cuantas fallas se observaron y de qué tipo, en cada recorrido.

- Configuración de la recepción.

La configuración general del sistema receptor se muestra en el diagrama de bloques de la Fig.2.2. Los elementos principales del diagrama se describen en las sub-secciones que siguen.

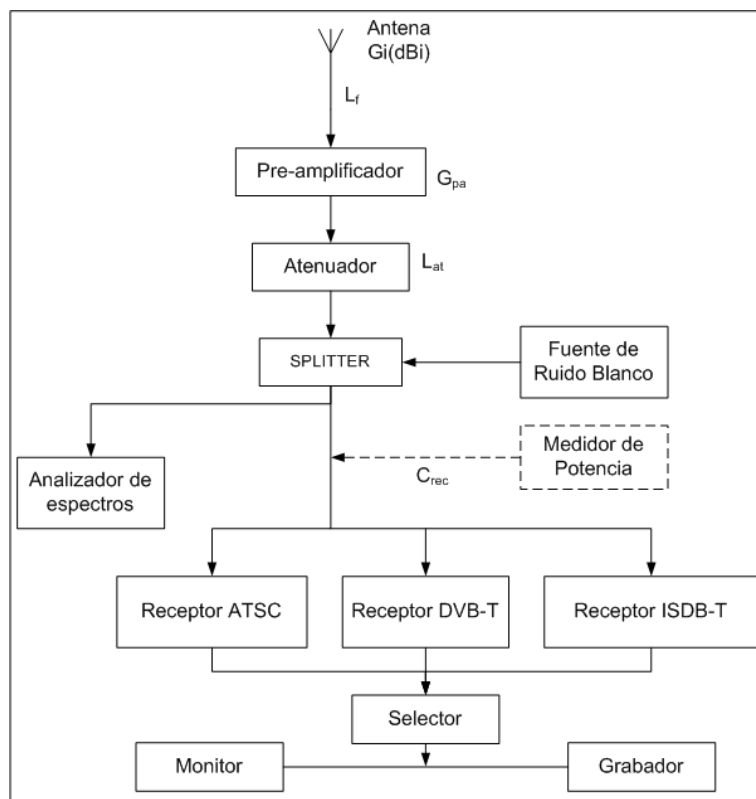


Figura. 2.2. Diagrama de bloques del receptor.

- o Antenas para la caracterización del servicio.

Para las pruebas en exteriores se usará una antena fija directiva del tipo yagi UHF comercial, de ganancia similar a la que es típicamente se obtiene con antenas comerciales para uso exterior (9 dBi). La antena deberá estar preferentemente montada sobre un mástil a una altura de 9 m sobre el suelo y con capacidad de rotación de 360 grados. La polarización deberá ser horizontal.

Para las pruebas en interiores se usará una antena portátil comercial, tipo loop UHF, montada sobre un trípode a una altura de 1,5 m. Tanto en recepción exterior como interior, las antenas deberán contar con un montaje que permita que el personal de pruebas pueda instalarlas en forma expedita, así como re-orientarlas (recepción exterior) o re-localizarlas y re-orientarlas (recepción interior)

repetidamente sin dificultad. Estas antenas están en funcionamiento en el sistema NTSC por lo cual pueden ser las antenas de mejor recepción en las pruebas.

- Decodificadores.

Se realizarán las pruebas utilizando set-top boxes (STB) disponibles actualmente en el mercado. Para cada estándar, los STB serán seleccionados de la siguiente forma:

1. Cada representante de un estándar aportará un modelo de STB para decodificar dicho estándar. Este STB debe estar disponible en el mercado, debiendo además señalarse su precio normal (sin considerar liquidaciones u ofertas especiales). Cada STB incluirá la documentación completa de sus características técnicas.

2. Cada estándar indicará una tienda comercial específica en la cual es posible comprar cada STB propuesto al precio indicado, pudiendo tratarse de locales comerciales en cualquier país, tanto con atención directa a público, o bien por Internet.

En cada caso, los STB deberán ser compatibles con transmisiones en alta definición (MPEG2) y disponer de una salida en definición estándar NTSC.

- Vehículo para transportar equipamiento de recepción.

El equipamiento receptor descrito anteriormente deberá ser instalado en un vehículo adecuado, para efectos de la medición en exteriores en puntos fijos. Esto incluye al menos los siguientes dispositivos:

- Mástil telescópico que permita elevar la antena hasta los 9 m sobre el nivel del suelo y orientarla horizontalmente.
- Antena receptora yagi para exterior, de ganancia 9 dBi
- Set-top boxes de cada norma

- Monitor de alta definición
- Televisor analógico
- Generador de ruido
- Analizador de espectro
- Receptor GPS diferencial
- Grabador de video (preferentemente, del video compuesto de la salida del STB)
- Computador portátil
- Cámara digital

Cuando la medición sea en interiores, se deberá montar los equipos de tal forma que sea fácil transportarlos manualmente.

- Mediciones en terreno
 - Parámetros de desempeño a medir.

Como indicación de la receptibilidad, se realizarán, en cada punto, mediciones de los siguientes parámetros de desempeño de cada estándar:

- Potencia de la señal recibida en dBm.
- Potencia del ruido existente (térmico, natural y ruido urbano) a la entrada del receptor, en dBm.
- Potencia del ruido blanco adicional necesario para llevar la recepción al umbral de visibilidad (*TOV-Threshold of Visibility*), en dB. Éste se define como la condición subjetiva de la imagen en que ésta comienza a deteriorarse, lo cual puede asimilarse al Nivel 4 de la Tabla. 2.3.
- Calidad subjetiva de la imagen, determinada independientemente por cada uno de los presentes; específicamente tres personas, de acuerdo a la Tabla. 2.3.
- Calidad y continuidad del audio decodificado.

Adicionalmente, en los puntos en los cuales la calidad de recepción no sea perfecta, se grabará las señales de video decodificadas por cada STB para su posterior reevaluación si fuese necesario.

La calidad subjetiva se medirá de acuerdo a la tabla siguiente Tabla 2.3, basada en recomendación UIT-R BT.500-11 *Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures* (Metodología para la evaluación subjetiva de la calidad de las imágenes de televisión 2002) , en la cual se ha agregado la definición de cada nivel. Se considera que quienes evalúan, observarán el vídeo y escucharán el audio durante un período de tiempo de 5 minutos:

Tabla. 2.3. Escala subjetiva de 5 niveles.

Calidad	Nivel	Descripción
5 Excelente	Imperceptible	Recepción sin fallas
4 Buena	Perceptible, pero no molesto	Recepción con fallas que no ameritan cambiar el canal por parte del televidente
3 Suficiente	Ligeramente molesto	Recepción con fallas de una naturaleza tal que el televidente no está conforme, pero puede esperar todavía por algún tiempo sin cambiar el canal.
2 Pobre	Molesto	Recepción con fallas que hacen que el televidente decida cambiar el canal.
1 Mala	Muy molesto	No se ve.

Se podrá utilizar una escala continua, representando estos niveles en una recta y solicitando al evaluador que marque el punto de la recta que representa su sensación subjetiva de la calidad de la recepción.

- Documentación de mediciones

La documentación inicial de las pruebas deberá incluir un listado e identificación precisa de los equipos utilizados.

La documentación en las pruebas de campo en puntos fijos, interiores y exteriores, deberá incluir, para cada punto de medición, los siguientes datos, debidamente certificados con la firma de todos los miembros del equipo de medición:

1. Número único de identificación del punto de medición.
2. Coordenadas geográficas y altitud del punto de medición, determinadas mediante el Sistema de Posicionamiento Global diferencial (GPS-*Global Positioning System*).
3. Fecha y hora.
4. Fotografías digitales que documenten detalles relevantes del entorno de medición, tales como edificio en el que se hacen las medidas, o alrededor del que se hacen éstas, zona circundante, vegetación, clima, pavimento, terreno, etc. Las fotografías además deberán permitir corroborar el punto de medición y deberán incluir fecha y hora.
5. Para el caso de recepción en exteriores, orientación de la antena utilizada en las mediciones con cada estándar, o indicación de recepción no lograda. Para el caso de recepción en interiores, número de re-localizaciones del trípode que fueron necesarias para lograr recepción de señal de cada estándar, o indicación de recepción no lograda.
6. Potencia media de transmisión medida en el transmisor (idealmente igual para los tres estándares).

7. Resultados de las mediciones:
 - a. Potencia de la señal recibida en dBm y dirección de recepción.
 - b. Potencia del ruido existente (térmico, natural y ruido urbano) a la entrada del receptor, en dBm.
 - c. Potencia del ruido blanco artificial insertada necesaria para llevar la recepción al umbral de visibilidad, en dB.
 - d. Calidad subjetiva de la imagen, determinada independientemente por cada uno de los presentes; específicamente tres personas.

8. Grabación digital de la salida (video compuesto) de cada uno de los STBs de la señal de prueba, en algunos puntos preseleccionados, para una eventual evaluación posterior, ciega, que permita cotejar los resultados de la evaluación en terreno. En caso de no haber recepción, se deberá igualmente grabar por una duración igual a la de la señal de prueba para registrar eventuales breves adquisiciones de señal.

Para el caso de las pruebas en condiciones de movilidad, se filmará, grabación que será evaluada con posterioridad. Se almacenará asimismo el recorrido mediante el sistema GPS, así como los tiempos de inicio y término de recorrido.

Finalmente, al terminar las pruebas de cada día, los datos deberán ser respaldados y guardados en un sitio seguro.

2.2.2 Protocolo de prueba

- Equipos humanos.

Para poder realizar las pruebas, se contará con un equipo de personas encargado de realizar las mediciones en terreno, y otro en el transmisor. Ambos equipos dispondrán de un sistema de comunicación que les permita un enlace continuado, que posibilite el cambio de los estándares y ajustes necesarios en las condiciones de transmisión. Este equipo humano estará compuesto por las siguientes personas:

- En el transmisor: Personal designado por el CONARTEL, profesionales de cada uno de los canales interesados, pudiendo estar presente además un representante de cada estándar.
- En terreno: Personal de Ingeniería de cada canal de TV del Ecuador y un representante del CONARTEL.

Adicionalmente a este equipo, se podrá unir una Comisión Veedora Técnica (SUPERTEL), formada por a lo menos, 3 integrantes, quienes estarán encargados de velar por el fiel cumplimiento de lo establecido en el protocolo aquí detallado.

La Comisión deberá levantar un acta pública de las mediciones de campo respecto a lo descrito en este protocolo de medición. En todo caso, esta Comisión no podrá intervenir ni obstruir en la realización de las pruebas.

Para cumplir con esta tarea la Comisión deberá coordinarse con el equipo de medición y decidir, de manera autónoma y sin previo aviso, qué puntos de medida estarán presentes.

- Cuando deben realizarse las pruebas.

Las pruebas de campo se programarán de manera que se prueben los tres estándares sucesivamente en cada punto de medida, cuando se trata de mediciones en puntos fijos. Para ello, la configuración del transmisor debe diseñarse de modo de poder conmutar rápidamente entre los moduladores correspondientes a cada estándar, preferentemente sin apagar el transmisor. En cuanto a las mediciones móviles, éstas deberán realizarse haciendo los recorridos para cada estándar, en días de semana, a la misma hora, partiendo a las 9:00 AM, hasta las 9:00 PM.

- Duración de la prueba.

La duración de la prueba en cada punto y para cada estándar deberá ser suficiente para poder observar razonablemente la calidad de la recepción y el punto en el cual dicha recepción se realiza al umbral de visibilidad (TOV). Se estima, para cada estándar en cada punto, un tiempo de observación total de cinco minutos, debe ser suficiente para determinar el nivel subjetivo de la calidad de la señal (tanto si es excelente, como si está degradada), más el tiempo necesario para montaje de la prueba en el sitio, conmutación de estándares y ajustes del generador de ruido. El transmisor emitirá durante ese período la señal de alta definición escogida, en forma cíclica o repetitiva. La señal recibida será grabada digitalmente para su registro y eventual análisis posterior.

- Procedimientos de calibración.
 - Calibración a realizar antes de realizar las mediciones.
 - Registrar la configuración de equipamiento que se usará, dejando establecidos las marcas y modelos, así como especificaciones relevantes de elementos pasivos y activos.

- Verificar en que condiciones el vehículo no genera ruido perjudicial en la banda de canal de prueba, para usar esas mismas condiciones durante las medidas.
- Verificar si el canal está o no sujeto a otras condiciones de interferencia, incluyendo transmisiones de canales adyacentes, y anotar esa condición.
- Calibración a realizar al principio de la jornada.
- Verificar que todos los elementos pasivos y activos del sistema de pruebas estén funcionando correctamente como al comienzo de las pruebas.
- Realizar los procedimientos de calibración de cada equipo, cuando ello proceda (analizador de espectro, generador de ruido).
- Procedimientos de medición.
 - Posicionamiento de la antena en exteriores.

Para las mediciones en exteriores, la antena se deberá elevar a 9 m, evitando obstrucciones, árboles, edificios, cables de energía, etc. Si la posición no es satisfactoria en este sentido, o si el sitio es inaccesible en la práctica, se moverá por vez única el vehículo al lugar aceptable más cercano, dentro de un radio de 50 m del sitio elegido, elevándose nuevamente la antena. Una vez elevada la antena, se mide en ese lugar, independientemente de si los resultados de recepción son o no satisfactorios.

Determinar y anotar las coordenadas geográficas del punto, así como todos los antecedentes listados en la sub-sección Documentación de mediciones.

- Posicionamiento de la antena en interiores

Para las mediciones en interiores, la antena se situará a una altura de 1,5 m, haciendo uso de un trípode. El trípode será situado a una distancia no mayor que 1 m del televisor principal del inmueble en el que se realiza la medición, imitando así de la mejor forma posible un caso típico. En caso de realizarse mediciones en un recinto en el cual no haya un aparato de televisión, se determinará la posición más razonable que tendría un aparato de televisión en ese recinto, dada la distribución actual del mobiliario, posición desde la cual se medirá un radio de 1 m.

Determinar y anotar las coordenadas geográficas del punto, así como todos los antecedentes listados en la sub-sección Documentación de mediciones.

- Mediciones de cada estándar en puntos fijos (Fig. 2.3).

1. En el sitio de transmisión, alimentar al transmisor con el modulador del estándar a medir. Medir la potencia de transmisión en el sitio transmisor y comunicarla al equipo en el sitio receptor, para su registro, de acuerdo a lo indicado en la subsección Documentación de mediciones.
2. Ajustar la antena de recepción.
 - a) Si el punto es exterior, determinar mediante rotación de la antena, la dirección de mejor recepción, manteniéndose la antena en esa dirección durante las mediciones. En tal condición anotar si la dirección corresponde con la dirección del transmisor o es una recepción por multitrayectoria.
 - b) Si el punto es interior y si no se logra detectar señal en la posición inicial, se podrá rotar, así como relocalizar la antena dentro de un círculo de radio 1 m. La rotación, relocalización y búsqueda del mejor lugar podrá continuar por un tiempo máximo de 2 minutos. Se

hace notar que la búsqueda es más eficiente si cada nuevo punto está al menos media longitud de onda del/los punto(s) anterior(es). Durante las mediciones en interiores, se deberá registrar si la medición se realiza con o sin movimiento de personas, así como registrar el uso de aparatos electrodomésticos en la cercanía de la antena. En caso de haber movimiento o uso de electrodomésticos se repetirá las condiciones para todos los estándares.

3. Después de un par de minutos de observación libre, se procederá a registrar la calidad subjetiva de la recepción, según los criterios indicados en la sub-sección Parámetros de Desempeño a Medir. Esto será en paralelo al paso que sigue.
4. Grabar la secuencia completa de programa transmitida (aproximadamente por 5 minutos) en los puntos seleccionados, usando la grabadora digital. Esto será en paralelo a los pasos que siguen.
5. Medir la potencia promedio de la señal recibida, en dBm, mediante el analizador de espectro.
6. Salvar el espectro de la señal usando el analizador de espectro, efectuando el análisis con un ancho de banda de 20 MHz con escala de 10 dB por división y observando la presencia de señales interferentes en las cercanías del canal.
7. Salvar el espectro de la señal, con un ancho de banda de 6 MHz con escala de 1 dB/división.
8. Con el generador de ruido, agregar ruido blanco hasta llegar al umbral de visibilidad (TOV) definido anteriormente, y anotar el valor de potencia del ruido agregado (en dB), según lo que indica el generador de ruido. Agregar el ruido blanco de tal modo de poder determinar este umbral con la mayor precisión posible, idealmente con precisión de 0,1 dB.

9. Desconectar el modulador del transmisor, de modo de que en el receptor sólo se reciba el ruido presente, incluyendo el del generador.

10. En la condición anterior, medir la potencia del ruido del sistema, N dBm, en el umbral de visibilidad (TOV), usando el analizador de espectro. Anotar la potencia de ruido promedio en el ancho de banda del canal.

11. Silenciar el generador de ruido y repetir el punto 10.

12. Apagar, desconectar.

- Mediciones de cada estándar en condiciones de movilidad (Fig. 2.3).

1. Alimentar al transmisor con el modulador del estándar a medir. Medir la potencia de transmisión en el sitio transmisor y comunicarla al equipo en el sitio receptor, para su registro. En el sitio de partida de cada recorrido registrar la hora de inicio del recorrido y comenzar el registro de localización, así como la grabación.

2. Continuar a través del recorrido, a la velocidad máxima permitida por la señalización, así como por el flujo de tráfico, registrando cualquier anomalía de éste.

