



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA – TELECOMUNICACIONES

**PRUEBAS DE LABORATORIO DE TELEVISION DIGITAL ATSC-M/H EN REDES
EN FRECUENCIA ÚNICA**

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
FLOR DE GUADALUPE ORTÍZ GÓMEZ

TUTOR
DR. JOSÉ MARÍA MATÍAS MARURI
FACULTAD DE INGENIERÍA

MÉXICO, D. F. MAYO 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Rangel Licea Víctor

Secretario: Dra. Moumtadi Fátima

Vocal: Dr. Matías Maruri José María

1 er. Suplente: Dr. Qureshi Naser

2 do. Suplente: Dr. García Garduño Víctor

Lugar o lugares donde se realizó la tesis:

México, D.F., Facultad de Ingeniería, UNAM

TUTOR DE TESIS:

Dr. José María Matías Maruri

FIRMA

*A la memoria de Dulce Ximena y César Augusto;
gracias por todo el aprendizaje que me dejaron.*

*A mis padres, mi hermano y mi novio;
esto es por ustedes.*

Recuerdo cuando dijiste que por lo menos una vez en la vida hay que cambiarle la vida a alguien. Como Albert Einstein que decía que si pasas el resto de la vida de un pez enseñándole a trepar a un árbol, se pasaría el resto de su vida pensando que es un inútil.

A eso me refiero, a que todos tenemos un lugar donde ser brillantes. Pero el día que la Humanidad entienda que el físico es secundario, se dará cuenta de por qué de un regalo se tira siempre el envoltorio. Por eso, no es la mirada, es quién te mira. Como cuando sientes algo que nunca has sentido y lo mejor es averiguar qué es.

Y es que muchas de las mejores cosas en la vida son aquellas que nadie ha descubierto antes. Como aquel desierto que ahora todo el mundo llama Las Vegas, o como conectar a todo el planeta a través de un hilo y llamarlo Internet. Y tranquilo, que no son las veces que te caes, sino cómo te levantas, que merece la pena luchar por aquello que te haga sentir vivo.

Porque no hay nada que merezca tu alegría que se consiga sin esfuerzo. Prométeme que correrás bajo la lluvia y demostrarás a todo el mundo de lo que eres capaz. Que yo ya sé que la gente entra y sale de nuestras vidas casi tantas veces como aire respiramos. Pero te tienes que quedar con quién te baje las estrellas y no con quién te haga soñar con ellas.

¿Sabes cómo reconocer a alguien especial? Por los abrazos. Porque cuando te dan uno de esos abrazos que hacen que se detenga el tiempo y que suspires profundo deseando que ese instante sea eterno. Cuando eso sucede, me doy cuenta de que todo es posible, y ahí es cuando me acuerdo de ti.

Que tendemos a cometer ese grave error de esperar a que ocurra algo tan caótico que le dé la vuelta a la vida para dar el paso, para arriesgarse, para probar cosas nuevas, decir te quiero, sentir, enamorarse, vivir...

¿Qué tal un así porque sí? Porque me apetece, aquí, ahora y contigo. Que el miedo hay que mirarle de frente y a los ojos. y así puedes dejarte llevar por ese puto motor que te late en el pecho.

Toda pesadilla tiene su despertar. Porque el valor es el resultado de un gran miedo, y tú has llegado a mi vida como los superhéroes, dispuesto a quitármelo.

No me rindo porque sé que te prometí que nunca lo haría. Solo quería decirte que tampoco sé cómo se sale de Roma, pero si lo supiera, pasearía todos sus caminos contigo.

Loreto Sesma

Agradecimientos

Le agradezco a Dios por todas las bendiciones que me ha dado y porque entre más me envuelvo en el mundo de la ciencia, más reafirmo su existencia y su inteligencia al crear un universo tan perfectamente sincronizado.

Le doy gracias a mis padres Flor de María y Antonio por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. Sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir. Agradezco a mi madre porque ella siempre me ha enseñado a ser responsable y sobresalir en todo lo que hago. Agradezco a mi padre porque él siempre me ha enseñado a enfrentar los problemas con mi mejor sonrisa.

A mi hermano Toño por ser mi cómplice en todas las travesuras que hice desde niña. Sabes que te quiero mucho y que siempre estaré para lo que necesites.

Agradezco a Andrés mi novio, quien estuvo conmigo en todo mi camino de maestría, gracias por todo tu ayuda, gracias porque siempre te desvelaste conmigo apoyándome. Eres un excelente colega, amigo y novio. Estoy segura que quiero ser tu compañera de vida.

A mis abuelos César y Martha que me cuidaron cuando era pequeña. César ya no está conmigo pero él sabe que siempre pienso en él y que muchas cosas de las que soy ahora se las debo a él.

A Dulce Ximena, un angelito que me enseñó tantas cosas en tan poco tiempo, sobre todo me enseñó que la vida es muy corta y que por eso hay que disfrutarla y vivirla siempre al máximo. Siempre te recordaré y sé que tú eres una luz que protege a toda la familia.

Le agradezco a mi director de tesis, el Doctor José María. Gracias por todo su apoyo, orientación y paciencia, pero sobre todo le agradezco que crea en mí y la confianza que me ha brindado. Gracias por su atención y enseñanzas.

Agradezco a todos los compañeros que en algún momento participaron en el proyecto REFUTV, esto en un trabajo en equipo y gracias a ese trabajo se pudo realizar esta tesis. En especial agradezco a Mario y a Carmen, a Mario porque además de orientarme cada vez que lo necesité, me brindó su amistad y confianza, y a Carmen porque me apoyó en todo momento en las pruebas de laboratorio, porque se ha convertido en mi amiga y en un persona que yo considero valiosa.

A todos mis amigos que han estado conmigo a lo largo de mi vida, unos aun continúan conmigo y otros han tomado caminos en direcciones diferentes, pero todos me han enseñado cosas valiosas sobre la vida y la amistad. En especial quiero agradecer a Andrea que me ha brindado su amistad desde hace diez años, y que a pesar de que no nos podemos ver tan seguido, se que siempre podré contar con ella. Gracias por ser mi cómplice, mi hermana y mi concejera. Te quiero y te deseo lo mejor en tus dos grandes amores, la música y la medicina.

Quiero agradecer a la Universidad Nacional Autónoma de México y a sus profesores, quienes me han brindado una excelente formación. También agradezco a la Facultad de Ingeniería y al programa de Posgrado en Ingeniería por haberme brindado la oportunidad de realizar mis estudios de maestría y por haberme apoyado económicamente para ir a presentar el artículo a Toulouse, Francia. De igual forma agradezco a CONACYT por la beca que me otorgó durante mis estudios de maestría (Beca CONACYT N° 632027) y por el financiamiento económico que otorga al proyecto REFUTV ya que la tesis se realizó dentro de este proyecto. Gracias porque sin esos apoyos, esto no sería posible.

Contenido

Introducción	1
Televisión Digital Móvil y Portátil	2
Proyecto REFUTV	3
Motivaciones de la Tesis	4
Objetivos	4
Objetivo General	4
Objetivos Particulares	4
Estructura de la Tesis	5
1. Estado del Arte	6
1.1. ATSC	7
1.1.1. Sincronización de datos	7
1.1.2. Aleatorizador de datos	7
1.1.3. Codificación Reed-Solomon	8
1.1.4. Intercalador de datos	8
1.1.5. Codificador de Trellis	8
1.1.6. Inserción de la Piloto y los Sincronismos	9
1.1.7. Modulación en Amplitud y Filtro de Nyquist	10
1.2. ATSC-M/H	11
1.2.1. Descripción del estándar y diferencias con el estándar fijo	11
1.2.2. Modos de transmisión	15
1.3. Redes en Frecuencia Única	22
1.4. Reporte de prueba de campo realizada con ATSC-M/H	24
2. Modelos de Canal Utilizados	26
2.1. Propagación en comunicaciones móviles	27
2.2. Modelos de canal para recepción fija	29
2.3. Modelos de canal para recepción móvil	32
2.4. Modelos de Canal para recepción móvil y portátil en redes SFN	34
3. Diseño de las pruebas de laboratorio	40
3.1. Objetivos de las pruebas de laboratorio	41
3.2. Consideraciones para la definición de las pruebas de laboratorio	41
3.2.1. Recomendaciones ATSC	41

3.2.2.	Pruebas de laboratorio utilizando el estándar ATSC.....	45
3.2.3.	TOV.....	45
3.3.	Equipamiento	45
3.4.	Selección de los receptores	46
3.5.	Selección de los modos de transmisión.....	46
3.6.	Pruebas de laboratorio.....	47
4.	Análisis de Resultados	51
4.1.	Parámetros básicos de funcionamiento de los receptores.....	52
4.1.1.	Sensibilidad	52
4.1.2.	Umbral de C/N	54
4.1.3.	Eco Estático.....	57
4.1.4.	Frecuencia Doppler	59
4.2.	Evaluación de los receptores en recepción fija	63
4.2.1.	Umbral de C/N utilizando los modelos de canal Brasil A-6 y Brasil D-6.....	64
4.2.2.	Red SFN de dos transmisores utilizando el modelo de canal Brasil A-6	66
4.2.3.	Red SFN de dos transmisores utilizando el modelo de canal Brasil D-6	70
4.3.	Evaluación de los receptores en recepción móvil	75
4.3.1.	Umbral de C/N utilizando los modelos de canal RA-6 y TU-6.....	75
4.3.2.	Red SFN de dos transmisores utilizando el modelo de canal RA-6.....	78
4.3.3.	Red SFN de dos transmisores utilizando el modelo de canal TU-6	82
4.4.	Evaluación de los receptores en recepción móvil dentro de una red SFN.	86
4.4.1.	Umbral de C/N dentro de una red SFN: PI	87
4.4.2.	Umbral de C/N dentro de una red SFN: PO	88
4.4.3.	Umbral de C/N dentro de una red SFN: VU	90
4.4.4.	Umbral de C/N dentro de una red SFN: MR.....	91
4.5.	Observaciones de los Resultados	92
5.	Conclusiones	95
5.1.	Objetivos logrados.....	96
5.2.	Trabajo Futuro.....	97
Anexo A.	Metodología de las pruebas de laboratorio	i
A.1	Sensibilidad	i
A.2	Umbral de C/N	i
A.3	Eco estático	ii

A.4 Frecuencia Doppler	iii
A.5 Umbral de C/N para recepción fija.....	iii
A.6 Brasil A-6	iv
A.7 Brasil D-6	iv
A.8 Umbral de C/N para recepción móvil.....	v
A.9 RA-6	v
A.10 TU-6	vi
A.11 Pedestrian Indoor.....	vii
A.12 Pedestrian Outdoor	vii
A.13 Vehicular Urban	viii
A.14 Motorway Rural	ix
Anexo B. Productos obtenidos de la Tesis.....	i
Referencias.....	A

Índice de Figuras

Figura 1.1 Diagrama de bloques ATSC	7
Figura 1.2 Segmento de datos ATSC.....	9
Figura 1.3 Segmento de Campo	10
Figura 1.4 Espectro de la señal modulada sin Filtrar	10
Figura 1.5 Sistema de Radiodifusión ATSC con el sistema ATSC-M/H.....	12
Figura 1.6 Estructura de capas ATSC-M/H [9].....	13
Figura 1.7 Trama M/H	14
Figura 1.8 Diagrama del equipamiento de transmisión de ATSC M/H	15
Figura 1.9 Configuración de FEC en un sistema ATSC-M/H	16
Figura 1.10 Cantidad de Slots que ocuparía una señal ATSC-M/H.....	19
Figura 1.11 Segmentos de la señal ATSC-M/H.....	20
Figura 1.12 Regiones en una trama ATSC-M/H.....	20
Figura 1.13 Tasa Total (Payload + FEC)	21
Figura 1.14 Tipos de Redes.....	22
Figura 1.15 Una red SFN se puede comparar con el multitrayecto de una señal.....	23
Figura 2.1 Entornos de propagación en área urbana	27
Figura 2.2 Entorno de propagación dentro de una edificio	28
Figura 2.3 Propagación en área rural	29
Figura 2.4.4 Canal de propagación Brasil A	31
Figura 3.1 Desempeño Recomendado de una receptor ante condiciones de eco estático.....	43
Figura 3.2 Evaluación del desempeño del receptor ante Frecuencia Doppler.....	44
Figura 3.3 Diagrama del equipamiento utilizado	45
Figura 4.1 Sensibilidad medida de cada receptor ATSC-M/H en cinco diferentes canales de televisión al utilizar la configuración C1 (QQQ RS 48)	52

Figura 4.2 Sensibilidad medida de cada receptor ATSC-M/H en el canal 18 al utilizar las cinco diferentes configuraciones de FEC	53
Figura 4.3 Umbral de C/N medido de cada receptor ATSC-M/H en cinco diferentes canales de televisión al utilizar la configuración C5 (HHHH RS 36)	55
Figura 4.4 Umbral de C/N medido de cada receptor ATSC-M/H en el canal 18 al utilizar las cinco diferentes configuraciones de FEC	56
Figura 4.5 Promedio del desempeño de los receptores estándar para las cinco configuraciones de FEC en condiciones de eco estático	58
Figura 4.6 Promedio del desempeño de los receptores SDR para las cinco configuraciones de FEC en condiciones de eco estático	58
Figura 4.7 Desempeño promedio de los receptores estándar respecto a la Frecuencia Doppler.....	62
Figura 4.8 Desempeño promedio de los receptores SDR electrónico respecto a la Frecuencia Doppler.....	62
Figura 4.9 Umbral de C/N para Brasil A - 6	64
Figura 4.10 Umbral de C/N para Brasil D - 6	65
Figura 4.11 Respuesta de los receptores ante una red SFN de dos transmisores al utilizar la configuración C1 (QQQQ RS 48) dentro de un modelo de recepción fija en exteriores	67
Figura 4.12 Respuesta de los receptores ante una red SFN de dos transmisores al utilizar la configuración C2 (HHHH RS 48) dentro de un modelo de recepción fija en exteriores	68
Figura 4.13 Respuesta de los receptores ante una red SFN de dos transmisores al utilizar la configuración C3 (HQQQ RS 48) dentro de un modelo de recepción fija en exteriores	69
Figura 4.14 Respuesta de los receptores ante una red SFN de dos transmisores al utilizar la configuración C1 (QQQQ RS 48) dentro de un modelo de recepción fija en interiores.....	71
Figura 4.15 Respuesta de los receptores ante una red SFN de dos transmisores al utilizar la configuración C2 (HHHH RS 48) dentro de un modelo de recepción fija en interiores.....	72
Figura 4.16 Respuesta de los receptores ante una red SFN de dos transmisores al utilizar la configuración C3 (HQQQ RS 48) dentro de un modelo de recepción fija en interiores.....	73
Figura 4.17 Umbral de C/N para RA-6 120 km/h.....	76
Figura 4.18 Umbral de C/N para TU-6 120 km/h	77
Figura 4.19 Umbral de C/N para TU-6 50 km/h.....	77
Figura 4.20 Respuesta de los receptores ante una red SFN de dos transmisores al utilizar la configuración C1 (QQQQ RS 48) dentro de áreas rurales sin montañas a una velocidad de 120 km/h	79
Figura 4.21 Respuesta de los receptores ante una red SFN de dos transmisores al utilizar la configuración C2 (HHHH RS 48) dentro de áreas rurales sin montañas a una velocidad de 120 km/h	80
Figura 4.22 Respuesta de los receptores ante una red SFN de dos transmisores al utilizar la configuración C3 (HQQQ RS 48) dentro de áreas rurales sin montañas a una velocidad de 120 km/h	81
Figura 4.23 Respuesta de los receptores ante una red SFN de dos transmisores al utilizar la configuración C1 (QQQQ RS 48) dentro de zonas urbanas sin montañas a una velocidad de 50 km/h	83

Figura 4.24 Respuesta de los receptores ante una red SFN de dos transmisores al utilizar la configuración C2 (HHHH RS 48) dentro de zonas urbanas sin montañas a una velocidad de 50 km/h	85
Figura 4.25 Respuesta de los receptores ante una red SFN de dos transmisores al utilizar la configuración C3 (HQQQ RS 48) dentro de zonas urbanas sin montañas a una velocidad de 50 km/h	86
Figura 4.26 Umbral de C/N para PI dentro de una red SFN a 3 km/h	87
Figura 4.27 Umbral de C/N para PO dentro de una red SFN a 3 km/h.....	89
Figura 4.28 Umbral de C/N para VU dentro de una red SFN a 40 km/h	90
Figura 4.29 Umbral de C/N para MR dentro de una red SFN a 100 km/h.....	91