3. Al término del recorrido, registrar la hora y localización GPS.

4. Apagar, desconectar.

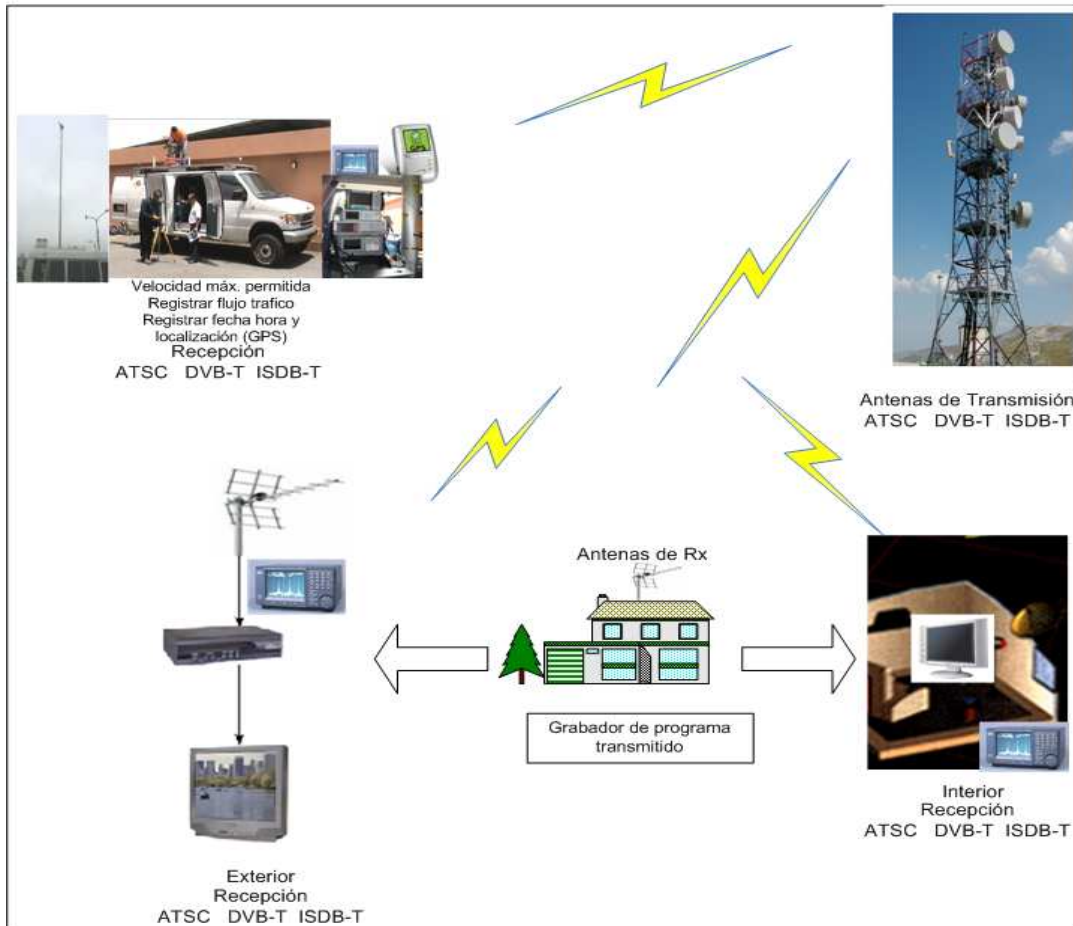


Figura. 2.3. Mediciones exteriores, interiores y móviles.

- Aspectos específicos de cada estándar
 - Recepción Fija

Para el estándar ATSC, se realizan los procedimientos anteriores sin cambios.

Para el estándar DVB-T, realizar las mediciones para el siguiente modo:

Modulación: 64QAM

Número de portadoras: 8K

Tasa codificación: 3/4

Intervalo de guarda: 1/16

Tasa de datos: 19,76 Mbps

En el caso de ISDB-T, realizar las mediciones para el siguiente modo:

Modulación: 64QAM

Número de portadoras: 8K

Tasa codificación: 1/4

Intervalo de guarda: 1/16

Time interleave: I = 2 (0,2 s)

Tasa de datos: 19,3 Mbps

- Recepción Móvil

Cada representante de los estándares deberá señalar la modulación a utilizar en este proceso. Asimismo, los receptores a utilizar serán entregados por los estándares de acuerdo a los criterios señalados en el punto Decodificadores.

- Mediciones de transmisiones analógicas

Con fines ilustrativos, en cada punto fijo se medirá la calidad de la recepción de las actuales transmisiones analógicas del Canal, la cual se calificará de acuerdo a la Tabla de 5 niveles de calidad definida por la UIT(Recomendación UIT-R BT.500-11 Metodología para la evaluación subjetiva de la calidad de las imágenes de televisión - *Methodology for the subjective assessment of the quality of tele vision pictures-2002*). Para ello, se deberá agregar un receptor analógico al equipo de prueba, para el cual se utilizará, en todos los casos, una antena del tipo interior, la cual se rotará de modo de obtener en cada punto la mejor recepción posible. Dicho aparato podrá ser substituido en las pruebas en interiores, por aparatos de televisión existentes en el recinto.

CAPITULO III

3. TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN

3.1. Transmisión y recepción de la señal de video en ATSC

En la Fig. 3.1 se muestra el proceso de Codificación - Múltiplex y Modulación, para un sistema de transmisión de video y el respectivo sistema de recepción. Como se había mencionado en el Capítulo I, el estándar ATSC adoptó para la compresión de video las especificaciones del sistema de compresión MPEG-2 de acuerdo a la norma ISO/IEC 13818-2.

El Subsistema de Transporte para el multiplexado de las señales (formato de transporte y protocolo), adoptó las especificaciones del estándar MPEG-2, de acuerdo a la norma ISO/IEC 13.818/1. Para la transmisión y recepción en ATSC, la modulación empleada depende del tipo de transmisión. Si esta es para DTT, se emplea la modulación 8-VSB, para sistemas de Televisión por Cable, se adoptó la modulación 16-VSB.

En la Fig. 3.1, el diagrama es válido para cualquier medio de transmisión ya sea DTT o sistemas de Cable.

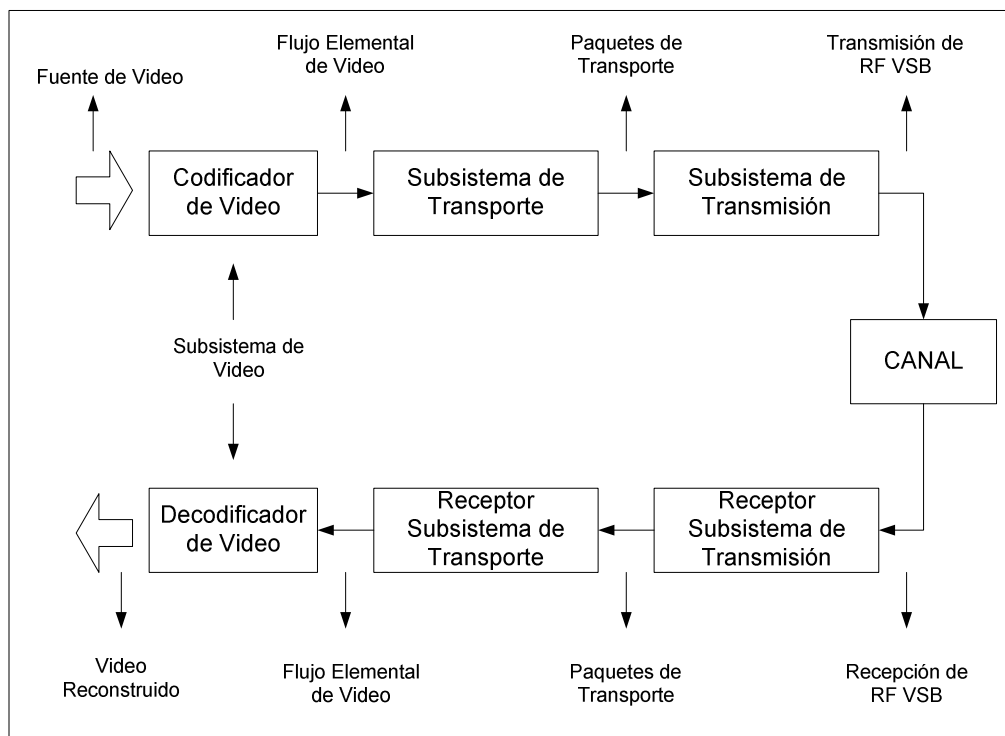


Figura. 3.1. Proceso de transmisión y recepción de una señal de video en el estándar ATSC.

La señal de video de entrada es Interfase Digital en Serie (SDI- *Serial Digital Interface*).

- Codificador de Video. Aquí, a la señal se la comprime con la relación de compresión deseada, A la salida tenemos el flujo elemental de video.
- Subsistema de Transporte. Aquí, se multiplexan los distintos trenes de datos, en un solo Flujo de Transporte. En este ejemplo solo tenemos un flujo elemental de video (ES-*Elementary Stream*) para multiplexar. A la salida del Múltiplex tenemos el Flujo de Transporte (TS-*Transport Stream*). Este flujo está constituido por paquetes MPEG-2 de 188 bytes de capacidad cada uno.
- Subsistema de Transmisión. En realidad aquí tenemos dos etapas a saber; modulación y transmisión.

En la primera etapa, el Flujo de Transporte MPEG-2, es modulado en 8-VSB, luego, este flujo modulado excita al Transmisor Digital.

Una vez que la señal de RF digital es transmitida, el canal representa en este caso, el medio de Transmisión Digital Terrestre (DTT).

La señal, una vez recibida es demodulada. Aquí se efectúa el proceso inverso al de la transmisión.

- A la salida del Demodulador tenemos el flujo de datos que contiene los paquetes de transporte.
- Subsistema de Transporte en el receptor, efectúa el proceso inverso al realizado por el Múltiplex en la transmisión. Esto significa que el Flujo de Transporte se demultiplexa y depaquetiza en un flujo elemental de video.

Este flujo de video comprimido ingresa al Decodificador para su decompresión. A la salida del decompresor, tenemos el video digital original o video reconstruido.

3.1.1 Codificación de la señal de video

En la Fig. 3.2, se representa un Codificador de video con un lazo de predicción de movimiento, empleado en el estándar ATSC.

El lazo de predicción estima el valor de la próxima imagen a codificar de la secuencia de imágenes. La diferencia entre la imagen previa predicha y la imagen actual, es el error de predicción. Este error es el que se codifica; si la predicción es acertada, el error de predicción es cero.

Los errores de predicción, en bloques de 8×8 , se procesan por separado para la señal de luminancia y cada una de las señales diferencia de color Cb y Cr.

Junto a los errores de predicción se codifican los vectores de movimiento.

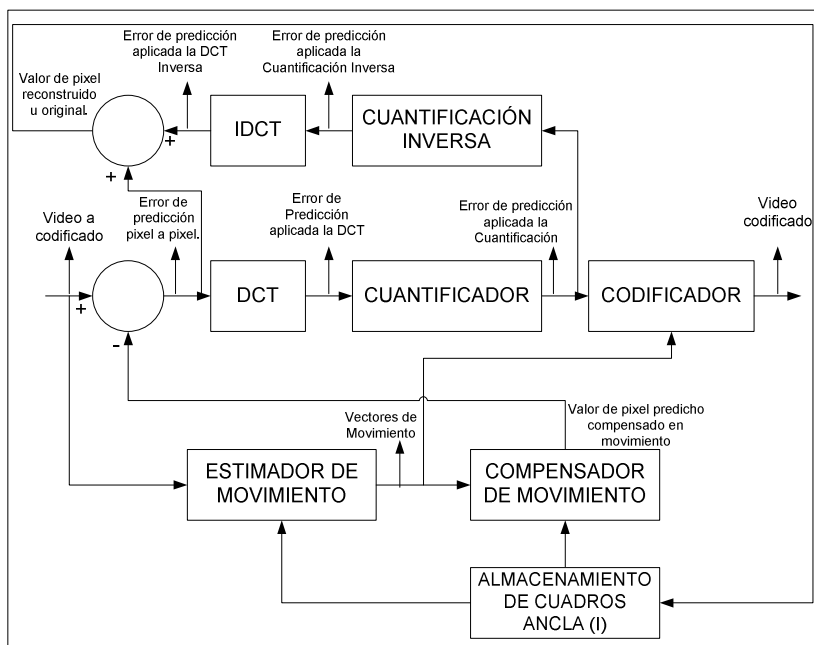


Figura. 3.2. Codificador con Estimación de Movimiento.

3.1.2 Decodificación de la señal de video

En la Fig. 3.3, se muestra un Decodificador. En este diagrama, solo se representa la parte de video [34].

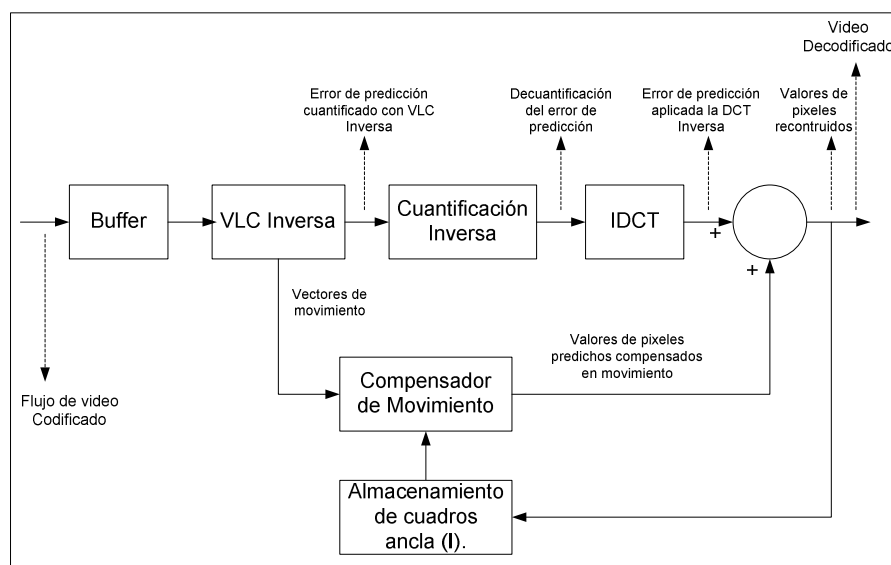


Figura. 3.3. Diagrama de un decodificador para la señal de video.

El flujo de video codificado ingresa al Buffer, Los bits son extraídos de este, mediante el Decodificador de Longitud Variable (VLD). Este reconstruye los bloques de 8x8 de los coeficientes.

El próximo paso, consiste en aplicar el proceso de De-cuantificación (Cuantificación Inversa), y a continuación la Transformada del Coseno Discreto Inversa. De esta manera tenemos los valores de píxel o errores de predicción. Para la predicción inter cuadros, el Decodificador usa los vectores de movimiento recibidos (extraídos del VLC), para realizar la misma operación de predicción, que se había efectuado en la codificación.

De esta manera, los errores de predicción recibidos, una vez de-cuantificados y aplicada la IDCT, se suman con los resultados de la predicción compensada en movimiento, para producir valores de píxeles reconstruidos (video decodificado).

3.2. Transmisión y recepción portable y móvil en DVB-T

En DVB-T, tenemos dos tipos o modos de transmisión:

- Transmisión No-Jerárquica (Modulación No-Jerárquica).
- Transmisión Jerárquica (Modulación Jerárquica).

3.2.1 Transmisión No-Jerárquica

En este modo, se transmite un flujo de datos de aproximadamente 19,6 Mbps, en un espectro de 6 MHz de ancho de banda. Este flujo puede transportar un programa de HDTV con sus audios y datos asociados ó en su defecto varios programas de SDTV, también cada uno de ellos con sus audios y datos asociados.

En la Fig. 3.4 se muestra a manera de ejemplo, la capacidad de programas que se pueden transportar a 19,6 Mbps. Los primeros dos programas se

transportan a 6 Mbps cada uno, el tercero y cuarto programas son transportados, a 4 y 3,6 Mbps respectivamente.

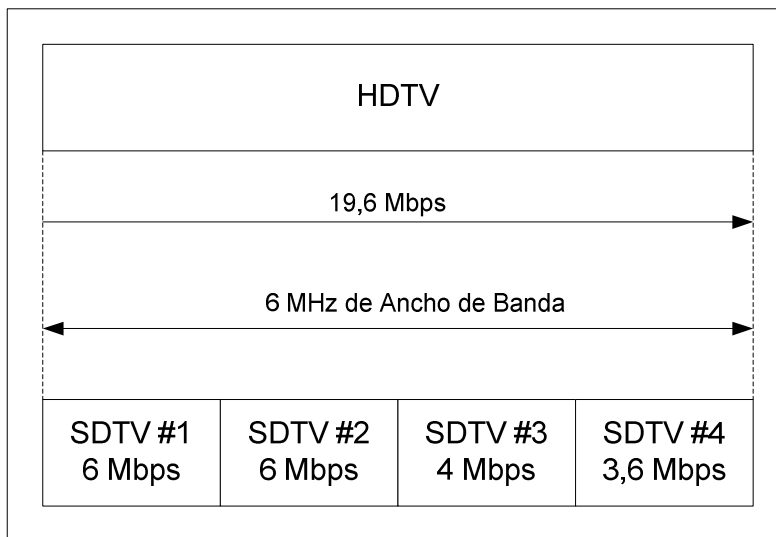


Figura. 3.4. Capacidad de programas a transportar en modo No-Jerárquico.

A manera de ejemplo, en la Tabla. 3.1, se representan los parámetros principales a utilizar, para cada uno de los ejemplos citados.

Tabla. 3.1. Parámetros principales para HDTV y SDTV en modo de Transmisión No-Jerárquica.

	HDTV	SDTV
Modo	8K	8K
Modulación de c/portadora	64 QAM	64 QAM
FEC	(3/4)	(3/4)
Intervalo de Guarda	(1/16)	(1/16)

3.2.2 Transmisión Jerárquica

Esta transmisión, consiste en el transporte de dos flujos de datos, combinados en uno solo. Cada uno de estos flujos, tiene una modulación diferente dentro del sistema COFDM.

La transmisión Jerárquica es utilizada para emitir un programa de HDTV para recepción fija y un programa de SDTV para recepción móvil, en un solo flujo de datos. En este caso, el programa de HDTV se transporta con una velocidad mayor y el programa de SDTV con una velocidad menor.

Al flujo de más alta velocidad binaria, se lo denomina LP (*Low priority*) y al flujo de más baja velocidad, se lo denomina HP (*High Priority*).

El HP que es el flujo de alta prioridad, se lo utiliza para recepción móvil. Este debe tener una modulación robusta. Por ello, cada portadora del COFDM es modulada en QPSK. El LP que es el flujo de baja prioridad, es utilizado para recepción fija.

En este caso, no interesa tanto la robustez. Por ello cada portadora del COFDM es modulada en 64 QAM. En la Fig.3.5, se muestra un diagrama de operación en modo Jerárquico.

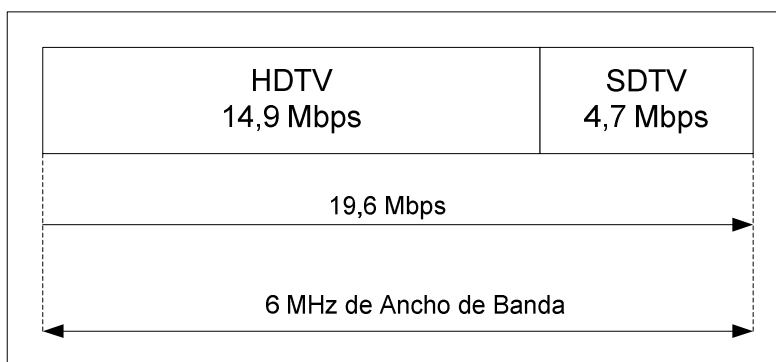


Figura. 3.5. Capacidad de programas a transportar en modo Jerárquico.

Siempre a manera de ejemplo, en la Fig. 3.5, vemos que el flujo de HDTV tiene una velocidad binaria de 14,9 Mbps, mientras que el flujo de SDTV para recepción móvil, tiene una velocidad binaria de 4,7Mbps. El flujo de HDTV tiene un formato 720p (1280 muestras por línea activa x 720 líneas activas). El flujo de SDTV tiene un formato de 575 líneas con barrido entrelazado. En la Tabla 3.2, se muestran las características principales para este tipo de transmisión.

Tabla. 3.2. Parámetros principales para Transmisión Jerárquica.

	HDTV – Rx Fija	SDTV– Rx Móvil
Tipo de Stream	LP	HP
Modo	8K	8K
Modulación de c/portadora	64 QAM	QPSK
FEC	(5/6)	(1/2)
Intervalo de Guarda	(1/8)	(1/8)

3.2.3 Recepción portable y móvil

Para este tipo de servicio, donde el sistema debe ser robusto, se emplea la modulación COFDM. donde cada una de estas portadoras es modulada en QPSK.