Índice de Tablas

Tabla 1.1 Comparación de FEC entre ATSC y ATSC-M/H.....	16
Tabla 1.2 Diferentes tasas de transmisión para programas de ATSC-M/H	17
Tabla 1.3 Eficiencia del FEC	18
Tabla 1.4 Slots ocupados dependiendo del FEC elegido	22
Tabla 1.5 Ventajas y desventajas de una red SFN	23
Tabla 2.1 Brasil A	30
Tabla 2.1 Brasil D	30
Tabla 2.3 Rural Area	32
Tabla 2.4 Typical Urban.....	32
Tabla 2.5 Parámetros de simulación Pedestrian Indoor	35
Tabla 2.6 Parámetros de simulación Pedestrian Outdoor.....	35
Tabla 2.7 Parámetros de simulación Vehicular Urban.....	36
Tabla 2.8 Motorway Rural	36
Tabla 3.1 Desempeño Recomendado de una receptor ante condiciones de eco estático	42
Tabla 3.2 Ejemplo de resultados al evaluar la Frecuencia Doppler en dos receptores diferentes	44
Tabla 3.3 Características principales de los receptores seleccionados.....	46
Tabla 3.4 Configuraciones de FEC	47
Tabla 3.5 Pruebas de laboratorio diseñadas	50
Tabla 4.1 Umbral de C/N medido de cada Receptor ante la frecuencia Doppler producida por el desplazamiento de un peatón.....	60
Tabla 4.2 Umbral de C/N mínimo alcanzado por cada receptor	60
Tabla 4.3 Frecuencia Doppler de cada receptor en la cual el umbral de C/N creció 3 dB en comparación con el umbral mínimo	61

Lista de abreviaturas

8-VSB: Vestigial Side Band
AC-3: Audio Coding 3
AWGN: Additive White Gaussian Noise
ATSC: Advanced Television Systems Committee
ATSC-M/H: Advanced Television Systems Committee (Mobile and Handheld)
CBC: Canadian Broadcasting Corporation
CDTI: Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial
CONACYT: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
C/N: Carrier to Noise Ratio
DTV: Digital Television
FEC: Forward Error Correction
HE ACC v2: High Efficiency Advanced Audio Coding
INEGI: Instituto Nacional de Geografía y Estadística
MFN: Multiple Frequency Network
MPEG-2: Moving Picture Expert Group 2
MPEG-4: Moving Picture Expert Group 4
MR: Motorway Rural
OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OSI: Open System Interconnection
PI: Pedestrian Indoor
PLL: Phase Locked Loop
PO: Pedestrian Outdoor
RA-6: Rural Area
REFUTV: Redes en Frecuencia Única para televisión Digital ATSC
RF: Radio Frequency
RS-CRC: Reed Solomon – Cyclic Redundancy Check
SCCC: Serial Concatenated Convolutional Codes
SDR: Software Defined Radio
SFN: Single Frequency Network
TELBOR: Telemática e Innovación a Bordo
TU-6: Typical Urban
UNAM: Universidad Nacional Autónoma de México
VU: Vehicular Urban

Introducción

En México, el estándar adoptado para la Televisión Digital Terrestre es ATSC (A/53), el cual usa una modulación de 8-VSB. A su vez, ATSC-M/H (A/153) es el estándar para Televisión Móvil y Portátil, el cual también usa una modulación de 8-VSB pero con mejoras en la codificación de fuente y de canal.

En el presente capítulo se da a conocer la situación actual de México con respecto a la televisión digital. Se describe en qué consiste la televisión móvil y portátil. También se habla de la importancia de un estudio del desempeño de receptores móviles en Redes de Frecuencia Única (SFN). Y también se describe la importancia de esta tesis dentro del proyecto REFUTV. Finalmente se plantean los objetivos de las tesis, así como su justificación y la estructura de la misma.

Televisión Digital Móvil y Portátil

Dentro de los sistemas de radiodifusión actuales existe la televisión, el cuál es un sistema empleado para la transmisión de imágenes, sonido e información. Sus principales objetivos son el poder informar y entretener al público por medio de diversos programas de televisión [1]. En México se adoptó el estándar de ATSC (Advanced Television Systems Committee) para la Televisión Digital Terrestre en el año 2004 [2]. Desde su implementación pueden utilizarse algunas mejoras al estándar como lo es el A/72 que especifica la transmisión de vídeo en MPEG-4 o el A/153 que es el estándar móvil ATSC-M/H. En julio del mismo año, la adopción del estándar se publicó en el Diario Oficial de la Federación con el título, “Acuerdo por el que se Adopta el Estándar Tecnológico de Televisión Digital Terrestre y se Establece la Política para la Transición de la Televisión Digital Terrestre en México” [2].

Para el año 2014, diez años después de la adopción del estándar ATSC, el Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía (INEGI), reveló que en México un total de 94.9 % de la población contaba con televisión en su casa, de los cuales solo el 15.2 % contaban con al menos un televisor digital [3]. Lo cual realmente era un problema ya que el apagón analógico se había programado para diciembre del 2015 [4]. Sumado a esto, no existen datos específicos de qué porcentaje de la población mexicana cuenta con al menos un receptor para recepción móvil y portátil. El porcentaje es probablemente ínfimo, ya que no se encontró ningún receptor de A/153 que se vendiera en México.

El estándar A/153 describe el funcionamiento del sistema de ATSC-M/H (Advanced Television Systems Committee Mobile/ Handheld) [5]. ATSC-M/H está desarrollado para entrega de contenido de televisión o datos a dispositivos móviles y portátiles. La señal de ATSC-M/H es transmitida en una porción del total del ancho de banda de una señal de ATSC convencional, debido a esto el estándar ATSC-M/H es compatible con la infraestructura actual de ATSC. Recordando que ATSC usa una modulación de 8-VSB uno de los aspectos que más le afecta en la recepción es el llamado multitrayecto por lo cual sería imposible tener una buena recepción en un ambiente de propagación móvil con estas características. Por esta razón ATSC-M/H tiene algunas mejoras importantes en la parte de codificación de fuente y de canal, las cuales se explican a lo largo de esta tesis.

El estándar para televisión móvil está pensado para vídeos de baja resolución ya que al ser un estándar para televisión móvil y portátil se espera que la pantalla de visualización de los vídeos sea pequeña. ATSC-M/H usa H.264 (MPEG-4) para la compresión de vídeo y HE ACC v2 para la compresión de audio [5].

El estándar ATSC-M/H tiene dos métodos de corrección de errores FEC (Forward Error Correction), el primero es conocido como RS-CRC (Reed-Solomon Cyclic Redundancy Check) el cual funciona a nivel de la capa de enlace. El segundo es nivel de capa física, el cual se conoce como SCCC (Serial Concatenated Convolutional Coder). Dependiendo de estos métodos de FEC, existen varias configuraciones de FEC en el estándar y cada una tiene un efecto importante en la robustez y ancho de banda de la señal de televisión digital móvil [5].

Para la codificación de RS-CRC, el estándar acepta 24, 36 o 48 bytes de corrección por cada paquete de información (187 bytes), a diferencia del estándar fijo que solo acepta 20 bytes. Además el estándar móvil está compuesto por un turbo-código, el cual es una combinación entre el codificador de Trellis de $\frac{2}{3}$ (este también está en el estándar fijo) y la codificación de SCCC. La codificación SCCC que solo se encuentra en el estándar móvil, se puede configurar con una tasa de $\frac{1}{2}$ (Half) o de $\frac{1}{4}$ (Quarter) en cada una de las cuatro regiones en que la capa física de la señal se puede dividir. Estas cuatro regiones, reciben el nombre de "Región A, Región B, Región C y Región D". Por lo tanto existen diferentes combinaciones de FEC con la que se podría transmitir una señal ATSC-M/H, esto da una gran variedad de posibilidades para su estudio.