3.3. Transmisión y recepción en sistema ISDB-T

3.3.1 Transmisión OFDM en forma segmentada

El Flujo de Transporte (*Transport Stream*) es remultiplexado y agrupado en segmentos de datos. Luego, cada uno de estos segmentos es transformado en segmentos OFDM. En total, el espectro de transmisión se compone de trece

segmentos, siendo esta cantidad la misma para un canal de 6,7 y 8 MHz de ancho de banda. Lo que varía en cada uno de los espectros, es el tiempo de duración de cada segmento. Para 6 MHz de ancho de banda del canal, el espectro compuesto por los trece segmentos ocupa 5.6 MHz, siendo el ancho de banda de cada segmento de 429 KHz [35].

3.3.2 Operación en distintos modos de transmisión

En el estándar ISDB-T, se opera en tres diferentes modos de transmisión, cada modo tiene distinto espacio en las portadoras OFDM.

Los modos de transmisión son los siguientes:

- Modo 1; En este modo de transmisión, las portadoras OFDM están espaciadas en 4 KHz;
- Modo 2: Las portadoras OFDM están espaciadas en 2 KHz;
- Modo 3: Las portadoras OFDM están espaciadas en 1 KHz.

3.3.3 Transmisión segmentada

En el estándar ISDB-T el espectro de transmisión es dividido en trece segmentos, que son numerados de 0 a 12. En estos trece segmentos son creados para poder ser asignados a servicios distintos, permitiendo asignar varios segmentos a un servicio determinado y ajustar los parámetros de transmisión, optimiza los parámetros de un servicio según su objetivo; en estos trece segmentos se puede asignar libremente a un máximo de tres servicios, todo este proceso se realiza en el sistema de codificación de canal [37].

En la Fig. 3.6, se muestra el espectro de los trece segmentos en transmisión, los mismos corresponden a un canal de 6 MHz de ancho de banda.

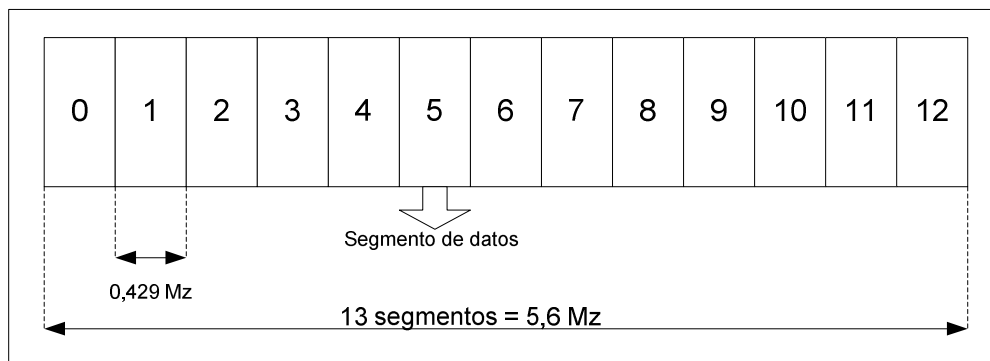


Figura. 3.6. Segmentos de datos en ISDB-T, para 6 MHz de ancho de banda del canal.

En el estándar ISDB-T se efectúan dos tipos de intercalaciones de datos. La primera de ellas se denomina inter segmentos y consiste en una randomización entre segmentos. El segundo tipo de intercalación se denomina intra segmentos y consiste en intercalar los datos dentro del mismo segmento.

En la Fig. 3.7, se ilustra el mismo espectro de la Fig. 3.6, pero con los segmentos intercalados.

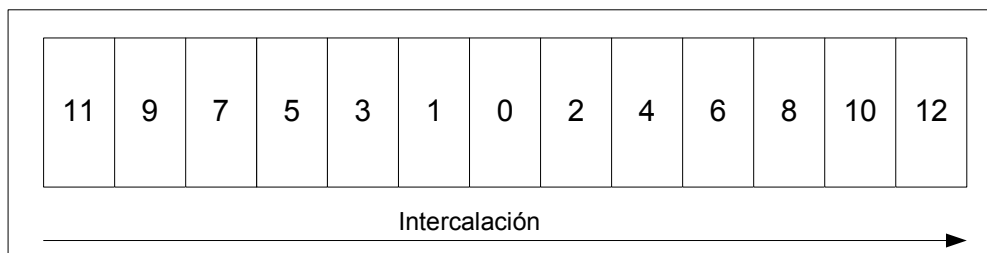


Figura. 3.7. Segmentos de datos intercalados.

Obsérvese que el segmento 0 queda en el centro de la banda. Este se utiliza para transmisión de banda angosta.

3.3.4 Transmisión en modo Jerárquico

En modo Jerárquico, el estándar ISDB-T permite transmitir en forma simultánea un flujo de datos para recepción fija y otro flujo para recepción móvil.

Para recepción fija, se puede transmitir un programa de HDTV ó varios programas de SDTV. Para recepción móvil se transmite un programa de SDTV.

Para la recepción móvil la cantidad de segmentos que se transmiten es menor. Tengamos en cuenta que a mayor cantidad de segmentos el ancho de banda será mayor y por ende el flujo de datos puede transportarse a mayor velocidad.

Cada grupo de segmentos puede tener su propio tipo de modulación, relación de código y tiempo de intercalación. Se pueden transmitir hasta tres grupos de segmentos separados, al mismo tiempo y en el mismo canal.

En la Fig. 3.8, se muestra a manera de ejemplo una transmisión de dos grupos de segmentos separados.

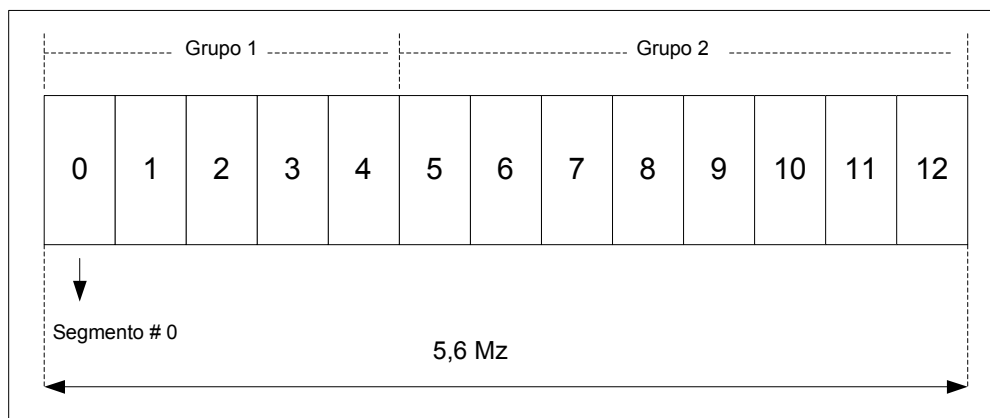


Figura. 3.8. Ejemplo de transmisión COFDM en modo Jerárquico, en dos grupos diferentes, en el mismo canal y al mismo tiempo.

La agrupación puede ser de cualquier manera, dependiendo de la aplicación y el ancho de banda requerido. En este ejemplo, cada uno de los dos grupos tiene el siguiente ancho de banda:

Grupo 1: 2,145 MHz

Grupo 2: 3.432 MHz

El grupo de los cinco primeros segmentos es utilizado para recepción móvil en SDTV, mientras que los ocho segmentos restantes, se utilizan para recepción fija en HDTV.

3.3.5 Transmisión en modo parcial o de banda angosta

Como habíamos mencionado, existe otra forma de transmisión que se denomina parcial o de banda angosta. Esta, es utilizada para recepción portable y móvil. La característica principal de este tipo de transmisión, implica que el segmento parcial a transmitir, está ubicado en la parte central de la banda de los trece segmentos. En este segmento, solo se transmite audio y datos, y ambos pueden ser recibidos por un receptor portátil de banda angosta. El ancho de banda de este receptor es de un segmento OFDM.

En la Fig.3.9, se muestra el caso de la recepción de banda angosta. Aquí se representan los trece segmentos intercalados, menos el número cero, que es el que transporta esta señal y siempre está en el centro de la banda [36].

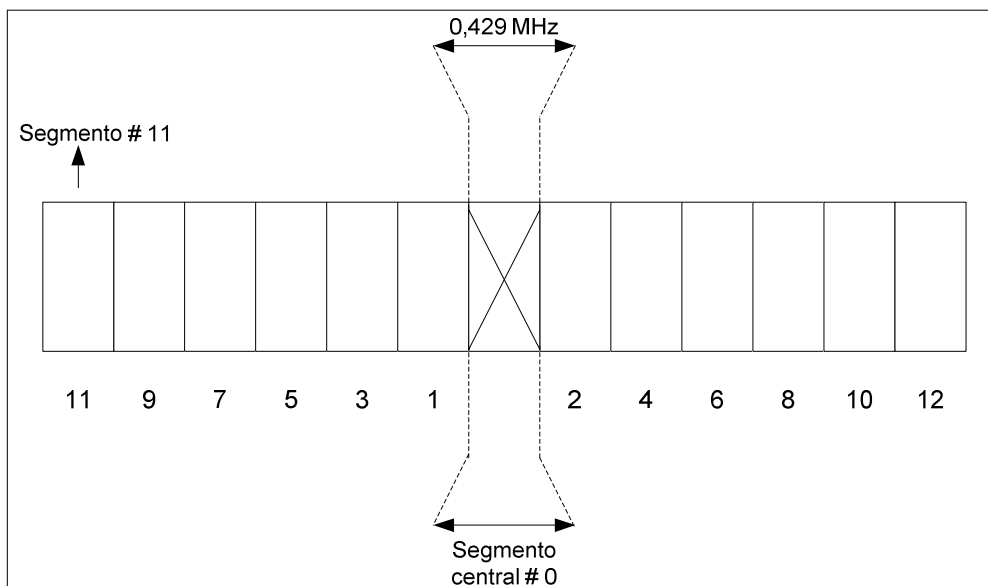


Figura. 3.9. Recepción ISDBT de banda angosta.

3.3.6 Parámetros de transmisión del canal de 6 MHz.

En la Tabla 3.3, se muestran los parámetros principales de transmisión para los 13 segmentos, Estos ocupan un ancho de banda de 5,58 MHz del espectro de 6 MHz.

Tabla. 3.3. Parámetros de transmisión para ISDB-T en 6 MHz. Reproducida con permiso de Grupo de Expertos de Radiodifusión Digital (DIBEG-Digital Broadcasting Experts Group).

Parámetro	Modo 1	Modo 2	Modo 3
Número de segmentos Ns	13		
Ancho de banda del canal	5,575 MHz	5,573 MHz	5,572 MHz
Número de segmentos para modulación diferencial	nd		
Portadora de datos	96xNs=1.248	192xNs=2.496	384xNs=4.992
Pilotos dispersos	9xns	18xns	36xns
Pilotos continuos	nd+1	nd+1	nd+1
Portadoras de control	ns+5xnd	2xns+10xnd	4xns+20xnd
Portadoras auxiliares AC1*	2xNs=26	4xNs=52	8xNs=104
Portadoras auxiliares AC2*	4xnd	9xnd	19xnd
Modulación de la Portadora	QPSK,16QAM,64QAM,DQPSK		
Número de símbolos por cuadro	204		
Duración del símbolo	252 useg.	504 useg.	1008 useg.
Intervalos de guarda	63 useg. (1/4) 31,5 useg. (1/8) 15,75 useg. (1/16) 7,875 useg. (1/32)	126 useg. (1/4) 63 useg. (1/8) 31,5 useg. (1/16) 15,75 useg. (1/32)	252 useg. (1/4) 126 useg. (1/8) 63 useg. (1/16) 31,5 useg. (1/32)
Duración del cuadro	64,26 ms (1/4) 57,834ms(1/8) 54,621 ms (1/16) 53,01ms(1/32)	128,52 ms (1/4) 116,668 ms(1/8) 109,242 ms (1/16) 106,029ms(1/32)	257,04 ms (1/4) 231,336 ms(1/8) 218,464 ms (1/16) 212,058 ms(1/32)
Reloj de Muestreo FFT	512/63=8,12693 MHz		
Relación de código	Código convolucional (1/2,2/3,3/4,5/6,7/8)		
Código externo	RS (204/188)		

* AC1/AC2: Auxiliar Channel 1/ Auxiliar Channel 2. Canales Auxiliares 1y 2.

La Tabla 3.4, muestra los tiempos de los distintos intervalos de guarda, para los tres modos de operación.

Tabla. 3.4. Intervalos de guarda para los distintos modos de operación.

	Modo 1	Modo 2	Modo 3
Tiempo del símbolo	252 useg.	504 useg.	1008 useg.
Intervalo de guarda: 1/4	63 useg.	126 useg.	252 useg.
Intervalo de guarda: 1/8	31,5 useg.	63 useg.	126 useg.
Intervalo de guarda: 1/16	15,75 useg.	31,15 useg.	63 useg.
Intervalo de guarda: 1/32	7,87 useg.	15,75 useg.	31,5 useg.

CAPITULO IV

4. ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS DE CAMPO

4.1. Parámetros de análisis

4.1.1 Introducción

En este tema se presenta los parámetros de análisis bajo los cuales se va a comparar los sistemas de la televisión digital.

El procedimiento de las pruebas de campo se basa en la inyección exterior del ruido blanco gaussiano hasta la pérdida de la sincronización del receptor digital o la verificación del material de los equipos.

El diagrama de bloques viene dado por la siguiente Fig.4.1, donde: L_f es la pérdida de cable entre la antena de recepción y el pre-amplificador, G_{pa} es la ganancia del pre-amplificador y L_{at} es la pérdida por el atenuador.

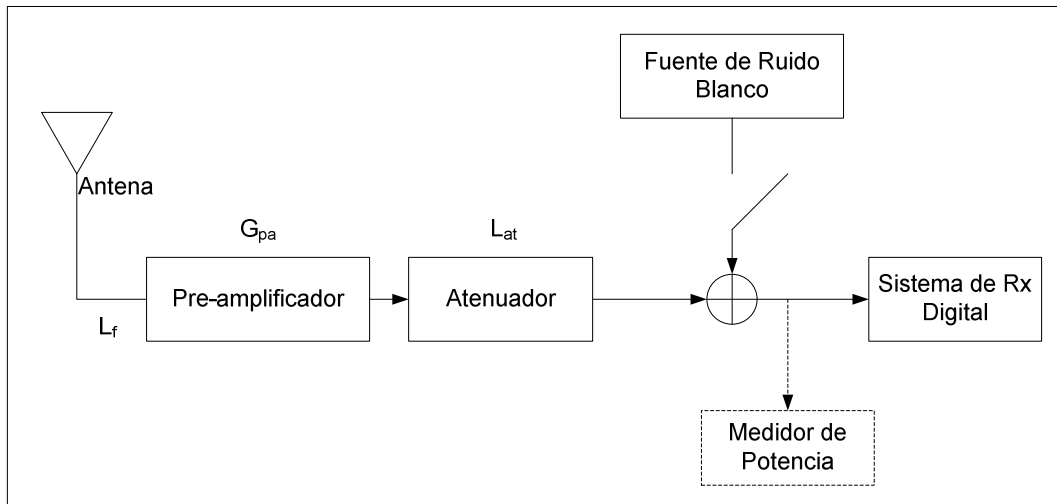


Figura. 4.1. Diagrama de bloques.

En el análisis presentado a continuación, la ganancia será considerada el "Setup" que afecta a todo el cable y al pre-amplificador [38].

$$G_{st}(dB) = G_{pa}(dB) - L_f (dB)$$

En el proceso de verificación, se pueden identificar tres pasos:

- a) En condiciones de máxima atenuación y sin inyección del ruido externo, la fuente de ruido blanco se medirá a través del nivel de potencia ó el nivel de ruido N_{rec} .
- b) Con el atenuador en una posición L_{at} permite que la potencia de la señal digital esté cerca a - 30 dBm ó la señal mínima de la potencia que es determinada en el laboratorio para los receptores empleados en la pruebas de campo y de -75 ~-82 dBm, se medirá sin la inyección de ruido externo a través del nivel de potencia, potencia de la señal digital, C_{in} .

- c) En las mismas condiciones, siendo el ruido externo hasta que se observe pérdida del sincronismo del receptor digital o la verificación de los equipos en el decodificador de video.

Con el atenuador en condición de máxima atenuación será medido por el nivel de potencia, la potencia de ruido en el umbral de recepción, N_{lim} .

La relación señal a ruido de recepción, $(S/N)_{rec}$, viene dada por:

$$(S/N)_{rec} \text{ (dB)} = C_{in} \text{ (dBm)} + L_{at} \text{ (dB)} - N_{rec} \text{ (dBm)}$$

La relación señal a ruido umbral, $(S/N)_{lim}$, viene dada por:

$$(S/N)_{lim} \text{ (dB)} = C_{in} \text{ (dBm)} - N_{lim} \text{ (dBm)}$$

La potencia de la señal digital estimada recibida al final de la antena C_{rec} , viene dada por:

$$C_{rec} \text{ (dBm)} = C_{in} \text{ (dBm)} + L_{at} \text{ (dB)} - G_{st} \text{ (dB)}$$

La potencia de señal digital estimada recibida C_{rec} , se utiliza para estimar la intensidad de campo eléctrico E_{rec} , en el punto de medición, a través de la siguiente relación:

$E_{rec}^2 = 120 C_{rec} (2\pi f / c)^2 / G_i$; donde f es la frecuencia central del canal considerado, c es la velocidad de la luz en el aire y G_i es la ganancia de antena isotrópica.

En el caso de Ecuador, tenemos [39]: Quito, un transmisor digital de potencia media para los canales 39, UHF y Guayaquil, un transmisor digital de potencia media 1 kW para los canales 22 UHF, en las dos ciudades dependiendo del canal en el cual se va a realizar la transmisión; para la frecuencia central se debe tener en cuenta la siguiente relación en cada ciudad:

$$E_{\text{rec}} (\text{dBuV} / \text{m}) = C_{\text{rec}} (\text{dBm}) - G_i (\text{dBi}) + 132,67$$

En las pruebas de campo con la recepción externa, con una antena receptora Rohde & Schwarz patrón del modelo 6111C CBL [38]. La ganancia máxima de antenas receptoras utilizadas en la frecuencia de 593 MHz, es de 2,6 dBd (dB en relación al dipolo de media onda). Como el dipolo de media onda tiene una ganancia de 2,15 dBi en relación a antena isotrópica, tenemos que: $G_i = 4,75$ dBi, con lo que el factor de conversión sería [38]:

$$E_{\text{rec}} (\text{dBuV} / \text{m}) = C_{\text{rec}} (\text{dBm}) + 127,92$$

Cabe señalar que en el proceso de las medidas de campo, se tratará de incluir en cada sistema probado la mejor posición de la antena que permita las mejores condiciones de recepción. Por lo tanto, el valor calculado mediante la ecuación anterior da lugar a una estimación de la intensidad de campo eléctrico recibido. Además, las contribuciones de las señales recibidas por la reflexión (ecos) varían de acuerdo a la dirección de la antena.