Proyecto REFUTV

Como ya se ha dicho, el estándar ATSC se ve muy afectado por el multitrayeto. El implementar una red SFN (Single Frequency Networks) para dicho estándar sería muy complicado debido a que usa una modulación de portadora única llamado 8-VSB a diferencia de otros estándares que utilizan una modulación de múltiples portadoras como OFDM.

A pesar de lo antes mencionado, el proyecto REFUTV (Redes en Frecuencia Única para el desarrollo de Televisión Digital) tiene como objetivo estudiar en qué condiciones dichas redes pueden funcionar de forma adecuada. Este es un proyecto internacional, de cooperación México-España y financiado por CONACYT y el CDTI. Los participantes de este proyecto son; la Facultad de Ingeniería de la UNAM, TELBOR S. A. de C. V. y EGATEL S. L.

En este proyecto se desarrolla el equipamiento necesario para las redes SFN usando el estándar de Televisión Digital en México (ATSC) a cargo de TELBOR y EGATEL, a su vez en el proyecto se estudian los parámetros de funcionamiento de las redes SFN en México por medio de la elaboración de pruebas de laboratorio y de campo las cuales están a cargo de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

La parte de pruebas de laboratorio para redes SFN con ATSC ya fue realizada, y el informe de resultados se entregará a CONACYT. Pero, a pesar de que los alcances oficiales del proyecto REFUTV se quedan en el análisis de las redes SFN usando el estándar fijo, en esta tesis se estudiarán dichos parámetros para el estándar móvil pensando en la implementación futura de dicha tecnología, haciendo una comparación con los resultados obtenidos en el estándar fijo.

Motivaciones de la Tesis

En la actualidad no existen muchos estudios realizados con ATSC-M/H, tal vez esto se deba a que ATSC usa una modulación de 8-VSB y se ha observado que es una modulación muy vulnerable al multitrayecto en comparación con una modulación OFDM, al parecer por tal motivo se han enfocado más los estudios en un nuevo estándar que se está desarrollando llamado ATSC 3.0 el cual se pretende que tenga la libertad de poder usar una modulación OFDM. Pero en México, apenas el 31 de diciembre del 2015 se acaba de terminar la transición de televisión analógica a digital, por lo tanto se ha invertido mucho trabajo y dinero en la adopción completa del estándar ATSC y no se prevé en un futuro cercano ni a mediano plazo la implementación del estándar ATSC 3.0. Los resultados de esta tesis podrían llegar a ser una propuesta de implementación y desarrollo en un futuro cercano para México, ya que los costos de añadir las transmisiones de ATSC-M/H a ATSC serían mucho más factibles que cambiar a ATSC 3.0, esto se debe a que ATSC 3.0 es incompatible con ATSC.

Actualmente algunas televisoras mexicanas ya están haciendo transmisiones abiertas con el estándar ATSC-M/H, por tal motivo en esta tesis se pretende abrir más posibilidades a esta tecnología, sobre todo para que en México sea más factible la implementación de redes SFN en la televisión.

Objetivos

El desarrollo e implementación de redes SFN en el estándar ATSC depende básicamente de la tecnología de cada receptor, sobre todo en el ecualizador de éste ya que el correcto funcionamiento de las redes SFN dependerá que tan capaz es el receptor de demodular la señal ante diferentes condiciones de multitrayecto. Pero en el caso de ATSC-M/H no solo depende de la tecnología en el receptor sino también de la protección con que se envíe la señal desde el transmisor, usando alguna de las posibles configuraciones de FEC, por lo tanto en esta tesis se plantean los siguientes objetivos.

Objetivo General

El objetivo general de la tesis es evaluar el desempeño de los receptores comerciales actuales de ATSC-M/H, así como estudiar los efectos de varias configuraciones de FEC en diferentes entornos de propagación y en condiciones de redes SFN. La evaluación se realizará mediante pruebas de laboratorio.

Objetivos Particulares

Éste objetivo general, se puede dividir en otros más concretos que se describen a continuación:

- Definir el protocolo de pruebas a realizar.
- Definir los parámetros de simulación de una red en frecuencia única.
- Realizar las medidas con diferentes modelos de receptores.
- Analizar los resultados y obtener parámetros de desempeño de los receptores.

- Determinar si los receptores cumplen con los lineamientos bases propuestos por ATSC y ATSC-M/H.

Estructura de la Tesis

La tesis está dividida en cinco capítulos los cuales a continuación se describen:

Capítulo 1. Estado del Arte. Se describe el estándar ATSC y el estándar ATSC-M/H, se señalan las diferencias existentes entre ambos estándares. También se habla de los modos de transmisión que tiene ATSC-M/H que realmente son las configuraciones de FEC que se pueden utilizar. Se describe el concepto de redes SFN y finalmente se habla de una prueba de campo realizada en Canadá en la cual se evalúan algunos parámetros de ATSC-M/H.

Capítulo 2. Modelos de canal utilizados. En este capítulo se describe que son los modelos de canal y la importancia de simularlos en laboratorio para poder realizar diversos estudios. También se describen los modelos de canal que se van a utilizar para el proceso de evaluación de las pruebas de laboratorio.

Capítulo 3. Diseño de las pruebas de laboratorio. Este capítulo describe los objetivos generales y particulares de las pruebas de laboratorio, también se mencionan todas las consideraciones previas como las recomendaciones de ATSC y las pruebas de laboratorio realizadas anteriormente por la Facultad de Ingeniería, se describe la selección del equipamiento y finalmente se plantea la metodología y el diseño de las pruebas de laboratorio.

Capítulo 4. Análisis de Resultados. Este capítulo contiene los resultados obtenidos de la realización de las pruebas de laboratorio. Se analiza el desempeño de los receptores, así como el efecto de las configuraciones de FEC utilizadas en cada prueba. Y se encuentran los parámetros de funcionamiento de los receptores.

Capítulo 5. Conclusiones. Se presentan las conclusiones obtenidas, se describen los objetivos alcanzados, se establecen las conclusiones obtenidas del análisis de resultados y finalmente se plantean los posibles trabajos a futuro.

1. Estado del Arte

En este capítulo se describe el estándar ATSC así como el estándar ATSC-M/H, se dan las características principales de cada uno y se señalan las diferencias existentes entre ambos. Se habla de los modos de transmisión que tiene ATSC-M/H. Se describe el concepto de redes SFN y finalmente se habla de las pruebas realizadas con ATSC-M/H.

1.1. ATSC

En México se adoptó el estándar de ATSC (Advanced Television Systems Committee) para la Televisión Digital Terrestre en el año 2004 [2]. En el estándar A/53 describe como es la señal de televisión digital de ATSC [6], este documento dice que en el sistema de DTV (Digital Television) el 8-VSB es el formato de modulación y MPEG-2 es su formato de compresión de vídeo y encapsulamiento de datos.

El codificador MPEG-2 comprime los datos del vídeo utilizando diferentes métodos de compresión de datos como son; la transformada discreta coseno, codificación de truncamiento y predicción de movimiento bidireccional. Una vez comprimido el vídeo lo mezcla con el audio precodificado en Dolby AC-3 y con cualquier dato extra que se quiera transmitir. Esta señal se transmite en forma serial al excitador de 8-VSB en donde se encuentran las etapas que se muestran en la figura 1.1 y que se describen a continuación [7].

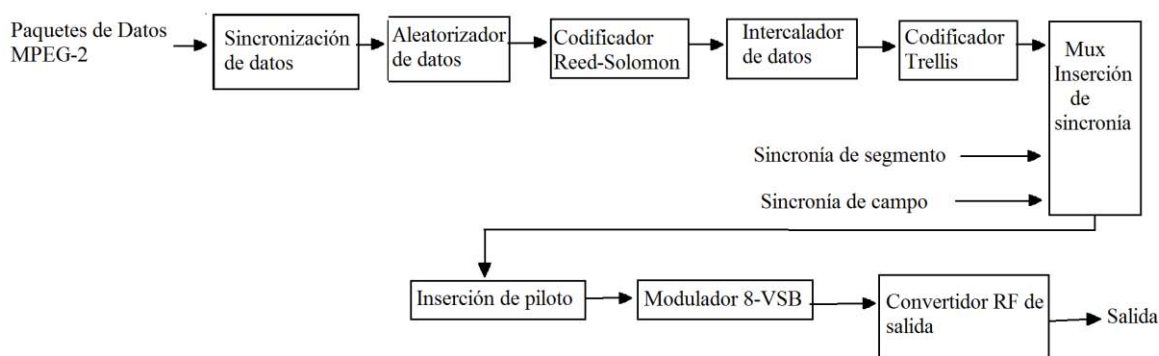


Figura 1.1 Diagrama de bloques ATSC

1.1.1. Sincronización de datos

Cuando se reciben los paquetes de datos MPEG-2, el sincronizador de datos detecta el comienzo y el final de cada paquete de datos antes de mandarlos al siguiente bloque. Cada paquete de MPEG-2 tiene 188 bytes en el cuál el primer byte es siempre el de sincronía. Cuando el sincronizador detecta el byte de sincronía, lo elimina ya que más adelante este será sustituido por el byte de sincronía de segmento de ATSC, finalmente el paquete de 187 bytes se envía al aleatorizador de datos.

1.1.2. Aleatorizador de datos

Es importante que el flujo de bits de la señal 8-VSB sea lo más aleatoria posible sin secuencias regulares, debido que se requiere tener un espectro plano como el espectro del ruido,

esto es con la finalidad de aprovechar completamente el limitado canal de RF, así se podría obtener la máxima eficiencia.

El aleatorizador de datos se encarga de modificar cada byte según un patrón conocido pseudo-aleatorio. Este proceso es invertido en el receptor para poder recuperar los valores originales de los bytes.

1.1.3. Codificación Reed-Solomon

En comunicaciones prácticamente todas las señales digitales producidas en la actualidad llevan asociadas el proceso de detección o corrección de errores, a esto se le conoce como códigos correctores de errores FEC (Forward Error Correction). Uno de los códigos de FEC de ATSC es el código de Reed-Solomon.

El código de Reed- Solomon (RS) es un código corrector de errores basados en la probabilidad de error de símbolos (bytes) en donde el codificador procesa un bloque de símbolos de datos, a los que agrega redundancia para producir un bloque de símbolos codificados.

Al codificador Reed-Solomon "RS (n,k)" le llegan los paquetes de 187 bytes y se agregan 20 bytes adicionales de redundancia con lo cual se tiene un total de 207 bytes por paquete. Estos 20 bytes adicionales son conocidos como los bytes de paridad. Por lo tanto se tiene un codificador RS (207,187) en donde el 207 indica el número de bytes total y el 187 el número de bytes de información. El codificador RS puede corregir hasta "t" bytes de información que contengan errores en un paquete, en donde

$$t = \frac{n - k}{2}$$

Para el caso de ATSC, el algoritmo de Reed-Solomon utilizado solo tiene la capacidad de corregir hasta 10 bytes con error, si el paquete contiene más bytes con error, el receptor lo desecha y no lo decodifica.

En el caso del receptor al recibir los 207 bytes por paquete, separa los 20 bytes de paridad de los 187 bytes de datos y los compara para ver si los bytes que le llegaron son correctos, si no es así el receptor asigna los bytes que bajo el criterio del algoritmo utilizado sea el que tiene menor probabilidad de error.

1.1.4. Intercalador de datos

El intercalador toma los 207 bytes que salieron del codificador RS, y los reacomoda perdiendo su secuencia original. Esto es para evitar las pérdidas en ráfaga y se utiliza un intercalado con una secuencia que el receptor conoce para poder ordenar los bytes.

1.1.5. Codificador de Trellis

Al igual que Reed- Solomon, el codificador de Trellis es otra forma más de corrección de errores (FEC). La diferencia con Reed-Solomon es que RS es un código de bloque y Trellis es código convolucional, esto significa que RS codifica cada cierto bloque de símbolos que para

ATSC es cada 187 bytes. En cambio en Trellis al ser un código convolucional las palabras se generan no sólo a partir de los dígitos de información actuales sino también con la información anterior en el tiempo. Es decir, un codificador convolucional es un sistema con memoria. Otra gran diferencia de este codificador es que no trabaja por paquetes, sino que de cada byte que como bien se sabe contiene 8 bits, el codificador de Trellis toma 2 bits y los compara con los 2 bits anteriores y así sucesivamente. Esta transición de los 2 bits actuales las describe con una etiqueta de 3 bits por lo que a la salida del codificador se tienen 3 bits por cada 2 bits de entrada, por lo tanto se tiene una codificación de $\frac{3}{2}$ la cual proporciona 8 niveles por cada dos bits de entrada. En el decodificador se hace el proceso inverso y por cada 3 bits de entrada salen 2. Estos tres bits conforman un símbolo, con esto se forma una señal de banda base de ocho niveles de voltaje simétrica en 0 [V].

1.1.6. Inserción de la Piloto y los Sincronismos

Se insertan varias señales auxiliares que permiten al receptor demodular correctamente la señal de RF transmitida. Estas señales son la piloto de ATSC y las sincronías de segmento y de campo. La sincronía de segmento de ATSC es un pulso de 4 símbolos que se agrega al comienzo de cada segmento de datos, así remplace el byte inicial del paquete de MPEG-2 original.

La primera señal auxiliar es la piloto ATSC. Justo antes de la modulación, se le agrega a la señal de ocho niveles de banda base un pequeño offset de corriente directa, esto hace que aparezca una pequeña portadora residual. Esta señal ayuda al PLL del receptor a demodular los datos transmitidos.

Las otras señales auxiliares son las sincronías de segmento y de campo ATSC. Después de la codificación de Trellis, el segmento de 207 bytes se alarga a un flujo de 828 símbolos de ocho niveles. La sincronía de segmento ATSC es un pulso de 4 símbolos que se le agrega al comienzo de cada segmento de datos y que reemplaza el ausente byte inicial del paquete MPEG-2 original. La sincronía de segmento aparece una vez cada 832 símbolos y siempre toma la forma de un pulso positivo-negativo-positivo que brinca entre los niveles +5 y -5, esto se puede observar en la figura 1.2.

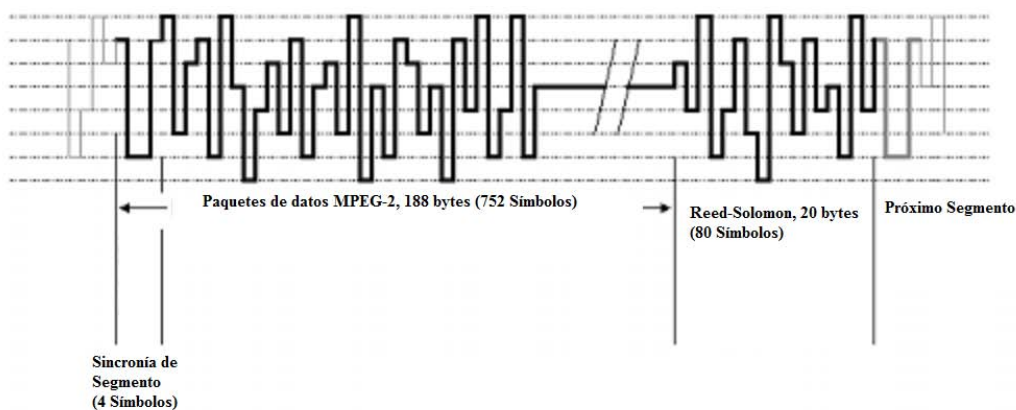


Figura 1.2 Segmento de datos ATSC

Como se muestra en la figura 1.3 trescientos trece segmentos de datos consecutivos forman un campo de datos.