El margen de recepción, M, viene dado por:

$$M (\text{dB}) = (S/N)_{\text{rec}} (\text{dB}) - (S/N)_{\text{lim}} (\text{dB})$$

Este parámetro se utiliza como una estimación del margen de intensidad en el campo disponible en el punto de medición; es decir, si E_{rec} es la intensidad del campo eléctrico recibido, la intensidad de Campo eléctrico umbral para el cálculo en el punto de medición viene dada por:

$$E_{\text{lim}} (\text{dBuV} / \text{m}) = E_{\text{rec}} (\text{dBuV} / \text{m}) - M (\text{dB})$$

Esta cifra representa una estimación de la intensidad de campo eléctrico mínimo necesario para que el sistema digital funcione correctamente en el punto de medición.

Además, se toma en cuenta el número de degradaciones en el equipo, a través de una evaluación subjetiva en el material de vídeo dentro de una cierta ventana de tiempo, siempre que no exista inyección de ruido externo.

Este tipo de información puede ser utilizada para comprobar la sensibilidad del sistema digital, efecto presente en el mundo real, especialmente los de corta duración, como el ruido impulsivo, cambios en la dinámica del canal, entre otros.

No es conveniente utilizar esta información para establecer condiciones en la recepción de un punto de medida por las siguientes razones:

- La evaluación subjetiva en condiciones que no siempre pueden ser controladas o no se mantiene constante en todos los puntos de medición (por ejemplo, asesores, iluminación, la variación del ambiente);
- Pueden ser fuertemente influidos por la posterior cancelación de los efectos en vídeo ó errores de canal ejecutadas por los receptores; y
- El concepto de equipos es algo global que: puede indicar congelamientos, el bloqueo de los efectos sobre áreas grandes o pequeñas, y así sucesivamente, sin una adecuada caracterización de estos equipos y una verificación formal de los efectos de ellos sobre la calidad, la definición del umbral utilizando en el número de equipos no pueden ser empleado con confiabilidad.

El uso del margen de la recepción dada por el ruido externo inyecta las siguientes ventajas:

- Utiliza medidas objetivas; y
- Basándose en el hecho de que los sistemas digitales que se consideran, son caracterizados por el efecto de un corte abrupto, pueden presentarse

pequeñas variaciones de S/N lo que provoca grandes variaciones en la tasa de error.

El margen de recepción también estará sujeto a las limitaciones inherentes en el proceso de medición tales como cambios en las condiciones ambientales, ruido de impulsos, etc., la metodología considerada en el análisis de las pruebas de campo será tomadas bajo los siguientes criterios:

- Si el margen de recepción es superior a 0 dB, se considera que el servicio de televisión digital esta disponible.
- Si no hay margen de recepción, se considera que el servicio de televisión digital no está disponible.

Los datos sobre el número de degradaciones serán tomadas en cuenta con el objeto de fortalecer, cuantificar e informar sobre la robustez de los sistemas digitales.

4.1.2 Herramientas de análisis

Serán utilizados dos clases de herramientas para el análisis de las pruebas de campo:

a) Herramientas de caracterización de los sistemas: utilizadas para levantar parámetros o características de los sistemas digitales, con el objeto de verificar el impacto de las pruebas reales con las pruebas ideales, de acuerdo al canal libre y al ruido blanco gaussiano.

b) Medidas de desempeño: son los parámetros que permiten la comparación de los sistemas de televisión digital representados por la implementación disponible.

4.1.3 Características de los sistemas

Las siguientes herramientas para la caracterización de los sistemas utilizados son:

- a) Porcentaje de puntos frente a la intensidad de campo umbral.
- b) Margen de recepción frente a la intensidad de campo recibida

a) Porcentaje de puntos frente a la intensidad de campo umbral

Dos situaciones pueden ocurrir en cada punto de medición; la primera, cuando hay margen de recepción (M) y la intensidad de campo umbral (E_{lim}), entonces la relación estaría dada por:

$$E_{lim} \text{ (dB)} = E_{rec} \text{ (dB)} - M \text{ (dB)}, \text{ donde } M > 0 \text{ dB}$$

La segunda, cuando no hay margen de recepción, por lo tanto:

$$E_{lim} \text{ (dB)} > E_{rec} \text{ (dB)}, \text{ donde } M = 0 \text{ dB}$$

En el gráfico porcentual de puntos frente a la intensidad de campo umbral, indica el porcentaje de puntos de medida donde la intensidad de campo umbral supera un cierto valor.

Utilizando la relación señal a ruido umbral calculada en el laboratorio, para el canal contaminado solo por el ruido blanco gaussiano para el receptor en prueba, $(S/N)_{lab}$, se puede estimar la intensidad de campo mínima de recepción

en el punto de medida si el canal de transmisión es libre y limpio; es decir que se caracteriza porque no existe interferencias como ruidos captados por la antena.

E_{\min} (dBuV / m) = C_{\min} (dBm) + 127,92; donde:

$$C_{\min} \text{ (dBm)} = N_{\text{rec}} \text{ (dBm)} + (S/N)_{\text{lab}} \text{ (dB)} - G_{\text{st}} \text{ (dB)}$$

La diferencia entre la intensidad de campo umbral E_{lim} (dBuV / m), y la intensidad de campo mínima E_{\min} (dBuV / m), se utiliza para dimensionar el impacto del mundo reales en la recepción del sistema digital.

El parámetro E_0 que es la intensidad del campo mínima normalizada se utiliza para indicar la intensidad de campo mínima estimada para el canal libre y limpio, si el umbral de la relación señal a ruido $(S/N)_{\text{lab}}$, del sistema digital se encuentra por debajo de los 0 dB, tenemos:

$$E_0 \text{ (dBuV / m)} = N_{\text{rec}} \text{ (dBm)} - G_{\text{st}} \text{ (dB)} + 127,92$$

Otro método empleado es el gráfico porcentual de puntos frente a la relación S/N en el umbral de recepción, que permite observar el impacto del mundo real en la relación S/N umbral del sistema $(S/N)_{\text{lim}}$.

Nuevamente, considerando las dos situaciones que pueden ocurrir en un punto de medición; en primer lugar cuando el margen de recepción M es medido, y en segundo lugar cuando no hay margen de recepción, tenemos:

$$(S/N)_{\text{lim}} \text{ (dB)} > (S/N)_{\text{rec}} \text{ (dB)}$$

b) Margen de recepción frente a la intensidad de campo recibida

Este es un diagrama que muestra el valor calculado para el margen de recepción en función de la Intensidad de Campo E_{rec} . Esta curva puede ser comparada con el comportamiento característico del sistema de ruido blanco

gaussiano. En este tipo de medio ambiente, donde E_{\min} es la intensidad de campo mínima y E_{rec} es la intensidad de campo, el margen de recepción esta dado por:

$$E_{\text{rec}} \text{ (dBuV / m)} - E_{\min} \text{ (dBuV / m)}.$$

El coeficiente de correlación de *Pearson* [40], entre el margen de recepción y la intensidad de campo umbral es utilizado para indicar como puede estar relacionado directamente el margen de recepción con la intensidad de campo y producir valores entre -1 y 1, y posibilita cuantificar la influencia de los efectos del mundo real sobre el rendimiento de los sistemas probados. Un mayor valor indica mayor solidez a los efectos introducidos por el medio.

4.1.4 Rendimiento de los sistemas

Las siguientes medidas de rendimiento son utilizadas:

- a) Índice de Disponibilidad de Servicio (IDS),
- b) Índice de Eficiencia del Sistema (IES).

a) Índice de Disponibilidad de Servicio (IDS)

El índice de disponibilidad del servicio se define como el porcentaje de puntos dentro de un contorno con "R" kilómetros, donde el margen de recepción es superior a 0 dB. Los gráficos del índice de disponibilidad del servicio en función del contorno "R" se representan para ayudar a la visualización de resultados. La fiabilidad de este parámetro se verifica a través de la observación de las perturbaciones causadas en el momento de las siguientes condiciones:

- Cuando el índice se calcula como el porcentaje de puntos dentro de un marco de "R" kilómetros, donde el margen de recepción es superior a un determinado valor no nulo, y

- Cuando el índice se calcula como el porcentaje de puntos dentro de un marco de "R" kilómetros, donde el margen de recepción es superior a 0 dB y el número de equipos verificados en video es inferior a un determinado umbral.

b) Índice de Eficiencia del Sistema (IES)

El índice de eficiencia del sistema se define como el porcentaje de puntos, únicamente en los puntos de medición donde la intensidad del campo es mayor o igual a $E_{\min} + \Delta E$, donde existe un margen de recepción $M > 0$ dB, donde E_{\min} es la intensidad de campo mínima estimada para un canal libre y limpio en el punto de medida. Los gráficos del índice de la eficiencia del sistema frente a ΔE se utiliza para producir este resultado. Este tipo de gráfico permite comparar los sistemas que presentan diferentes valores de intensidad de campo mínima, sobre el terreno durante un período mínimo de canales libres y limpios o para el umbral de S/N en medio ambiente Gaussiano cuando se someten a las pruebas de campo en el que la potencia de transmisión es la misma, como fue el caso de las pruebas de Sao Paulo, Brasil.

4.2. Pruebas de cobertura con recepción externa

4.2.1 Introducción

En esta sección se deberá presentar los análisis de las pruebas de campo que simula las condiciones de recepción con antena externa "*outdoor*", que deberá tomarse de las ciudades de Quito y / o Guayaquil. El objetivo principal de estas pruebas es para comparar los sistemas de televisión digital con respecto a la robustez y cobertura en condiciones de recepción, a través de una antena externa con una altura de 10 m en relación al suelo.

Un segundo objetivo es comparar la cobertura de sistemas digitales con la cobertura de canales analógicos en funcionamiento en las ciudades de Quito y Guayaquil. Las pruebas deberán realizarse en un periodo de 5 a 6 meses para que los sistemas de TV Digital puedan ser examinados por separado.

Para el primero se deberá tomar pruebas simultáneas en un gran número de puntos en los sistemas ATSC y DVB-T 3/4 1/16 2 K. El segundo experimento garantizará la simultaneidad de las medidas que entrañe un menor número de puntos de medición y se refiere a la comparación de los siguientes sistemas: ATSC, DVB-T 3/4 1/16 2K, DVB-T 3/4 1/16 8K, DVB-T 2/3 1/32 8K y ISDB-T 3/4 1/16 4K.

Se tendrá que tomar un modelo de antena receptora patrón necesario para poder realizar esas pruebas, en base al documento de estudios de Brasil la antena receptora patrón tomada es Rohde & Schwarz en el modelo CBL 6111C para los dos experimentos [38]. Se deberá mostrar en un cuadro las características de los sistemas probados, indicando el experimento, los puntos de medida, la fechas de las mediciones, el sistema, la configuración del sistema y la carga útil de cada uno de ellos.

4.2.2 Experimento 1

a) Características del experimento

Se caracteriza por pruebas simultáneas en los sistemas, configuraciones y receptores presentados a continuación:

Tabla. 4.1. Sistemas probados.

Sistema	Configuración	Receptor	Carga útil (Mbps)
ATSC	Única	Chip Z	19,39
DVB-T	3/4 1/16 2K	Chip N	19,76

Para este experimento se debe identificar los números de puntos de medición ha ser probados de manera simultanea, este número de puntos cubrirá un total de “ θ ” radiales, con espacio mínimo de 15 grados en distancias de “d1, d2, d3, d4,... dn”, kilómetros desde el punto de transmisión. Estos puntos de medición son aquellos que en radiales presentan una intensidad de campo estimado de al menos 45 dBuV / m, en base a cálculos de cobertura con los datos realizados por la concesionaria autorizada, sin tener en cuenta los efectos de morfología.

Las próximas cifras pondrán de manifiesto la disposición geográfica de los puntos de medición. En el primer gráfico se dará la distancia a la estación de transmisión; en el segundo los límites de la ciudad a ser tomada en cuenta. En el cuadro siguiente se incrementara el número de identificación de los puntos seleccionados.

Para cada punto de medición y cada uno de los sistemas probados, se debe tomar en cuenta los datos relacionados:

- Número de puntos de medición
- Fecha de la prueba
- Nivel de ruido, N_{rec} (dBm)
- Ganancia de configuración, G_{st} (dB)
- Pérdida por la Atenuación, L_{at} (dB)
- Potencia de la señal digital (después de la amplificación y la atenuación), C_{in} (dBm)
- Intensidad de Campo recibido, E_{rec} (dBuV / m)

- Relación señal a ruido de recepción, $(S/N)_{rec}$
- Nivel de Ruido umbral de recepción, N_{lim} (dBm)
- Relación señal a ruido del umbral, $(S/N)_{lim}$
- Margen de recepción, M (dB)
- Número de equipos observados.

La Tabla 4.2. a) y b), muestra las características de recepción consideradas y utilizadas para estimar la intensidad de campo eléctrico recibidas y la intensidad de campo mínima estimada para el canal limpio y libre en cada punto de medición.

Tabla. 4.2. a) Valores medidos.

VALORES MEDIDOS		
Parámetros	Símbolos	Valor
Número de puntos de medición	PT	
Número de equipos medidos	NA	
Distancia del transmisor	Dist.	Dist. (Km)
Nivel de Ruido	N_{rec}	N_{rec} (dBm)
Ganancia del Pre-amplificador	G_{pa}	G_{pa} (dB)
Pérdida del cable	L_f	L_f (dB)
Pérdida por el Atenuador	L_{at}	-30 dB
Relación señal a ruido umbral pruebas de laboratorio	$(S/N)_{lab}$	$(S/N)_{lab}$ (dB)
Potencia de la señal digital (después de la amplificación y la atenuación)	C_{in}	C_{in} (dBm)
Nivel de Ruido umbral de recepción	N_{lim}	N_{lim} (dBm)
Ganancia de la antena utilizada en relación a la antena isotrópica	G_i	G_i (dBi)
Frecuencia central del Canal	f	f (MHz)

Tabla. 4.2. b) Valores calculados.

VALORES CALCULADOS		
Parámetros	Símbolos	Valor
Ganancia de Configuración	G_{st}	$G_{st} (dB) = G_{pa} (dB) - L_i (dB)$
Intensidad de campo recibida estimada	E_{rec}	$E_{rec} (dBuV/m) = C_{rec} (dBm) - G_i (dBi) + 127,92$
Intensidad de campo mínima estimada para el canal libre y limpio	E_{min}	$E_{min} (dBuV/m) = C_{min} (dBm) + 127,92$
Intensidad de campo mínima normalizada	E_0	$E_0 (dBuV/m) = E_{min} (dBuV/m) - (S/N)_{lab} (dB) = N_{rec} (dBm) - G_{st} (dB) + 127,92$
Potencia Mínima de la señal para el canal libre y limpio	C_{min}	$C_{min} (dBm) = N_{rec} (dBm) + (S/N)_{lab} (dB) - G_{st} (dB)$
Potencia de la Señal recibida	C_{rec}	$C_{rec} (dBm) = C_{in} (dBm) + L_{at} (dB) - G_{st} (dB)$
Relación señal a ruido de recepción	$(S/N)_{rec}$	$(S/N)_{rec} (dB) = C_{in} (dBm) + L_{at} (dB) - N_{rec} (dBm)$
Relación señal a ruido umbral	$(S/N)_{lim}$	$(S/N)_{lim} (dB) = C_{in} (dBm) - N_{lim} (dBm)$
Margen de recepción	M	$M (dB) = (S/N)_{rec} (dB) - (S/N)_{lim} (dB)$
Intensidad de campo umbral para el punto de medida	E_{lim}	$E_{lim} (dBuV / m) = E_{rec} (dBuV / m) - M (dB)$

b) Análisis de la dispersión de datos

Con el fin de verificar que los sistemas de prueba fueron sometidos a pruebas de similar condición, se tomara en cuenta la dispersión de la intensidad del campo incidente estimada E_{rec} , en cada punto de medición; para lo cual, se tomaran datos de los diferentes puntos de medición y la intensidad de campo estimada para cada sistema, en la Fig. 4.2, se muestra esta relación; en la cual se puede observar que tanto en ATSC como en DVB 3/4 la mayoría de puntos de medida tienen la misma intensidad de campo. Anexo 2.

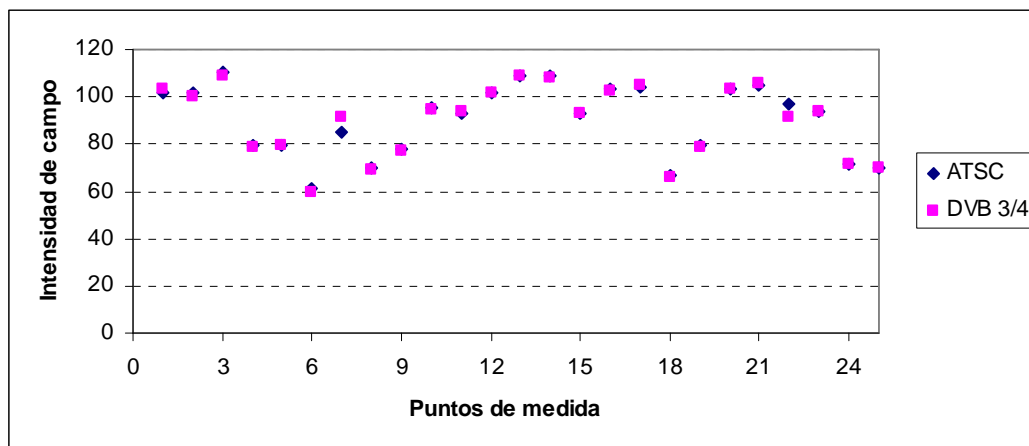


Figura. 4.2. Intensidad de campo frente a los puntos de medida.

c) Características de los sistemas

En base al informe final de los sistemas de pruebas de televisión digital en el Ecuador se tomará las herramientas de análisis siguientes: Porcentaje de puntos frente a la intensidad de campo umbral y margen de recepción frente a la intensidad de campo recibida, se utilizan con el propósito de estimar la influencia del mundo real sobre el rendimiento de los sistemas.

Porcentaje de puntos frente a la intensidad de campo umbral

Para cada punto de medición y cada uno de los sistemas probados en el Experimento 1, en esta sección, se calculan los datos de la Tabla 4.2. a) y b).

A partir de los resultados de las pruebas obtenidas mediante los datos anteriores la relación señal a ruido umbral S/N, se calculan los siguientes parámetros:

- Intensidad de Campo mínima excedida en $\Delta L\%$ de los puntos de medición.
- Campo de intensidad de umbral excedido en $\Delta L\%$ de los puntos de medición.

La intensidad de campo mínima refleja los resultados de laboratorio y se realiza en un ambiente caracterizado por el canal libre y limpio; es decir, teniendo en cuenta sólo la influencia del nivel del ruido y la configuración de la recepción en el punto de medición. La intensidad de campo umbral se basa sólo en los datos experimentales recogidos en el campo, que incorpora el impacto del mundo real (ecos y otras interferencias) en el desempeño de los sistemas.