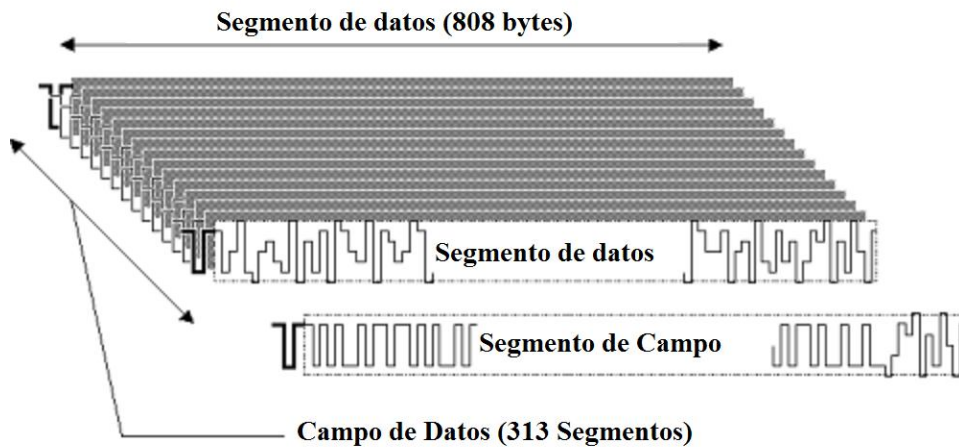


Figura 1.3 Segmento de Campo

La robustez de las sincronías de segmento y de campo hace posible que la señal se reciba en el receptor 8-VSB, aun cuando la señal llegue con mucho ruido.

1.1.7. Modulación en Amplitud y Filtro de Nyquist

La señal obtenida después de la inserción de la Piloto y los Sincronismos se modula sobre una portadora de frecuencia intermedia produciendo un amplio espectro de doble banda lateral con mucha redundancia en la información y ocupando un espectro mayor al permitido para la transmisión de televisión digital (6 MHz) tal como se muestra en la figura 1.4. Esto se soluciona con la reducción y el filtrado de banda mediante el Filtro de Nyquist, todo esto para obtener una señal 8-VSB de frecuencia intermedia la cuál posteriormente se convierte a la frecuencia de UHF o VHF deseada.

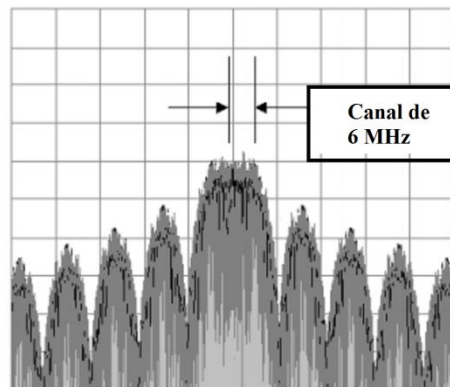


Figura 1.4 Espectro de la señal modulada sin Filtrar

El formato 8-VSB es una técnica para modular en amplitud una portadora con una señal digital. La señal digital en banda base es un flujo serial de bits que tienen la forma de un tren de

pulsos sucesivos en el tiempo. Cuando este tren de pulsos es sumado con una portadora senoidal la suma de frecuencias, da origen a las bandas laterales que son parcialmente filtradas por filtros pasa banda. La suma de amplitudes da origen a dos amplitudes discretas posibles de la portadora: amplitud de la portadora más amplitud del pulso y amplitud de la portadora sola (ausencia de pulso).

Por otro lado en el receptor, se demodula la señal de RF, aplicándole el orden inverso de los conceptos ya explicados.

1.2. ATSC-M/H

Desde la implementación de ATSC se pueden utilizar algunas mejoras al estándar como lo es el A/72 que especifica la transmisión de vídeo en MPEG-4 o el A/153 que es el estándar móvil portátil ATSC-M/H [2].

El estándar A/153 describe el funcionamiento del sistema de ATSC M/H (Advanced Television Systems Committee Mobile/ Handheld) [5]. ATSC M/H está desarrollado para entrega de contenido de televisión o datos a dispositivos móviles y portátiles. La señal de ATSC M/H es transmitida en una porción del total del ancho de banda de una señal de ATSC convencional, debido a esto el estándar ATSC M/H es compatible con la infraestructura actual de ATSC.

ATSC-M/H usa compresión de video H.264 (MPEG-4 AVC) y HE AAC v2 para compresión de audio. Dado que ATSC-M/H se encuentra en la capa Física de ATSC también es modulada en 8-VSB. Pero el estándar de ATSC-M/H tiene algunas mejoras en los métodos de corrección de errores "FEC" (Forward Error Correction). En la capa de empaquetamiento tiene un código convolucional llamado "RS- CRC" (Reed- Solomon Cyclic Redundancy Check), y en la capa física se tiene un código convolucional concatenado llamado "SCCC" (Serial Concatenated Convolutional Coder). Además a diferencia del estándar fijo (A/53), los paquetes de audio y vídeo previamente comprimidos se encapsulan usando protocolo de IP, esto quiere decir que si comparáramos con el llamado "Modelo OSI" a nivel de capa de red y de transporte se utiliza IPv4 [5]. La metodología de transporte basada en IP permite una fácil integración de los servicios en tiempo real y no-real. También ofrece soporte de flujos de programa múltiples en cada canal M/H.

1.2.1. Descripción del estándar y diferencias con el estándar fijo

El sistema de transmisión de ATSC-M/H debe funcionar en conjunto con el sistema ATSC original diseñado para recepción fija estándar (A/53). La gran diferencia entre el estándar A/53 y el A/153 (ATSC-M/H) es que éste último debe ser capaz de soportar el ambiente de fading y el efecto Doppler que existen en un sistema de comunicación móvil. La solución a este problema es la base de las modificaciones que se diseñaron para el sistema de televisión digital móvil ATSC-M/H. En la Figura 1.5 se puede observar el diagrama de bloques del sistema de radiodifusión ATSC y el sistema ATSC-M/H.

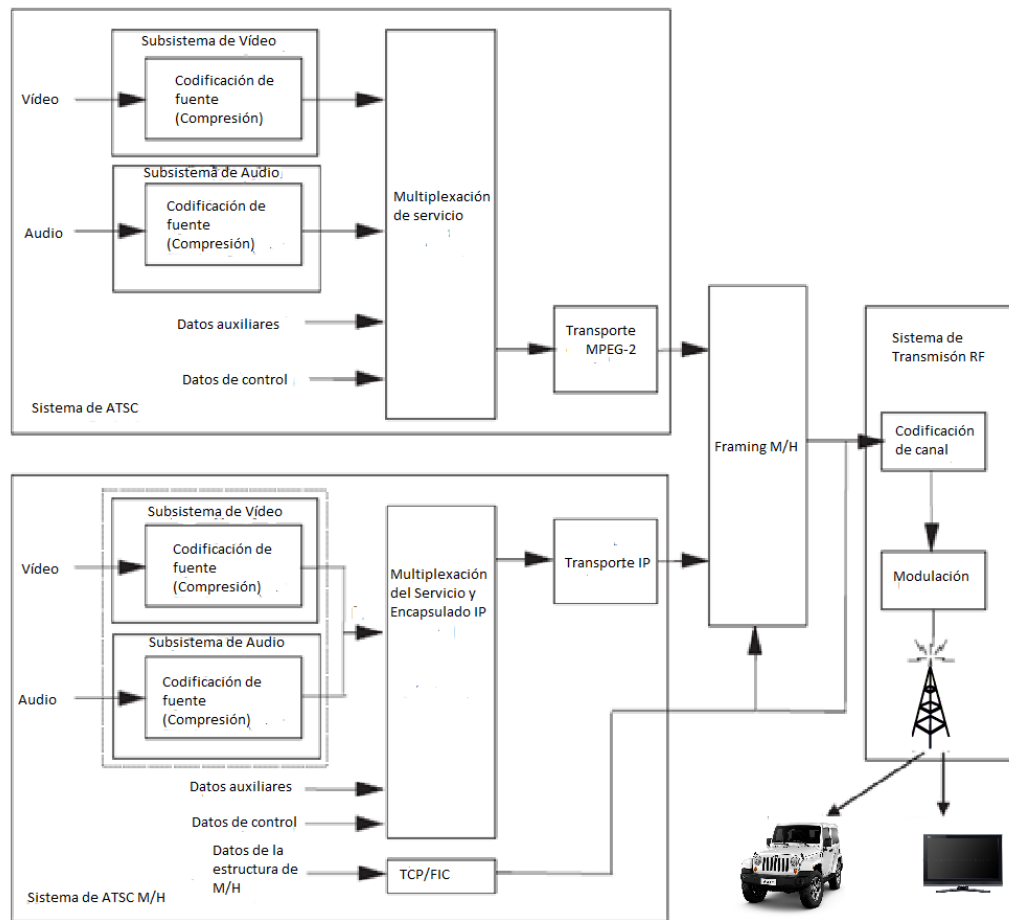


Figura 1.5 Sistema de Radiodifusión ATSC con el sistema ATSC-M/H

Otro aspecto que vale la pena resaltar, es que una vez comprimida y codificada, la información correspondiente a ATSC-M/H es encapsulada con el protocolo IP, para futuras evoluciones del sistema en donde se prevé la posibilidad de establecer canales de retorno con los televidentes, para servicios de interacción y comerciales.