Margen de recepción frente a la intensidad de campo

Se debe representar en un gráfico, el margen de recepción en función de la intensidad de campo E_{rec} y esta curva resultante se la comparará con la curva teórica que caracteriza el comportamiento del sistema sujeto a normas estrictas del medio ambiente y ruido blanco Gaussiano. En este tipo de entorno, donde E_{min} es la intensidad de campo mínima y E_{rec} es la intensidad de campo, el margen de aprobación es dada por:

$$E_{rec} \text{ (dBuV / m)} - E_{min} \text{ (dBuV / m)}.$$

El coeficiente de correlación de *Pearson* entre el margen de aprobación y la intensidad de campo para los dos sistemas a prueba. Se presentan 2 casos:

Completo: todos los puntos de medición se consideran

Expurgado: se considera sólo en los puntos donde hay margen teórico ($E_{rec} > E_{min}$).

A continuación se representa en la Fig. 4.3, el gráfico de margen de recepción frente a los puntos de medida lo cual nos servirá para ver en que puntos de medida el margen es apto para recibir la señal. Anexo 2.

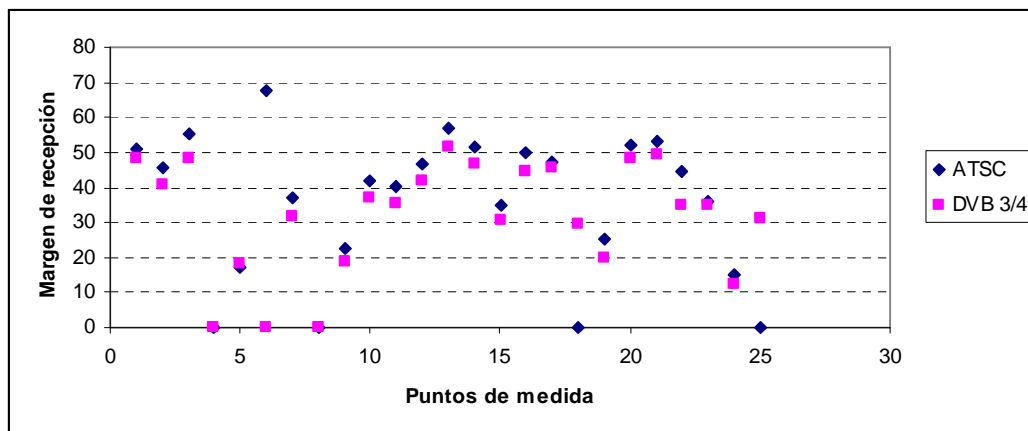


Figura. 4.3. Margen de recepción frente a los puntos de medida.

d) Índices de rendimiento

En este punto se presentara los índices de rendimiento utilizados para comparar los sistemas a prueba.

Índice de Disponibilidad del Servicio

El Índice de Disponibilidad de Servicio (IDS) se define como el porcentaje de puntos dentro de un contorno con “R” kilómetros, donde el margen de la recepción es superior a 0 dB. Para un conjunto de “X” puntos de medición, que se debe considerar se observara el índice de disponibilidad de servicio que se obtiene, en base a estos puntos se estimará el nivel de fiabilidad de los resultados obtenidos, con el fin de cuantificar la susceptibilidad de los sistemas receptores de la prueba de degradación, se planteará en un grafico el porcentaje de puntos medidos en el que se encuentra el margen de recepción.

Índice de Eficiencia del Sistema

El Índice de Eficiencia del Sistema (IES) está dado por el porcentaje de puntos de medición, considerando sólo los puntos donde la intensidad de campo recibida E_{rec} , es mayor o igual a la intensidad de campo mínima estimada E_{min} , más un cierto margen ΔE , cuando hay un margen de recepción ($M > 0$ dB).

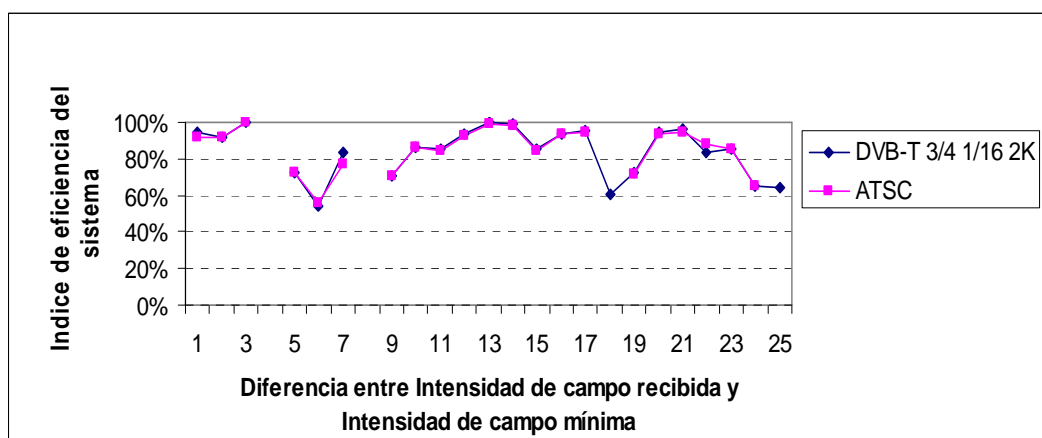


Figura. 4.4. Índice de Eficiencia del Sistema frente a la Diferencia entre la Intensidad de campo recibida y Intensidad de campo mínima.

Este gráfico, Fig. 4.4, es muy útil para comparar los sistemas y los distintos valores de Intensidad de Campo, en este caso el sistema DVB-T 3/4 1/16 2K (IES=96.0%) fue levemente más eficiente que ATSC (IES=94.0%), indicando mayor robustez frente a los efectos del medio ambiente. Anexo 2.

4.2.3 Experimento 2

Los concesionarios autorizados para poner a prueba la televisión digital en Brasil, llevó a cabo una segunda ronda de pruebas de campo de recepción externa con la recepción de los sistemas ATSC (Chip Z), DVB-T 2/3 1/32 8K (Chip N) y ISDB-T 3/4 1/16 4K (Chip I) en el período comprendido entre el 9 de noviembre de 1999 y el 30 de marzo de 2000.

Estas pruebas participan una serie de 27 puntos (los puntos 2, 3, 4, 6, 7, 8, 27, 28, 44, 45, 59, 66, 67, 76, 80, 82, 85, 93, 103, 108, 109, 111, 114, 120, 126, 127, 133) seleccionados de entre los de Experimento 1, en el sistema DVB-T 3/4 1/16 2K no se han presentado margen de recepción. Hay tres factores que han motivado a los concesionarios autorizados para la realización de tales pruebas:

- El hecho de que el índice de disponibilidad de servicio de ambos sistemas ATSC y DVB-T 3/4 1/16 2K ha sido inferior al 75% de los puntos de medición en el Experimento 1;
- Probar el sistema ISDB-T, disponible sólo para la realización de pruebas a partir de enero de 2000, y
- Prueba de configuración de 2/3 1/32 8K del sistema DVB-T.

Estas pruebas se caracterizaron por medidas no simultáneas (hechas en diferentes días y en otro sitio). Para la consideración de nuevos puntos fueron seleccionados tomando en cuenta los siguientes criterios:

- Permitir una evaluación de los receptores del sistema ATSC,
- Permitir la ejecución de otras configuraciones de sistemas que emplean COFDM (DVB-T e ISDB-T) que se mostró más sólido en las pruebas de laboratorio que sistemas DVB-T 3/4 1/16 2K en Brasil, y
- Comparar directamente los sistemas y la configuración de la televisión digital en los puntos críticos: donde al menos uno de los sistemas de prueba no funciona o el margen de recepción fue bajo y donde la intensidad de campo es suficiente.

La elección de estos puntos no pretende representar a una gama más amplia de puntos, pero servirá para comprobar el impacto del medio ambiente en el rendimiento real de los sistemas.

a) Características del experimento 2

El experimento 2, se caracterizará por la acumulación de pruebas de sistemas y la configuración de los receptores que se tomen a prueba. Se tomara 27 puntos de medición donde los sistemas de configuración de los receptores serán probados simultáneamente y no depende de la distancia del transmisor. Para cada punto de medición se considerará los mismos datos del experimento 1.

La Tabla 4.2. a) y b), muestra las características de la recepción considerado y utilizado para estimar la intensidad de campo eléctrico recibido y la intensidad de campo mínimo estimado para canal libre y limpio en cada punto de medición.

b) Análisis de desempeño de datos

Con el fin de verificar que los sistemas y la configuración de prueba fueron sometidos a condiciones de prueba similar, la dispersión de la intensidad del campo estimada E_{rec} en cada punto de medida es empleada.

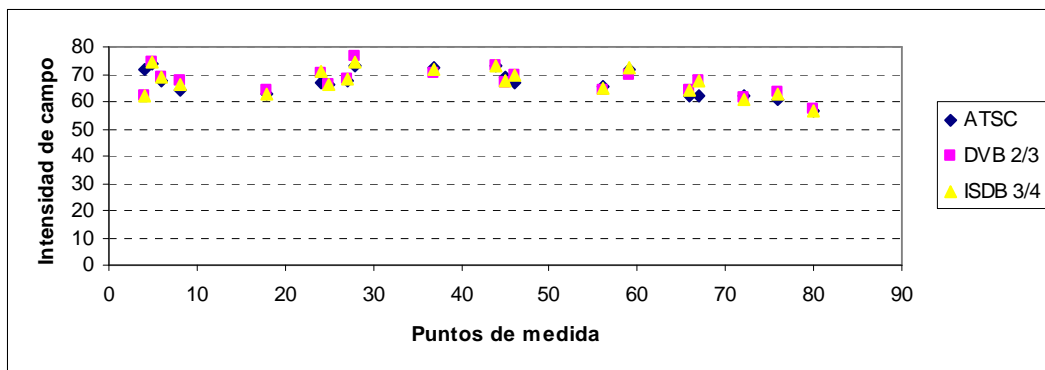


Figura. 4.5. Intensidad de campo frente a los Puntos de medida.

En la Fig. 4.5, se puede observar que tanto en ATSC como en DVB 2/3 1/32 8K y en ISDB 3/4 1/16 4K los de puntos de medida varían muy poco en relación a las intensidades de campo. Anexo 3.

c) Características de los sistemas

Las herramientas de análisis que se presenta en la sección 4.1.3 se utilizan con el fin de estimar la influencia del contorno real sobre el rendimiento de los sistemas. Considerar que en las pruebas de campo, la potencia media del transmisor puede ser la misma que en la prueba real de los sistemas.

Porcentaje de puntos frente a la intensidad de campo umbral

Para cada punto de medición y cada uno de los sistemas probados en el experimento 2, en esta sección, se calculan los datos de la Tabla 4.2. a) y b).

A partir de los resultados de las pruebas obtenidas mediante los datos anteriores la relación señal a ruido umbral S/N, se calculan los siguientes parámetros:

- Intensidad de Campo mínima excedida en $\Delta L\%$ de los puntos de medición.
- Campo de intensidad de umbral excedido en $\Delta L\%$ de los puntos de medición.

La intensidad de campo umbral se calcula con los datos experimentales recogidos en el campo, que incorpora el impacto del mundo real en el desempeño de los sistemas. En función de la limitación de los instrumentos de medida de potencia, los valores para la intensidad de campo mínima presentada se deberá considerar como limitantes superiores. De acuerdo a un grafico porcentaje de puntos frente a la intensidad de campo umbral, se tiene que comparar el resultado con el experimento 1, para poder observar cual de ellos tiene mas influencia del mundo real.

Margen de recepción frente a la intensidad de campo

Se debe representar en un grafico el margen de recepción en función de la intensidad de campo E_{rec} y esta curva resultante se la comparará con la curva teórica que caracteriza el comportamiento del sistema sujeto a normas estrictas del medio ambiente y ruido blanco Gaussiano. En este tipo de entorno, donde E_{min} es la intensidad de campo mínima y E_{rec} es la intensidad de campo recibida, el margen de aprobación es dada por:

$$E_{rec} \text{ (dBuV / m)} - E_{min} \text{ (dBuV / m)}.$$

En función de la limitación de los instrumentos de medida de potencia, el margen teórico debe ser considerado como un limitante inferior. A continuación se representa en la Fig. 4.6, un grafico de margen de recepción frente a los puntos de medida lo cual nos servirá para ver en que puntos de medida el margen es apto para recibir la señal. Podemos observar que el sistema ATSC no tiene un buen margen de recepción, mientras que en ISDB 3/4 1/16 4K es mucho mayor su margen de recepción, en tanto que en DVB 2/3 1/32 8K es levemente mejor el margen de recepción comparado con el anterior sistema. Anexo 3.

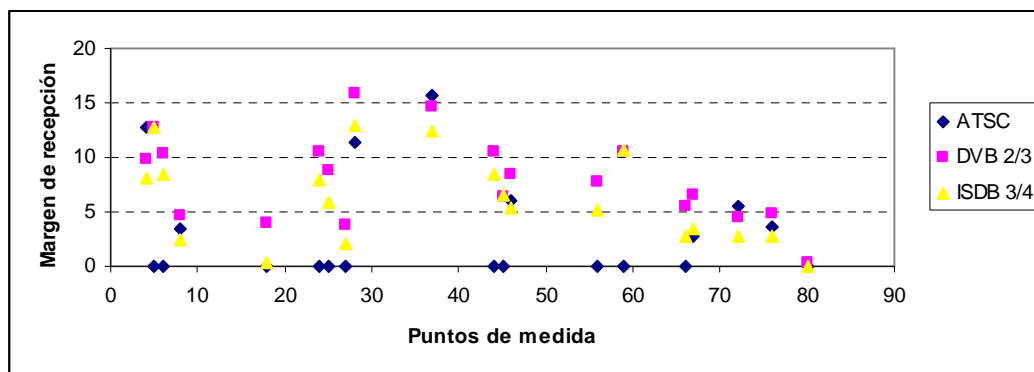


Figura. 4.6. Margen de recepción frente a los Puntos de medida.

d) Índice de desempeño

Aquí se comparara los índices de rendimiento utilizados para el número de sistema y su configuración de receptores a prueba.

El Índice de Disponibilidad de Servicio

El Índice de Disponibilidad de Servicio (IDS) se define como el porcentaje de puntos en los que la recepción de margen es superior a 0 dB. Con el fin de estimar el nivel de fiabilidad de los resultados, se determina una posible variación sufrida por el índice de disponibilidad del servicio cuando un margen de recepción mínimo requerido no es cero. Con el fin de cuantificar la susceptibilidad de los sistemas a prueba se planteará un grafico el porcentaje de puntos en los que hay margen de la recepción.

Índice de Eficiencia del Sistema

En este caso se aplica lo mismo del Índice de Eficiencia del Sistema (IES) del Experimento 1.

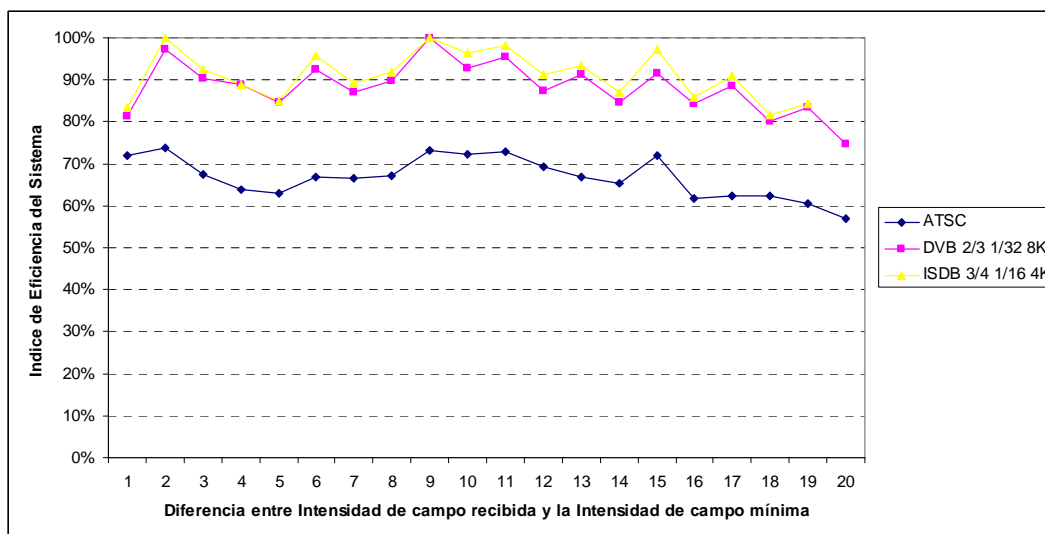


Figura. 4.7. Índice de Eficiencia del Sistema frente a la Diferencia entre la Intensidad de campo recibida y Intensidad de campo mínima.

En la Fig. 4.7, es muy útil para comparar los sistemas y los distintos valores de Intensidad de Campo, en este caso el sistema DVB-T 2/3 1/32 8K y el sistema ISDB 3/4 1/16 4K resultan ser mas eficientes en la recepción de la señal, ya que en puntos llega hasta IES= 100%, lo que en ATSC (IES=72.0%), presentando mayor robustez frente a los efectos del medio ambiente. Anexo 3.

4.3. Pruebas de recepciones en condiciones domésticas

4.3.1 Introducción

En este tema se analizan los resultados de las pruebas de campo bajo condiciones de recepción interna "*indoor*", realizada por los concesionarios autorizados en la ciudad de Sao Paulo con el fin de comparar los sistemas de televisión digital con respecto a la robustez en este tipo de medio ambiente. Para esta prueba se deberá tomar en cuenta cuantos tipos y números de puntos se va ha tomar, en cada uno de ellos se deberá examinar por separado, con la participación simultánea de los sistemas de pruebas de televisión digital. En esta prueba realizada en Brasil [38], incluyeron 13 puntos en los que los sistemas de configuración de los receptores ATSC, DVB-T 2/3 1/32 8K y ISDB 3/4 1/16 4K se pusieron a prueba, simultáneamente en 12 de estos puntos se realizaron pruebas de fuerza cualitativas contra el ruido impulsivo generado por los electrodomésticos y circulación de personas cercanas a la antena de recepción.

En todos los puntos de medición, se utilizó una antena interna para UHF de *Silver Sensor*, en el caso de Ecuador podrá ser una antena UHF tipo "mariposa"

Esta antena se instaló en un punto en la residencia donde el usuario ve la televisión y la señal es captada. En pruebas de recepción internas, las características y longitud de los cables utilizados para llevar la señal varia de acuerdo al punto de medida. Para toda la recepción de medidas internas, no es posible estimar la intensidad de campo recibida. Sin embargo; en cada lugar, todos los sistemas se sometieron a las mismas condiciones de prueba.

Para cada punto de medición se analizan los siguientes parámetros:

- PT: Número de puntos de medición.
- Distancias (Km): Distancia del transmisor.
- Fecha: Fecha de la prueba.
- N_{rec} (dBm): Nivel de ruido (valor medido).
- G_{st} (dB): Ganancia de configuración (valor medido).
- L_{at} (dB): Pérdida por la Atenuación (valor aplicado).
- C_{in} (dBm): Potencia de amplificación de señal digital después de la amplificación y la atenuación. (valor medido).
- $(S/N)_{rec}$ (dB): Relación señal a ruido recibido (valor - ver sección 4.1.1).
- NA: Número de artefactos observados (valor medido) - los casos en que no hay margen de la recepción se dan por SM (Sin Margen).
- N_{lim} (dBm): Potencia de ruido en el umbral de recepción (valor medido).
- $(S/N)_{lim}$ (dB): Relación señal a ruido de umbral (valor - ver sección 4.1.1).
- M (dB): Margen de recepción (valor - ver sección 4.1.1)
- Condición de operación: Funciona (S) o no funciona (N) en las pruebas cualitativas, la participación de aparatos electrodomésticos de interferencia (E) o circulación de personas (P).

La Tabla. 4.3, muestra los parámetros utilizados para calcular el margen de aprobación.

Tabla. 4.3. Características de recepción y cálculo de parámetros.

Parámetros	Símbolos	Valor
Ganancia de Configuración (dB) en el vehículo de medida	G_{st}	G_{st}
Pérdida por el atenuador (dB)	L_{at}	L_{at}
Nivel de Ruído (dBm)	N_{rec}	N_{rec}
Potencia de la señal medida en el vehículo (dBm)	C_{in}	C_{in}
Potencia de la Señal recibida (dBm) en el vehículo de medida	C_{rec}	$C_{rec}(dBm) = C_{in}(dBm) + L_{at}(dB) - G_{st}(dB)$
Relacion seañal a ruido de recepción (dB)	$(S/N)_{rec}$	$(S/N)_{rec}(dB) = C_{in}(dBm) + L_{at}(dB) - N_{rec}(dBm)$
Potencia del ruido umbral de recepción (dBm)	N_{lim}	N_{lim}
Relacion seañal a ruido umbral (dB)	$(S/N)_{lim}$	$(S/N)_{lim}(dB) = C_{in}(dBm) - N_{rec}(dBm)$
Margen de recepción (dB)	M	$M (dB) = (S/N)_{rec}(dB) - (S/N)_{lim}(dB)$
Nivel de ruido del medidor de potencia empleado (dBm) - Fabricante/Modelo	-	-

4.3.2 Prueba

Para Ecuador se deberá sacar el número de puntos adecuado a la zona geográfica, la configuración, el receptor y la carga útil para cada sistema.

a) Características del experimento

Para este experimento se tomarán 13 puntos de medida y se evaluará con los tres sistemas: ATSC, DVB-T e ISDB-T; con cada configuración, carga útil y el receptor utilizado en la prueba.

b) Análisis del desempeño de los datos

Con el fin de verificar que los sistemas que se probarán serán sometidos a condiciones similares al comportamiento de la relación señal a ruido de recepción, $(S/N)_{rec}$ en cada punto de medición. En la Fig. 4.8, se representa la relación señal a ruido de recepción frente a los puntos de medida, se puede observar que tanto en ATSC como en: DVB 3/4 2K, DVB 2/3 1/32 8KI se puede observar que en todos los puntos de medida existe una relación señal a ruido caso que no pasa con ISDB 3/4 1/16 4K que no existe esta relación en todos los puntos ya que comienza a tener esta relación pasados ya los 20 puntos de medida. Anexo 4.

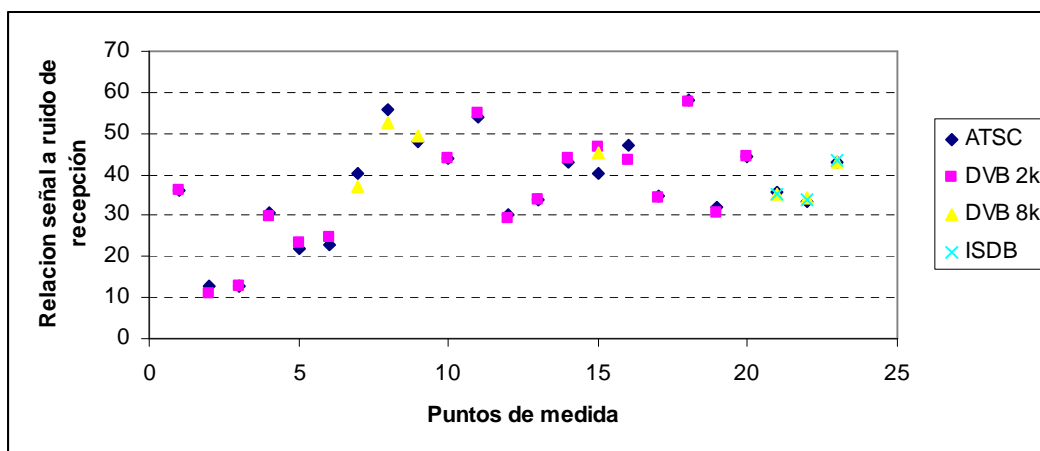


Figura. 4.8. Relación señal a ruido de recepción frente a los Puntos de medida.

c) Características de los sistemas

En un cuadro se representara los valores medidos en el laboratorio para la relación señal a ruido blanco gaussiano con los receptores utilizados en estas pruebas. Se toma en cuenta que en las pruebas de campo con recepción doméstica, la potencia media del transmisor es la misma para los tres sistemas.

Puntos porcentuales frente a la relación señal a ruido umbral de recepción

En un gráfico y en una tabla se puede mostrar el porcentaje de puntos en los que la relación S/N umbral de recepción puede exceder un determinado valor. Estos resultados y la observación del gráfico podrán indicar los efectos del mundo real y se determinara cual de los sistemas es el más afectado.

Margen de recepción frente a la relación señal a ruido de recepción

En un diagrama se podrá mostrar el margen de recepción frente al punto de medida. A continuación se representa en la Fig. 4.9, un grafico de margen de recepción frente a los puntos de medida lo cual nos servirá para ver en que puntos de medida el margen es apto para recibir la señal. Anexo 4.

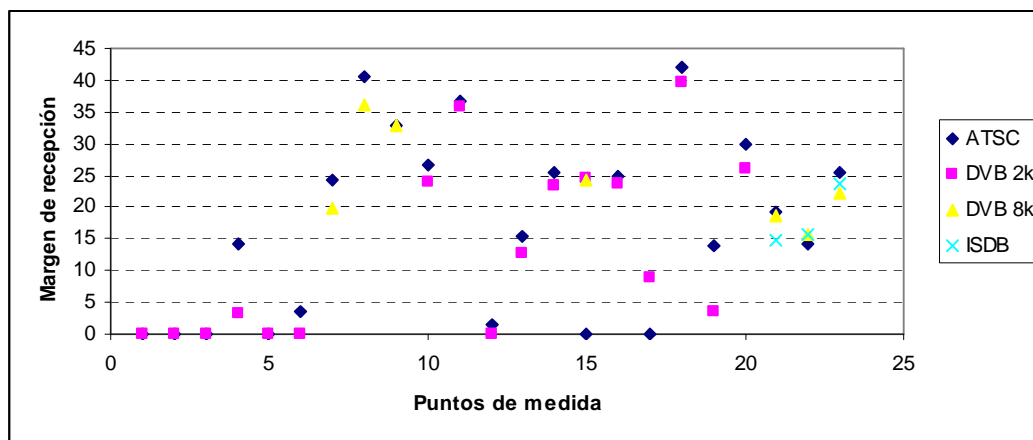


Figura. 4.9. Margen de recepción frente a los puntos de medida.

Del grafico se puede observar que en DVB 3/4 2K, para algunos puntos de medida no existe margen de recepción al igual que en ATSC con la diferencia que ATSC tiene un mayor numero de puntos donde si existe margen de recepción, en tanto que en : DVB 2/3 1/32 8K si existe margen de recepción pero en menor numero de puntos, en ISDB 3/4 1/16 4K los puntos de medida utilizados limita la existencia del margen de recepción, por lo que se sugiere tomar mas puntos en este sistema.

d) Índice de desempeño.

En este punto se presenta el índice de desempeño que se utiliza para comparar los sistemas probados.

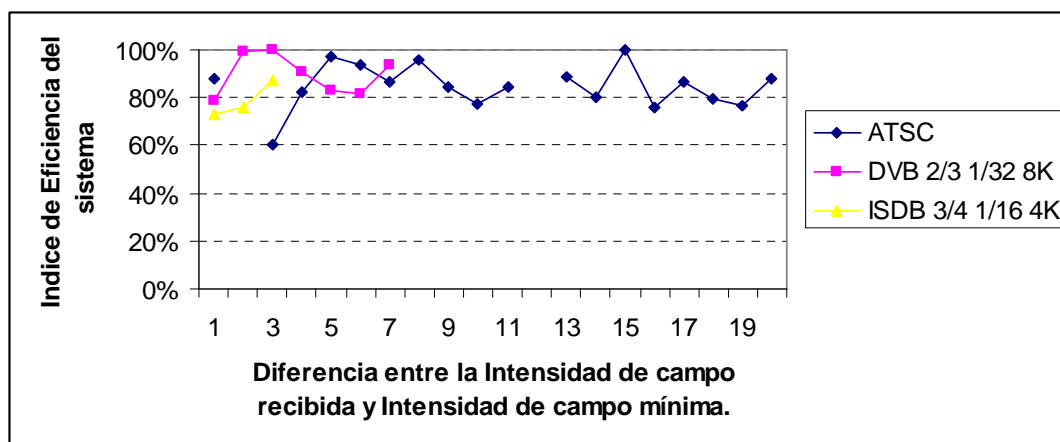


Figura. 4.10. Índice de Eficiencia del Sistema frente a la Diferencia entre la Intensidad de campo recibida y Intensidad de campo mínima.

En la Fig. 4.10, es muy útil para comparar los sistemas y los distintos valores de Intensidad de Campo, en este caso el sistema DVB-T 2/3 1/32 8K muestra mas robustez ya que tiene un IES = 100% en ATSC muestra un IES aceptable en ciertos puntos y mejor en relación a el sistema ISDB 3/4 1/16 4K que resultan tener un IES= 84%, presentando mayor robustez frente a los efectos del medio ambiente. Anexo 4.

e) Pruebas cualitativas

Se realizarán con la finalidad de verificar la solidez del sistema de televisión digital frente al ruido de impulsos generados por los electrodomésticos y frente al movimiento de personas, efectos que caracterizan al ambiente de recepción doméstica. Se tomarán los puntos de prueba pueden ser 12 puntos [38], marcando \checkmark si el sistema funciona sin la presencia de los frecuentes errores y sincronismos, bajo las siguientes condiciones:

- Recepción normal (sin el movimiento de personas o la activación de los aparatos);
- Con ruido de impulsos generados por electrodomésticos; y
- Con la circulación de personas, cerca de la antena de recepción

Se podrá representar un gráfico, el índice de disponibilidad de servicio en pruebas cualitativas en porcentaje y con cada sistema de televisión digital con las tres condiciones anteriormente expuestas.

4.4. Pruebas con la estación reforzadora de señal

4.4.1 Introducción

La estación *Gap-filler* se instalará en un punto alto y a una distancia 5,5 Km [38] del transmisor principal, este punto se debe tomar principalmente para verificar la viabilidad de ampliar la cobertura de señales de televisión digital a una región en la que la señal del transmisor principal estaría sujeta a restricciones topográficas o de una región cubierta.

La estación *Gap-filler* es básicamente un sistema activo de repetición de la señal, compuesta por; una antena de recepción oficial, un repetidor heterodino, un amplificador y la antena oficial de transmisión. El repetidor heterodino convierte la señal recibida por una frecuencia intermedia en el que el canal deseado es filtrado, para evitar la retransmisión de señales no deseadas, y posteriormente convertida a la frecuencia original de RF. La estación *Gap-filler* de baja potencia, es operada en el mismo canal del transmisor principal con una máxima potencia efectiva irradiada (ERP -*Effective Radiated Power*) de 178 W y es instalada en lo alto de un edificio. Durante las pruebas a fin de evitar la inestabilidad, se deberá aislar los módulos y las antenas de transmisión; ubicándolas en diferentes sitios del edificio elegido.

En todos los puntos de medición, de las pruebas de campo con recepción externa se tomará en cuenta dos mediciones: la primera realizada con la estación *Gap-filler* apagada y la segunda con la estación *Gap-filler* encendida a fin de verificar el mejoramiento del desempeño de los sistemas de televisión digital en la región cubierta por la señal que entrega la estación *Gap-filler* y su posible influencia en los puntos fuera de la región cubierta.

En un cuadro se mostrara la configuración geográfica de los puntos de medición de pruebas de campo con la estación reforzadora de la señal.

Para cada punto de medición, se consideran los siguientes parámetros:

- Número de puntos de medición.
- Fecha de la prueba.
- Nivel de ruido, N_{rec} (dBm).
- Ganancia de configuración, G_{st} (dB).

- Pérdida por el atenuador, L_{at} (dB)
- Potencia de señal digital (después de amplificación y la atenuación), C_{in} (dBm).
- Intensidad de Campo de recepción estima, E_{rec} (dBuV / m).
- Relación señal a ruido de recepción, $(S/N)_{rec}$ (dB).
- Potencia de ruido en el umbral de recepción, N_{lim} (dBm)
- Relación señal a ruido de umbral, $(S/N)_{lim}$ (dB).
- Margen de recepción, M (dB).
- Número de artefactos observados para las condiciones de la dos pruebas: con y sin la activación de la estación *Gap-filler*.

4.4.2 Experimento Único

a) Análisis del desempeño de datos

La dispersión de la intensidad de campo estimada de recepción E_{rec} , es utilizada con el fin de verificar que los sistemas de prueba fueron sometidos a pruebas de similares condiciones en cada punto de medición. En la Fig. 4.11, se representa la intensidad de campo de recepción frente al punto de medición para cada sistema con las dos condiciones que son: con la activación de la estación *Gap-filler* y si esta. Anexo 5.

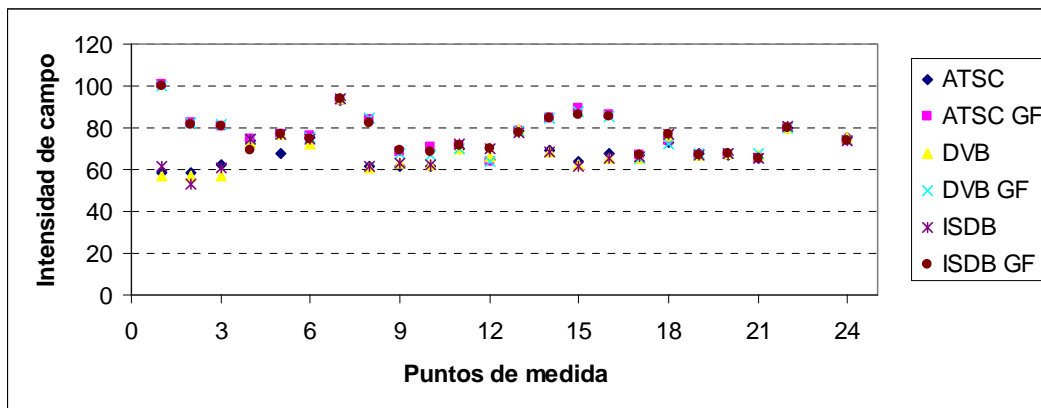


Figura. 4.11. Intensidad de campo frente a los puntos de medida.

En el gráfico anterior se observa que para los tres sistemas probados ATSC, DVB e ISDB con la estación *Gap-filler* y sin esta no representa mucha diferencia entre los sistemas en Intensidad de campo frente a los puntos de medida, sin embargo las ventajas de la estación *Gap-filler* se podrán observar mas adelante.

b) Características de los sistemas

En este punto, las herramientas de análisis se utilizan con el fin de estimar la influencia de los efectos el mundo real en el desempeño de los sistemas.

Puntos porcentuales frente a intensidad de campo umbral

En un gráfico se mostrara el porcentaje de puntos frente a la intensidad de campo umbral. En los resultados se comprobará que en el conjunto de puntos en los cuales se uso la estación *Gap-filler*, tiene una pequeña reducción en la intensidad de campo.

Margen de recepción frente a la intensidad de campo

En una figura se mostrara para cada sistema de TV digital la estación de *Gap-filler* en los dos casos encendido y apagado. El coeficiente de correlación de *Pearson* entre la intensidad de campo fortalecida y el margen de recepción fortalecido para los tres sistemas probados de TV digital nos indica la forma en que podemos relacionar directamente el aumento de la señal del sistema digital, característica importante en aplicaciones que impliquen la reutilización de frecuencias.

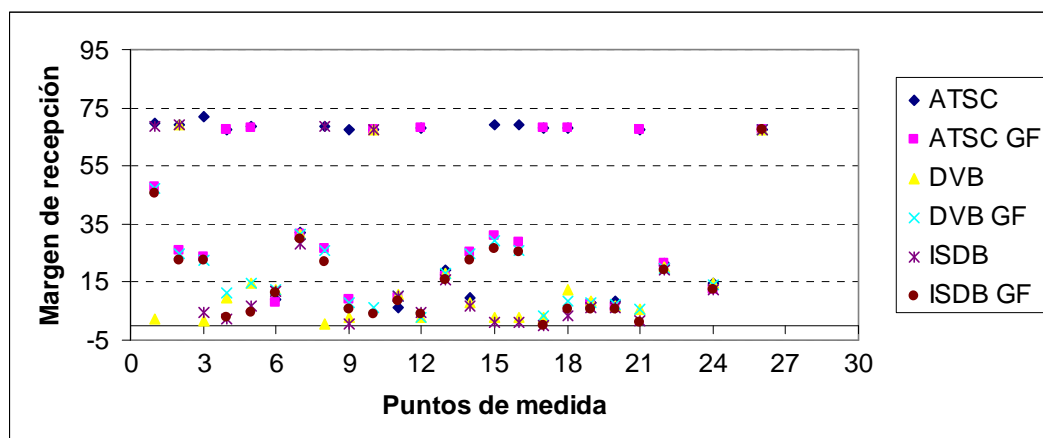


Figura. 4.12. Margen de recepción frente a los puntos de medida.

En la Fig. 4.12, el gráfico de margen de recepción frente a los puntos de medida de los tres sistemas con la estación *Gap-filler* muestra un mejor margen de recepción en cada punto de medida, esto sería una ventaja de usar esta estación. Anexo 5.

c) Índice de desempeño.

En esta sección se presenta los índices de rendimiento utilizado para comparar los sistemas probados.

Índice de Eficiencia del Sistema

El Índice de Eficiencia del Sistema (IES) está dado por el porcentaje de puntos de medición, considerando sólo los puntos donde la intensidad de campo recibida E_{rec} , es mayor o igual a la intensidad de campo mínima estimada E_{min} , más un cierto margen ΔE , cuando hay un margen de recepción ($M > 0$ dB).