En la Figura 1.6, nos muestra que la tecnología de sistema ATSC-M/H se compone de las siguientes tres capas:

- **Capa física.** Involucra todo lo que tiene que ver con la adquisición de los bits de la estación en los dispositivos móviles y portátiles.
- **Capa de gestión.** Incluye información de señalización y aviso sobre servicios, sistemas de acceso condicional, gestión digital de los derechos y la guía electrónica de los servicios.
- **Capa de presentación.** Incluye la codificación de audio y video, subtítulos y aplicaciones interactivas.

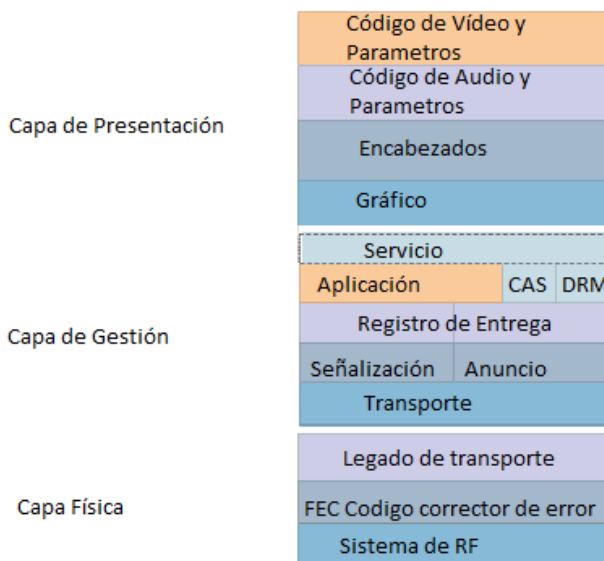


Figura 1.6 Estructura de capas ATSC-M/H [9]

La trama de M/H se compone de 5 subtramas consecutivas, respectivamente numeradas como 0, 1, 2, 3 y 4. Por lo tanto, cada subtrama contiene la misma cantidad de datos como tramas de datos 8-VSB. Cada subtrama se compondrá de 16 slots de M/H consecutivos, respectivamente numerados como 0, 1, 2, ..., 15. Cada slot de M/H se compondrá de 156 paquetes de TS o el equivalentemente a 156 segmentos de datos (a nivel de símbolo), o de forma equivalente a la mitad de un campo de datos VSB. La figura 1.7 muestra un esquema de la trama de M/H.

El slot de M/H es el período de tiempo básico para la multiplexación de datos M/H y de los datos principales. Después del pre-procesamiento M/H, los datos M/H tienen el formato de un grupo de 118 paquetes consecutivos llamados "MHE" que encapsulan los datos de servicio de M/H.

Un slot en particular puede contener datos de M/H, o puede consistir en sólo los datos de ATSC. La duración de un slot de M/H es de aproximadamente 12.1 ms, y la duración de una subtrama M/H es de aproximadamente 193,6 ms. La duración de una trama M/H es lo mismo que 20 tramas de datos VSB (es decir, aproximadamente 968ms) [5] [8].

Si un MHE se transmite durante un slot asignado a M/H, entonces los primeros 118 paquetes TS del slot serán un grupo de paquetes M/H, y los 38 paquetes restantes serán paquetes principales de TS. Si no hay un MHE en un slot asignado para M/H, el slot M/H estará compuesto por 156 paquetes principales de TS.

Otra característica del estándar de televisión móvil o portátil es que está pensado para transmisión de video de baja resolución, esto se debe a que se pretende que los receptores de esta tecnología tengan pantallas pequeñas por lo cual no se necesita una resolución alta, gracias a esto es más fácil poder montar la señal de ATSC M/H en una señal de ATSC convencional [5].

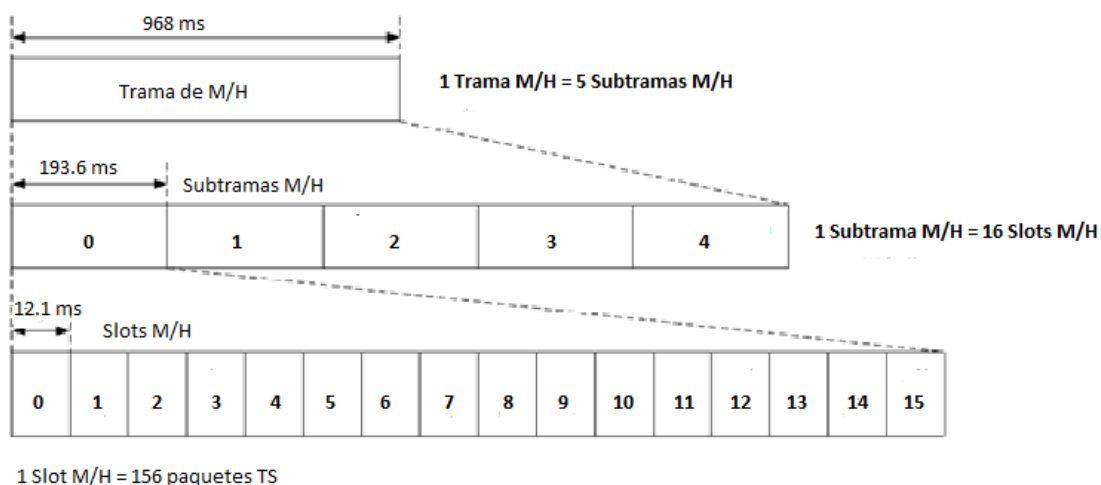


Figura 1.7 Trama M/H

Cuando se habla de receptores móviles se debe tomar en cuenta el ahorro de energía de los mismos, ya que estos no están permanentemente conectados a la energía eléctrica como una televisión normal. Pensando en esto, los ingenieros de ATSC diseñaron su sistema móvil para que los receptores móviles obtengan la señal de DTV en forma de ráfagas y no como un flujo continuo de datos. Los receptores obtienen los paquetes de audio y video de manera aislada, los almacenan y ellos se encargan de juntarlos y presentarlos en pantalla. De esta manera se logra un ahorro de energía en los dispositivos móviles [9].

Hay tres componentes de hardware que se deben añadir a la infraestructura actual de transmisión ATSC para que las estaciones puedan emitir señales de DTV móvil [9]:

- Codificador MPEG-4, su función es comprimir y codificar las señales de audio y video original con las codificaciones aceptadas por ATSC-M/H.
- Multiplexor ATSC-M/H, este equipo es el responsable de incorporar la información ATSC-M/H en el flujo de datos de ATSC.
- Excitador ATSC-M/H, el cual tiene la responsabilidad de hacer un procesado final de datos y llevar a cabo la modulación 8-VSB antes de la etapa de amplificación.

En la figura 1.8 se muestra los componentes que se deben agregar a un sistema de transmisión de ATSC para que transmita ATSC-M/H.