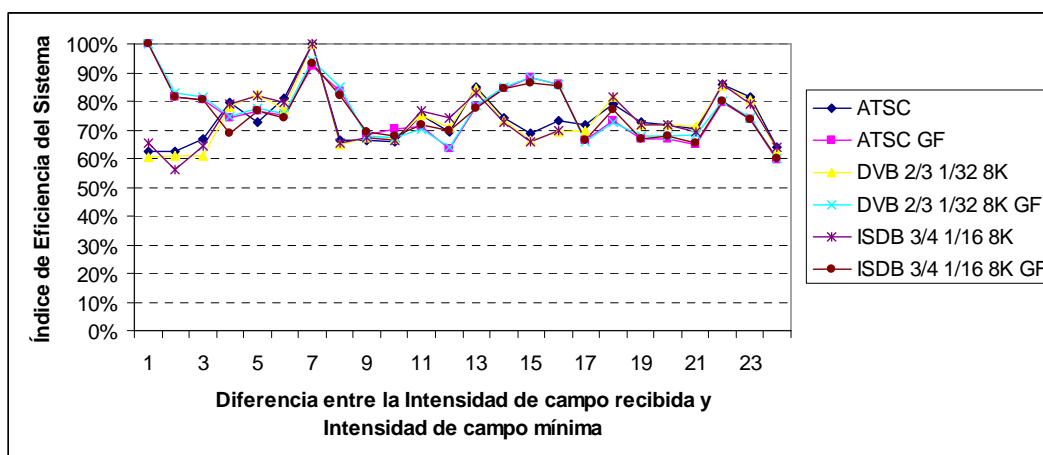


Figura. 4.13. Índice de Eficiencia del Sistema frente a la Diferencia entre la Intensidad de campo recibida y Intensidad de campo mínima.

En la Fig. 4.13, es muy útil para comparar los sistemas y los distintos valores de Intensidad de Campo, en este caso el sistema ATSC (IES=84%) con *Gap-filler* muestra una mejor eficiencia que en a ATSC (IES=65%) sin la estación; en DVB-T 2/3 1/32 8K con *Gap-filler* (IES=85%) muestra una mejor eficiencia que en DVB-T 2/3 1/32 8K sin la estación (IES=60%); en este caso el sistema ISDB 3/4 1/16 8K (IES=100%) con *Gap-filler*, muestra una mejor eficiencia que en ISDB 3/4 1/16 8K (IES=100%) sin la estación (IES=57%). Anexo 5.

4.5. Pruebas de recepción móvil

4.5.1 Introducción

Para esta medición se considerara una antena omnidireccional y se seleccionará una ruta de al menos 10 Km. Cada segmento de la ruta, normalmente con una longitud de 1 Km, se describirá en términos de trayectos múltiples, interferencia analógica, condiciones de tráfico y otros obstáculos. Es deseable realizar la caracterización del canal en segmentos seleccionados de la ruta. La prueba debe incluir también la readquisición de la señal en puntos concretos de la ruta con una velocidad mayor que cero y menor que 100Km/h [39].

Para lo cual se considerarán al menos dos diferentes rutas, en donde se tenga en cuenta la recepción dentro de las ciudades y en carretera libre a velocidad constante.

Es importante señalar que esta prueba tiene por objeto estimar, cualitativamente, la capacidad de operar con la recepción móvil de televisión digital. Por la propia naturaleza, en los experimentos no se puede garantizar condiciones controladas y equitativas en la prueba de los sistemas.

4.5.2 Análisis de las pruebas

En base a un informe que se obtendrá de realizar las pruebas móviles, se podrá concluir que la recepción móvil es o no posible en cada uno de los sistemas de televisión digital. Se analizará los sistemas DVB-T y ISDB-T, por medio del funcionamiento en orden jerárquico, en distintas condiciones de robustez.

- En el caso de DVB-T, esto ocurre a través de un mapeo de los datos de cada servicio en una partición de los símbolos de la constelación 64-QAM,

por lo que una parte de la información tiene una robustez levemente inferior a una modulación QPSK.

- En el caso de ISDB-T, el proceso utiliza la segmentación en frecuencias a través de 13 segmentos y posibilita el transporte de los servicios en grupos de segmentos distintos, para cada uno de ellos se emplea diferentes parámetros.

Estas configuraciones permiten que los modos de transmisión no jerárquicos tengan una carga útil inferior a las configuraciones implementadas en las pruebas de laboratorio que adoptan la modulación 64-QAM.

CAPITULO V

5. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Para las pruebas ha realizarse en Ecuador se puede tener en cuenta los parámetros siguientes para poder comparar los sistemas.

5.1. Sistema ATSC vs Sistema DVB-T

5.1.1 Fuentes de datos

a) Sistema de transporte y multiplexación

En estos dos sistemas de televisión digital, se utiliza un sistema de paquetización y multiplexación de programas basados en el estándar MPEG-2, con las restricciones y especializaciones que se observará en las pruebas de campo.

b) Audio

ATSC utiliza el sistema de compresión de audio AC3, que es propietario de los laboratorios DOLBY y está incluido en prácticamente todos los equipos de alta fidelidad que se comercializan actualmente para uso doméstico, mientras que DVB usa el estándar MPEG-2, pero puede operar también con AC3.

c) Televisión de alta definición (HDTV)

Todos los estándares son capaces de transmitir contenidos de Televisión Digital Estándar (SDTV -*Standard Digital Television*), pudiendo ser transmitidos hasta 4 programas en SDTV simultáneamente en un mismo flujo de transporte o un flujo de Televisión de Alta Definición (HDTV -*High Definition Television*). Se debe tomar en cuenta que ATSC fue desarrollado para permitir la transmisión de televisión de alta definición usando bandas de 6 MHz, mientras que DVB-T puede usar anchos de banda de 6,7 y 8 MHz; en este estándar se ha dicho que no es capaz de transmitir HDTV en bandas de 6MHz. Lo cual se ha demostrado en pruebas que no es cierto, este punto también se podrá tomar en cuenta a la hora de realizar las pruebas en Ecuador.

5.1.2 Tasas de datos y cobertura

a) Tasas de datos

ATSC opera con una tasa de datos de 19,39 Mbps, esto resulta de usar mecanismos de codificación de canal y modulación cuyos parámetros son fijos y no pueden ser configurados por el operador. Esta rigidez paramétrica resulta en un umbral de visibilidad, definido como la razón señal a ruido bajo la cual las señales de video como: flujos de transporte MPEG-2, no pueden ser decodificados satisfactoriamente. El umbral ha sido determinado teóricamente en 14,9 dB para el canal de ruido blanco gaussiano, y corresponde a una probabilidad de error de segmento (SER) de $1,93 \times 10^{-4}$. Esto equivale aproximadamente a una tasa de error de bits (BER-*Bit Error Rate*) de 3×10^{-6} en la salida del decodificador *Reed-Solomon* (RS) del receptor, y a 2.5 errores de segmento/seg.

Por otro lado, DVB-T ofrecen una alta variedad de tasas de datos en función de los parámetros de modulación y codificación, también ofrece dos tasas cercanas a los 19,39 Mbps de ATSC en operación con canales de 6 MHz. Específicamente, el código de ATSC es más robusto que el sistema DVB-T, y obtiene la misma probabilidad de error con aproximadamente 0,5 dB menos de razón señal a ruido [41].

DVB-T ofrece gran flexibilidad en la tasa de datos y cobertura, lo cual no está presente en ATSC. Una de las ventajas de esta flexibilidad es que permite hacer la transición desde el régimen de TV analógica con definición estándar a TV digital con alta definición en forma costo-eficiente. En un primer paso, se migra de transmisiones analógicas a digitales manteniendo las transmisiones en definición estándar. Ello no obliga a los operadores hacer grandes inversiones en equipamiento de estudio de alta definición, ni reajustar sus planes de negocios, puesto que emitirían las mismas señales SDTV únicas del modelo actual.

Asimismo, este primer paso requiere esencialmente sólo instalar nuevos equipos transmisores en sitios existentes, puesto que la alta codificación posible para transmitir digitalmente programas únicos en calidad estándar asegura grandes áreas de cobertura. Similarmente, en el lado receptor, los usuarios podrían reutilizar sus televisores actuales, debiendo solamente adquirir un STB.

En un segundo paso, los operadores podrían comenzar a experimentar con el nuevo modelo de negocios basado en la flexibilidad de transmitir alta definición, o varios programas paralelos de definición estándar, invertir en infraestructura, etc. Los usuarios, por su parte, comenzarían en esta etapa a adquirir televisores HDTV en la medida que se hace disponible la programación correspondiente.

b) Ruido de impulso

Muchos artefactos electrónicos industriales y domésticos, como son: hornos de microondas, luces fluorescentes, aspiradoras, etc., generan radiaciones electromagnéticas espurias denominadas ruido de impulso. Este tipo de ruido tiende a tener alta energía pero corta duración y normalmente abarca la banda VHF y la parte baja de la banda UHF.

La principal defensa en su contra se logra mediante el uso de entrelazadores. El entrelazador de 52 segmentos usado en el sistema ATSC provee mayor protección a ruido de impulso que el sistema de entrelazado de dos capas de DVB-T.

c) Cobertura de zonas oscuras

Todos los estándares permiten el uso de repetidores en la misma frecuencia para mejorar la cobertura en los bordes de una celda o para rellenar “zonas oscuras” (barrios con señal débil), dentro del área de cobertura. Los repetidores reciben la señal transmitida por la antena principal, la amplifican y retransmiten en la misma frecuencia, orientando la transmisión hacia la zona oscura mediante antenas direccionales. Adicionalmente, se puede usar un sistema de transmisores distribuidos o de traductores. Finalmente, puede decirse que si se usan repetidores en la misma frecuencia para rellenar las “zonas oscuras”, podrá

haber algunos receptores que reciban la señal del repetidor y también del transmisor principal. En este caso, rigen las mismas consideraciones que se describen para la propagación por multitrayectoria y la operación en redes de frecuencia única.

5.1.3 Movilidad y multitrayectoria

a) Robustez ante propagación de multitrayectoria

La inmunidad contra la propagación de multitrayectoria es una propiedad intrínseca de OFDM. Mayor inmunidad se logra con un mayor número de subportadoras, al costo de un peor desempeño bajo condiciones de movilidad. No obstante, El sistema DVB-T basado en OFDM, ofrecen una vasta flexibilidad para que los operadores configuren la modulación OFDM adecuadamente. El rango de configuración disponible permite ajustar estos sistemas esencialmente a cualquier tipo de terreno y geografía, y todos los receptores deben tener la capacidad de decodificar todas y cualquiera de las configuraciones, en OFDM es de responsabilidad del operador configurar los parámetros del sistema, a los cuales todos los receptores normados son capaces de ajustarse automáticamente.

En el caso de ATSC, la modulación 8-VSB no es robusta intrínsecamente a la propagación por multitrayectoria, y requiere de un dispositivo llamado ecualizador en los receptores para revertir la distorsión por multitrayectoria de la

señal recibida. En transmisiones de 6 MHz de ancho de banda, la dispersión de ecos de la propagación por multitrayectoria es severa a partir de pocas decenas de metros de propagación, haciendo del ecualizador un dispositivo indispensable para decodificar transmisiones ATSC. La complejidad del dispositivo crece con el radio de cobertura de una antena, llegando a una complejidad muy alta cuando las transmisiones comprenden un sector urbano de varias decenas de kilómetros.

b) Recepción bajo condiciones de movilidad

La recepción de TV digital en receptores móviles puede ser de dos tipos:

- *Recepción en Televisores Móviles:* Se trata de recepción de señales ATSC, DVB-T o ISDB-T con receptores tradicionales (televisores o set-top-boxes) que están en movimiento a bordo de un automóvil, bus, tren, etc.
- *Recepción en Terminales Portátiles:* Se refiere a la recepción de señales de video de resolución limitada en terminales portátiles como teléfonos celulares o agendas electrónicas (PDA). Estos dispositivos típicamente utilizan baterías, lo que limita el presupuesto energético disponible para decodificar y presentar la señal de video digital.

DVB-T fue originalmente diseñado para recepción fija y móvil, pero no portátil. Según muestras de pruebas de campo en Taiwan [42]. El desempeño de DVB-T bajo movilidad está restringido en parte por las limitaciones de la cadena

de entrelazado usado en el sistema DVB-T. En las pruebas de campo en Ecuador se podrá demostrar que aumentando la potencia de transmisión se podrá contrarrestar la falta de entrelazado de tiempo, lo que contribuye a un mejor servicio móvil.

La recepción de DVB-T en terminales portátiles fue hecha posible con la norma DVB-H. Las extensiones introducidas en DVB-H resuelven las limitaciones de consumo energético que tiene la recepción móvil de DVB-T, y compensan la debilidad del entrelazado con una capa adicional de codificación de canal. Además se introdujo el modo 4K como solución de compromiso entre movilidad e inmunidad a multitrayectoria.

El sistema ATSC fue diseñado principalmente para la transmisión de programas HDTV y no para recepción móvil.

5.1.4 Ancho de banda y eficiencia espectral

Utilización del espectro y eficiencia espectral

Los tres estándares cuentan con especificaciones para operar en bandas de 6 MHz. ATSC está especificado únicamente para ese ancho de banda, mientras que DVB-T cuenta adicionalmente con las especificaciones para operar en bandas de 5 (con limitaciones), 7 y 8 MHz.

Para canales de 6 MHz, el ancho de banda activamente utilizado con DVB-T es de 5,71 MHz, mientras que ATSC tiene un ancho de banda activo de 5,38 MHz. En los dos casos, sin embargo, la transmisión contiene energía fuera de estos rangos, aunque en todos los casos es despreciable fuera del rango de 6 MHz.

El término eficiencia espectral se refiere a la tasa de datos neta que un sistema es capaz de transportar dentro del ancho de banda asignado y bajo condiciones dadas de razón señal a ruido en un ambiente de propagación determinado. La unidad de medida es “tasa de datos por unidad de ancho de banda”, típicamente expresado en bits/s/Hz.

En la práctica ATSC y DVB-T son muy similares en términos de eficiencia espectral, puesto que en anchos de banda idénticos ofrecen tasas similares y con coberturas similares.

5.1.5 Coexistencia con transmisiones analógicas

La coexistencia entre transmisiones de TV digital con transmisiones analógicas NTSC tiene dos aristas principales: la interferencia que puede causar una transmisión digital sobre una transmisión analógica en un canal adyacente, y viceversa. Cada caso es analizado a continuación.

a) Interferencia de transmisión digital a analógica

Gran cuidado se ha puesto en la definición de los tres estándares para permitir la coexistencia de transmisiones analógicas mientras el sistema digital esta por surgir. Así, desde un punto de vista teórico, los tres estándares consideran factible la coexistencia. En el caso de ATSC, el hecho que un filtro de Nyquist sea utilizado en la modulación 8-VSB implica que la radiación fuera de banda es teóricamente nula (aunque en la práctica ello puede no ser así). En el caso de los estándares europeo y japonés, la modulación OFDM contiene radiación fuera de banda en forma natural. Para bandas de 6 MHz, la energía de esta radiación es muy inferior al 1% de la energía total transmitida, y su potencia decae con el cuadrado de la frecuencia. Más aún, la radiación fuera de banda de OFDM puede ser atenuada mediante el uso de filtros, para los cuales ambos estándares definen máscaras espectrales adecuadas. DVB-T especifica máscaras espectrales compatibles con transmisiones analógicas PAL, SECAM, NTSC, etc.

b) Interferencia de transmisión analógica a digital

Este tipo de interferencia no compromete la calidad de la imagen digital, sino se manifiesta mediante una reducción del radio de cobertura (umbral de visibilidad, o perímetro de operación casi libre de errores). En efecto, al pasar por los entrelazadores de los sistemas de codificación de canal, una señal de interferencia es desmenuzada, tomando el aspecto de ruido blanco.

Este nivel adicional de ruido reduce la relación señal a ruido en la etapa de decisión del receptor. En la práctica, ambos problemas de interferencia pueden ser evitados con una cuidadosa planificación de frecuencia durante la fase de transición hasta el *shutdown* analógico.

5.2. Sistema ATSC vs Sistema ISDB-T

5.2.1 Fuentes de Datos

a) Sistema de transporte y multiplexación

ISDB utilizan el concepto de Modulación Jerárquica, esta modulación permite mezclar modos de transmisión distintos en una sola transmisión. El uso de cada modo es de libre decisión de cada operador. En el sistema ISDB-T es posible combinar hasta tres modos, por ejemplo, radio digital, televisión digital con recepción fija y televisión digital móvil. El sistema ATSC no considera el uso de modulación jerárquica.

b) Audio.

Como se dijo anteriormente ATSC utiliza el sistema de compresión de audio AC3, mientras que ISDB-T utiliza Codificación de Audio Avanzado (*AAC-Advanced Audio Coding*), que es parte de la norma MPEG-2.

c) Televisión de alta definición (HDTV)

El sistema ATSC fue desarrollado con el propósito de permitir transmisiones de televisión de alta definición usando una banda de 6 MHz. ISDB-T considera la transmisión de HDTV utilizando 12 de los 13 segmentos de la banda de 6 MHz, el décimo tercer segmento es reservado para recepción portátil.

5.2.2 Tasas de datos y cobertura

a) Tasas de datos

ISDB-T ofrecen una alta variedad de tasas de datos en función de los parámetros de modulación y codificación. Ello permite ajustar la tasa de datos en función de la cobertura deseada lo que implica relación señal a ruido requerida en el receptor.

En ISDB-T, ofrece gran flexibilidad en el compromiso entre tasa de datos y cobertura, lo cual no está presente en ATSC. Una de las ventajas de esta flexibilidad es que permite hacer la transición desde el régimen de televisión analógica con definición estándar a televisión digital con alta definición en forma costo-eficiente.

b) Ruido de impulso

ISDB-T, además de tener dos capas de entrelazado, especifica dos capas de entrelazado adicionales intra-segmento e inter-segmento, logrando con ellas una muy alta robustez a ruido de impulso. ISDB-T y ATSC tienen mayor inmunidad a ruido de impulso que DVB-T, pero se considera que este aspecto es de relevancia secundaria, especialmente en la banda UHF.

5.2.3 Movilidad y multitrayectoria

Recepción bajo condiciones de movilidad

ISDB-T fue diseñado desde un comienzo para recepción móvil y portátil. Su robusta estrategia de entrelazado, junto a la capacidad de recepción parcial de un segmento, lo hacen muy atractivo para recepción móvil tanto en términos de calidad de la recepción como costo de los equipos de recepción parcial.

Un aspecto que cabe destacar es que la velocidad máxima a la cual es posible decodificar satisfactoriamente una transmisión dada decrece con el inverso de la frecuencia de transmisión (dispersión Doppler). Así, una transmisión en un canal en la banda VHF o en un canal bajo en la banda UHF, puede ser decodificable sin problemas por un móvil a 120 Km/h, mientras que puede no ser decodificable si la transmisión es hecha en un canal alto de la banda UHF. Este fenómeno afecta por igual a transmisiones de los diversos estándares, y se debe tomar en cuenta en mayor detalle en caso de otorgar nuevas concesiones de espectro o de revisar el esquema de concesiones de canales en Ecuador.

5.2.4 Ancho de banda y eficiencia espectral

Utilización del espectro y eficiencia espectral

ATSC e ISDB-T están especificados únicamente para operar en bandas de 6 MHz. Los datos disponibles en [43] indican que ISDB-T presenta cierta desventaja, lo cual es consistente con el menor ancho de banda efectivamente utilizado dentro de los 6 MHz disponibles. Por otra parte, el análisis en la sección sobre propagación de multitrayectoria también destaca que en condiciones de propagación más realistas; es decir, canales no gaussianos, como recepción en interiores; la ventaja de ATSC se pierde y la eficiencia espectral en ISDB-T es superior. Esto es en gran medida gracias a las fortalezas de la modulación OFDM en este tipo de condiciones de propagación.

5.3. Sistema DVB-T vs Sistema ISDB-T

5.3.1 Fuentes de datos

a) Sistema de transporte y multiplexación

Los estándares DVB e ISDB utilizan el concepto de Modulación Jerárquica, como se indicó anteriormente la modulación jerárquica permite mezclar modos de transmisión distintos en una sola transmisión. El uso de cada modo es de libre decisión de cada operador. Los estándares DVB e ISDB, sin embargo, usan el concepto de Modulación Jerárquica, pudiendo ISDB-T transmitir en tres modos simultáneos, mientras que DVB puede hacerlo en dos modos.

b) Audio

No parece haber diferencias de calidad o precio substanciales entre los sistemas de audio utilizados por los dos estándares. Si bien el estándar ISDB-T codifica audio *surround* a una tasa ligeramente menor y más eficiente (320 Kbps), esta diferencia no es significativa.

5.3.2 Tasas de datos

DVB-T e ISDB-T ofrecen una alta variedad de tasas de datos en función de los parámetros de modulación y codificación. Ello permite ajustar la tasa de datos en función de la cobertura deseada lo que implica relación señal a ruido requerida en el receptor.

5.3.3 Movilidad y multitrayectoria

a) Robustez ante propagación de multitrayectoria

DVB-T e ISDB-T, ofrecen una vasta flexibilidad para que los operadores configuren la modulación OFDM adecuadamente. El rango de configuración disponible permite ajustar estos sistemas esencialmente a cualquier tipo de terreno y geografía, y todos los receptores deben tener la capacidad de decodificar todas y cualquiera una de las configuraciones. En ambos estándares basados en OFDM es de responsabilidad del operador configurar los parámetros del sistema, a los cuales todos los receptores normados son capaces de ajustarse automáticamente.

Cabe destacar que el formato de modulación OFDM segmentado utilizado por ISDB-T debilita la inmunidad a multitrayectoria de cada uno de los niveles jerárquicos. Esto se debe a que los segmentos abarcados por cada nivel

son contiguos en frecuencia, lo que los hace más sensibles al desvanecimiento selectivo en frecuencia. El sofisticado sistema de entrelazamiento usado en ISDB-T ha sido diseñado en gran medida para compensar esta debilidad.

En DVB-T e ISDB-T la inmunidad a propagación de multitrayectoria es intrínseca a la modulación OFDM, y es de responsabilidad de los operadores configurar la transmisión tal que se neutralice la distorsión por multitrayectoria.

b) Recepción bajo condiciones de movilidad

ISDB-T y DVB-T tienen ambas capacidades similares para recepción tanto móvil como portátil, en la operación portátil en DVB-T se logra en combinación con DVB-H.

5.3.4 Ancho de banda y eficiencia espectral

Utilización del espectro y eficiencia espectral

Para canales de 6 MHz, el ancho de banda activamente utilizado con DVB-T es de 5,71 MHz, mientras que ISDB-T ocupa 5,57 MHz. En los dos casos, sin embargo, la transmisión contiene energía fuera de estos rangos, aunque en

todos los casos es despreciable fuera del rango de 6 MHz. En condiciones realistas de propagación, DVB-T es el estándar espectralmente más eficiente.

5.3.5 Costo y disponibilidad de equipos

Comparación cualitativa de costos de equipos

Se estima que la implementación de demoduladores OFDM para ISDB-T y DVB-T son de complejidad similar, y por ende su costo relativo depende esencialmente de los volúmenes de producción y venta. Esto otorga ventaja a DVB-T, cuyo mercado mundial es mayor.

El decodificador de canal de ISDB-T utiliza esencialmente todos los bloques principales del decodificador DVB-T, pero además incorpora dispositivos de retardo y entrelazadores adicionales. Por ello, es claro que a un mismo volumen de producción, la implementación de un decodificador ISDB-T resulta más costosa que uno para DVB-T. Ello es acentuado aún más considerando que el mercado mundial de DVB-T es mayor.

5.3.6 Extensiones y proyección futura

Factibilidad de las redes de frecuencia única

Tanto el sistema DVB-T como ISDB-T utilizan modulación OFDM y están bien adaptados para operar en una configuración de frecuencia única o nacional. El modo 8K del sistema DVB-T y del sistema ISDB-T se incluyó para la operación de redes de frecuencia única (SFN- *Single Frequency Network*) sincrónica en gran escala, regional o nacional; donde un conjunto de transmisores, alimentados desde la misma fuente se usa para cubrir el área de servicio [44].

CAPITULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Cuadros comparativos de los resultados

Tabla. 6.1. Resumen comparativo.

Criterio	ATSC	DVB-T	ISDB-T	Importancia
Fuente de Datos	0	0	0	Media
Sistema de Transporte y multiplex	0	+	+	Media
Audio	0	0	0	Media
Televisión de Alta Definición HDTV	0	0	0	Media
Compatibilidad con el equipamiento NTSC	0	0	0	Baja
Tasa de Datos	0	+	0	Alta
Ruido de Impulso	+	-	++	Baja
Cobertura de zonas oscuras	0	0	0	Baja
Movilidad y Multitrayectoria	-	++	+	Alta
Robustez en propagacion de multitrayectoria	-	++	+	Alta
Recepcion movil y portatil	--	++	++	Media
Ancho de Banda	0	+	-	Media
Eficiencia Espectral	0	+	-	Media
Coexistencia con transmisiones analógicas	0	0	0	Baja
Costo y disponibilidad de equipos	0	++	--	Alta

Criterio	ATSC	DVB-T	ISDB-T	Importancia
Extensiones y Proyecciones Futuras	0	+	0	Media
Factividad en redes de frecuencia única	0	+	+	Media
Cambio de MPEG-2 a MPEG -4	0	0	0	Alta
Servicios interactivos	0	0	0	Media
Acceso condicional	0	0	0	Baja

- ++** Fortaleza sólida
- +** Fortaleza leve
- 0** Comparativamente Neutral
- Debilidad leve
- Debilidad fuerte

6.2. Conclusiones de los cuadros

- En la compatibilidad con el equipamiento NTSC, se considera que la importancia es baja puesto que el reemplazo de equipamiento es inevitable con la introducción de cualquier estándar. Por lo tanto, este aspecto tiene poco peso en la decisión.
- En la coexistencia con transmisiones analógicas, la importancia es baja considerando que la TV Digital es introducida en la banda UHF.
- No hay diferencias substanciales entre los estándares en lo que respecta a la codificación de los contenidos mediante la norma MPEG-2 o la transmisión de contenidos de definición estándar (SDTV) o de alta definición (HDTV).

- ATSC presenta una leve ventaja sobre DVB-T en términos de tasas de datos para coberturas similares y en condiciones de propagación muy benignas (canal Gaussiano), dicha ventaja se comprobará si es o no muy relevante en las pruebas de campo en Ecuador. Finalmente, los tres estándares tienen las tasas de datos necesarias para transmitir señales HDTV en bandas de 6 MHz.
- ISDB-T y ATSC tienen mayor inmunidad a ruido de impulso que DVB-T, pero se considera que este aspecto es de relevancia secundaria, especialmente en la banda UHF.
- Todos los estándares proveen estrategias para mejorar la cobertura en zonas oscuras. Podría haber ventajas de los estándares que utilizan modulación OFDM, las cuales, sin embargo, debieran ser menores si el sistema está bien calibrado.
- ISDB-T y DVB-T, tienen capacidades similares para recepción tanto móvil como portátil. ATSC, en cambio, no ha presentado a la fecha soluciones convincentes para uso móvil. Se identifica además que canales de baja frecuencia (banda VHF) permiten recepción móvil a velocidades mayores que canales de alta frecuencia (banda UHF), haciendo comercialmente más atractiva la banda VHF para transmisión móvil.

- En el mercado mundial, el costo de los receptores para ISDB-T es mucho mayor, lo que disminuiría la ventaja con respecto a DVB-T y ATSC respecto al tema costos.
- Entre ATSC y DVB-T, las diferencias de costo entre equipos serán siempre reguladas por el tamaño mundial de los mercados correspondientes, así como de la relación costo-calidad de las implementaciones de los ecualizadores necesarios en ATSC.
- Los tres estándares tienen especificaciones para la operación en redes de frecuencia única, pero DVB-T e ISDB-T son más robustos que ATSC ante los problemas de recepción de múltiples señales que se presentan en estas redes.

6.3. Conclusiones y recomendaciones finales del proyecto

- Los tres sistemas de transmisión fueron desarrollados de acuerdo a las necesidades de cada región o país, tomando en cuenta su geografía, su clima, etc; por ejemplo en el Japón se desarrolló el sistema ISDB-T ya que su mayor prioridad era la movilidad.
- Cada uno de los tres sistemas de TV digital analizados en este estudio están operando comercialmente en varios países con éxito y presentan fortalezas y debilidades en diversos aspectos, y ninguno destaca en forma absoluta. La decisión de seleccionar uno u otro estándar debe entonces basarse en el contexto del país o región de aplicación.
- Las tres normas tienen hoy la capacidad de portar datos codificados con el estándar MPEG-4. En ciertos servicios y países se ha adoptado este estándar en reemplazo de MPEG-2 para efectos de compresión de video.
- ATSC, ISDB-T y DVB-T tienen gran flexibilidad para configurar las transmisiones en función de tasas de datos deseadas y cobertura requerida, lo que permite suavizar la transición desde televisión analógica de definición estándar a televisión digital en alta definición, esta flexibilidad permite, además, que cada operador configure, en cada momento, sus transmisiones de acuerdo a su propio plan de negocios.

- DVB-T tiene la mejor inmunidad a propagación de multitrayectoria, este aspecto puede tomarse en cuenta en las pruebas a realizarse en el Ecuador.
- Los tres estándares operando en bandas de 6 MHz presentan eficiencias espectrales similares, por lo que, dependerá de las pruebas de campo que se realicen en Ecuador para poder adoptar el sistema mas conveniente.
- En el mercado mundial de equipos DVB-T es superior al de ATSC, y muy superior al de ISDB-T, garantizando gran variedad de dispositivos a costos competitivos; sin embargo, en el Ecuador por haber adoptado el sistema de TV analógica NTSC de los Estados Unidos se podrá encontrar equipos mas convenientes en ATSC, de hecho ya se encuentra en el mercado actual televisores que receptan la señal ATSC.
- Parte de este estudio fue basado en las pruebas de laboratorio y campo hechas en el Brasil en base a sus requerimientos y necesidades, para Ecuador se debera tomar en cuenta sus propias necesidades, partiendo de que en el sistema analógico utilizado en el pais es el NTSC.
- Se recomienda realizar las pruebas de campo con los tres sistemas de televisión digital lo mas pronto posible, ya que esto llevara al Ecuador a un progreso en lo referente a la tecnología e información ya que la televisión digital a tomado una importancia en todo el mundo.

- Se puede tomar en cuenta que por la situación geográfica del Ecuador, el sistema de televisión digital recomendado sería el que utiliza modulación OFDM (DVB-T y ISDB-T), sin embargo, como los tres estándares muestran condiciones razonablemente adecuadas para las transmisiones de televisión digital en alta definición, se recomienda no descartar técnicamente a ninguno de ellos hasta tener los resultados de las pruebas de campo.
- Una vez escogido el estándar a ser utilizado en el país, los laboratorios de la SUPERTEL o de otras instituciones, tanto educativas como del sector privado requerirán adquirir un emulador del estándar seleccionado para realizar pruebas y garantizar el desempeño de los receptores que lleguen al país.
- Se recomienda usar emuladores para los diferentes sistemas, los mismos que permiten simular el canal de transmisión, definiendo así la potencia de recepción. De ésta forma, se consigue determinar el comportamiento de una diversidad de receptores. Como referencia se encontraron en el mercado los emuladores: LG 3802 para ISDB-T, LG 3803 para ATSC y LG 3804 para DVB.

Anexos

REFERENCIAS

CAPITULO I

- [1] Historia del Estándar ATSC, www.atsc.org/history.html. 10-11-2007
- [2] Ing. Simonetta, José, *Televisión Digital Avanzada*, Primera edición, Intertel 2002Buenos Aires- Argentina.
- [3] ATSC Recommended Practice: Guide to the Use of the ATSC Digital Television Standard, Documento A/54A, 4 December 2003, 109 páginas.
- [4] ISO/IEC IS 13818-1:2000 (E), International Standard, Information technology Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems.
- [5] ISO/IEC CD 13818-4, MPEG Committee Draft (1994): "MPEG-2 Compliance."
- [6]Análisis De Los Estándares De Transmisión De Televisión, Digital Terrestre Y Su Aplicabilidad Al Medio Nacional, www.subtel.cl/prontus_tvd/site/artic/20070315/asocfile/20070315173311/estudio_uc.pdf. Pag. 10
- [7] Ing. Simonetta, José, *Televisión Digital Avanzada*, Primera edición, Intertel 2002Buenos Aires- Argentina. Pág. 284
- [8] Ing. Simonetta, José, *Televisión Digital Avanzada*, Primera edición, Intertel 2002Buenos Aires- Argentina. Pág. 298- 300
- [9] Ing. Simonetta, José, *Televisión Digital Avanzada*, Primera edición, Intertel 2002Buenos Aires- Argentina. Pág. 315
- [10] ATSC Estado actual de la TV Digital, www.subtel.cl/prontus_tvd/site/artic/20070315/asocfile/20070315175818/69chile_espagnol.PDF
- [11] Comentarios del Consultor Regional ATSC al INFORME PRESENTADO POR LA DICTUC A LA SUBTEL DE CHILE, www.blog.360.yahoo.com/blog-4SrDY0s8eqHjLfoeTURYN02XJohSAjmELzccjw--?cq=1&p=307
- [12] H.264/MPEG-4 AVC, www.es.wikipedia.org/wiki/AVC

[13] ANALISIS DE LOS ESTANDARES DE TRANSMISION DE TELEVISION DIGITAL TERRESTRE Y SU APLICABILIDAD AL MEDIO NACIONAL, www.subtel.cl/prontus_tvd/site/artic/20070315/asocfile/20070315173311/estudio_uc.pdf. Pag. 21

[14] ETSI ETR 154 Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for the use of MPEG-2 Systems, Video and Audio in satellite, cable and terrestrial broadcasting applications.

[15] prEN 300 468: "Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for Service Information (SI) in DVB systems". Known as (DVB-SI).

[16] ETSI EN 300 744 V1.5.1 (2004-11), Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television

[17] Scrambler, www.en.wikipedia.org/wiki/Scrambler

[18] COFDM, www.es.wikipedia.org/wiki/COFDM

[19] Televisión Digital Avanzada Ing. José Simonetta Pág. 323-325

[20] ETSI EN 302 304 V1.1.1 (2004-11), Digital Video Broadcasting (DVB); transmisión System for Handheld Terminals (DVB-H).

[21] DVB-T2 Un Estándar para la siguiente generación de televisión digital terrestre, www.furiapse.com/pdf/FURIA_RyD-PuertasAbiertas_Madrid_070523.pdf

[22] ARIB Standard B31, Transmission System for Digital Terrestrial Television Broadcasting.

[23] Análisis de los estándares transmisión de TV digital terrestre y su aplicabilidad al medionacional, www.subtel.cl/prontus_tvd/site/artic/20070315/asocfile/20070315173311/estudio_uc.pdf - 7

[24] Audio en Televisión Digital, www.hdtv.videocomputer.com/3_Audio_HDTV.htm

[25] Televisión Digital Avanzada Ing. José Simonetta Pág. 342

[26] Basado en SBTVD-T ISDB-T (Japón) SISTEMA BRASILEÑO DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE

CAPITULO II

[27] ATSC Document A/53, "ATSC Digital Television Standard", 1995.

[28] ETSI Document EN 300 744, “DVB-T: Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television”, 1998.

[29] DiBEG Document, *Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB-T)*, “Specification of channel coding, framing structure and modulation”, 1998.

[30] Relatório Final: “Teste em Sistemas de Televisão Digital – Primeira Parte”, Grupo

SET/ABERT/Mackenzie, representando as concessionárias autorizadas pela ANATEL, 9 de fevereiro de 2000.

[31] Relatório parcial: “Teste em Sistemas de Televisão Digital – Terceiro Relatório Parcial”, Grupo SET/ABERT/Mackenzie, representando as concessionárias autorizadas pela ANATEL, 31 de março de 2000

[32] Relatório Final: “Teste em Sistemas de Televisão Digital – Segunda Parte”, Grupo

SET/ABERT/Mackenzie, representando as concessionárias autorizadas pela ANATEL, 15 de maio de 2000.

[33] Emplazamientos obtenidos gracias al CONSEJO NACIONAL DE RADIODIFUSIÓN Y TELEVISIÓN (CONARTEL). Emplazamientos en Quito desarrollado por RTS (Red Telesistema), en Guayaquil por Ecuatronic.

CAPITULO III

[34] Ing. Simonetta, José, *Televisión Digital Avanzada*, Primera edición, Intertel 2002Buenos Aires- Argentina. Pág. 174

[35] Ing. Simonetta, José, *Televisión Digital Avanzada*, Primera edición, Intertel 2002Buenos Aires- Argentina. Pág. 342

[36] Ing. Simonetta, José, *Televisión Digital Avanzada*, Primera edición, Intertel 2002Buenos Aires- Argentina. Pág. 346

[37] Análisis de los estándares de transmisión de televisión digital terrestre y su aplicabilidad al medio nacional, www.subtel.cl/prontus_tvd/site/artic/20070315/asocfile/20070315173311/estudio_uc.pdf. Pags. 35-36.

CAPITULO IV

[38] análisis de pruebas de laboratorio y de campo de sistemas de TV digital realizadas en Brasil, PD.33.PS.E1A.005A/RT-01-AA, ANTEL 2000.

[39] Documentos proporcionado por el Ing. Gonzalo Olmedo Escuela Politécnica del Ejército

[40] www.wikipedia.org/wiki/Coeficiente_de_correlaci%C3%B3n_de_Pearson

CAPITULO V

[41] Yiyang Wu, Performance Comparison of ATSC 8-VSB and DVB-T COFDM Transmission Systems for Digital Television Terrestrial Broadcasting. ICCE'99, 10 pages.

[42] Chi-Fang Huang, The Nan Chang and Chau-Yun Hsu, Field evaluations in Taiwan of the DVB-T COFDM and ATSC 8-VSB digital TV systems. EBU TECHNICAL REVIEW, July 2003, 15 pages.

[43] ITU *Radiocommunication Study Groups, Question ITU-R 205/11, Transmission Performance of ISDB-T*, documento 11A/Jyy-E, 14 de Mayo de 1999.

[44] Análisis de los estándares de transmisión de televisión digital terrestre y su aplicabilidad al medio Nacional, www.subtel.cl/prontus_tvd/site/artic/20070315/asocfile/20070315173311/estudio_uc.pdf.