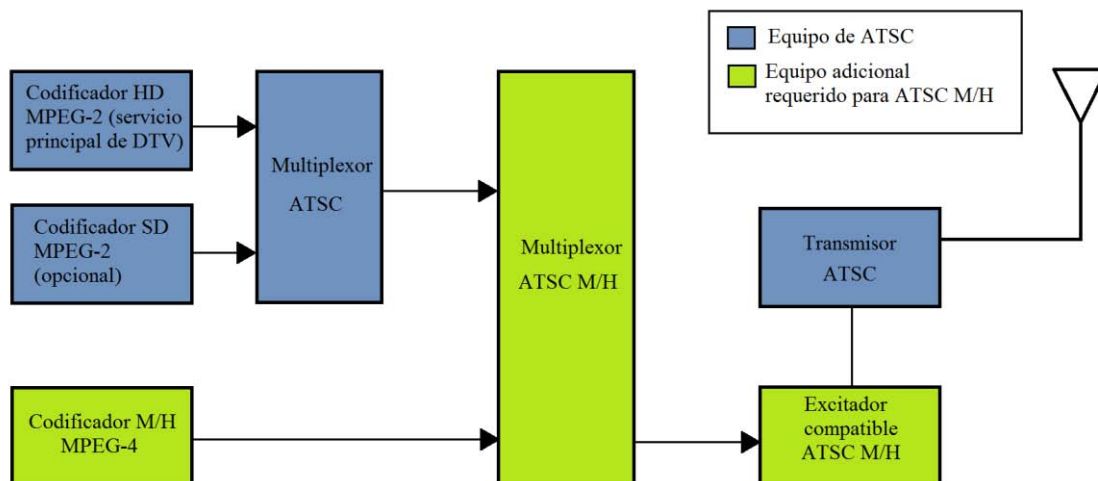


Figura 1.8 Diagrama del equipamiento de transmisión de ATSC M/H

1.2.2. Modos de transmisión

Como ya se mencionó antes existen muchas dificultades en la recepción móvil y portátil por lo que el sistema ATSC-M/H lo hace con la ayuda de tres características; los nuevos métodos de FEC, secuencias de entrenamiento para los receptores más largas y robusta señalización para los receptores móviles. De las tres características presentadas, la única con opciones de configuración es la primera. Las secuencias de entrenamiento y la señalización son características fijas.

En ATSC la secuencia de entrenamiento para los receptores se mandaba cada 312 segmentos de datos (832 símbolos). En el sistema ATSC-M/H la trama conserva la estructura básica original para asegurar la compatibilidad entre los dos esquemas, pero dentro de los segmentos de datos, se introducen las secuencias de entrenamiento para los receptores móviles cada 16 segmentos de datos, así como la señalización de ATSC-M/H. De esta manera, se brinda más ayuda para que los receptores móviles no se pierdan fácilmente en la captura de datos.

Con el objetivo de lograr un sistema robusto para la recepción móvil, se implementaron dos métodos de Forward Error Correction (FEC) en el sistema ATSC-M/H: El Reed-Solomon Cyclic Redundancy Check (RS-CRC) en la capa de paquete de datos y el Serial Concatenated Convolutional Coder (SCCC) en la capa física. Cambiando los parámetros de estos métodos de FEC se obtienen varias configuraciones de FEC y cada una de estas configuraciones tiene un impacto importante en qué tan robusto es el sistema, pero también en la tasa de transmisión de la señal de ATSC-M/H. Una señal muy robusta resulta con una gran cobertura, pero va a requerir mayor ancho de banda. Ya que el ancho de banda se comparte entre el sistema ATSC-M/H y ATSC (servicio principal), demasiado ancho de banda para ATSC-M/H se traduce en menos ancho de banda para el sistema de recepción fija ATSC, que afecta a la calidad de la señal de televisión transmitida o limita el número de servicios para recepción fija [9].

En la tabla 1.1 se puede observar una comparación entre los FEC de ATSC y ATSC-M/H

Tabla 1.1 Comparación de FEC entre ATSC y ATSC-M/H

Capa	A/53	A/153
Capa Física	Codificación de Trellis $\frac{2}{3}$ para la modulación 8-VSB	Turbo-Código, Trellis $\frac{2}{3}$ y Serial Concatenated Convolutional Code (SCCC)
Capa de paquetes de datos	Reed-Solomon (RS)	Reed-Solomon y Cyclic Redundancy Check (RS-CRC)

La codificación Reed-Solomon combinada con el CRC tiene la capacidad de corregir un número de errores mayor de lo que corrige Reed-Solomon por sí solo. El estándar A/153 acepta 24, 36 o 48 bytes de redundancia correspondientes a Reed-Solomon y CRC por cada 187 bytes de información. En el estándar A/53, se permiten solamente 20 bytes por cada 187 bytes de información. Por otro lado el Turbo-Código SCCC resulta de la combinación del codificador de Trellis de ATSC, cuya tasa es $\frac{2}{3}$, con un nuevo codificador convolucional que puede ser configurado a una tasa de $\frac{1}{2}$ (Half, H) ó $\frac{1}{4}$ (Quart, Q). Los bytes de redundancia de cada uno de estos codificadores se separan por largas secuencias de interleaving para evitar ráfagas de errores [5] [9].

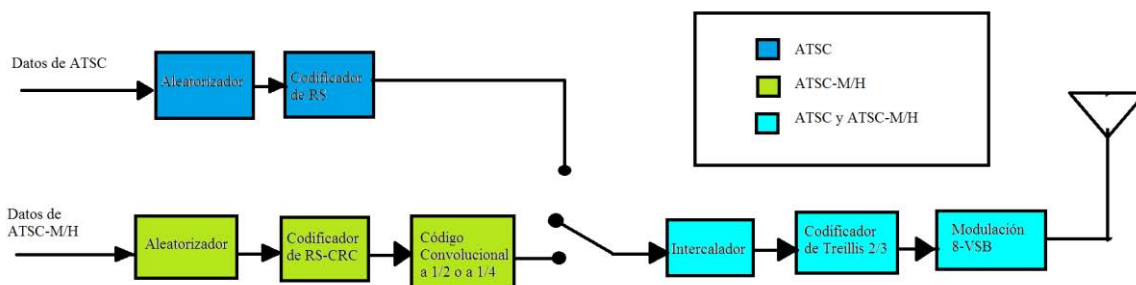


Figura 1.9 Configuración de FEC en un sistema ATSC-M/H

Los segmentos de la señal que transportan información de ATSC-M/H se pueden dividir en cuatro regiones dependiendo de la importancia que tiene la información que llevan. Estas regiones se denominan A, B, C y D, donde la región A es la más protegida, seguida por la región B y así sucesivamente [5]. Cada una de estas regiones puede ser codificada con el codificador SCCC funcionando a una tasa de $\frac{1}{4}$ (Q) o $\frac{1}{2}$ (H). Si trabaja a $\frac{1}{4}$ el codificador genera 4 bits por uno de entrada, es decir, el flujo de información resultante es cuatro veces más grande, obviamente la señal se vuelve más robusta que en el caso de que trabajara con una codificación de $\frac{1}{2}$, pero va a usar más ancho de banda del canal. Cambiando los parámetros del RS-CRC y el SCCC se obtienen diferentes configuraciones con más o menos robustez, usando más o menos ancho de banda.

Un ejemplo de configuración es una configuración de FEC que en este documento se llamará HQQQ RS 24, la cual indica que la región A se codifica con una tasa del codificador SCCC $\frac{1}{2}$, la región B a una tasa de $\frac{1}{4}$, así como las regiones C y D; manteniendo una redundancia de 24 bytes producto de la codificación Reed-Solomon y CRC por cada 187 bytes de información.

Para que la señal modulada en 8-VSB se ajuste al ancho de banda de canal de 6 MHz, se debe tener una tasa de transmisión máxima de 19.39 Mbps. De esta tasa de datos se puede asignar una porción a ATSC y otra a ATSC M/H, la porción que se le asigna a cada una de estas dos opciones depende del radiodifusor y sus intereses. En México es obligatorio transmitir la señal ATSC y optativo ATSC-M/H. En la tabla 1.2, se presentan ejemplos típicos de tasas de datos de video y audio de diferentes niveles de calidad para el estándar ATSC M/H.

Tabla 1.2 Diferentes tasas de transmisión para programas de ATSC-M/H [9]

	Tasa de datos de Video (kbps) H.264	Tasa de datos de Audio (kbps) HE ACC v2	Otros datos (kbps), por ejemplo guía de servicios	Tasa de Información Total
Calidad Alta	500	56	100	656
Calidad Media	400	32	100	532
Calidad Baja	300	18	100	418

Una trama de ATSC-M/H dura 968 ms, que corresponde aproximadamente a 19.39 Mbps, la trama es dividida en 5 sub-tramas (véase 1.2.1) y cada una puede cargar aproximadamente 3.754 Mb, la duración de cada de subtrama es de 193.6 ms. Cada sub-trama se divide en 16 slots que pueden contener información de ATSC o ATSC-M/H. Entonces una trama completa se compone de 80 slots, pero en realidad se tiene 5 grupos de 16 slots, ya que si se refiere al slot 0, se refiere al primer slot de la sub-trama 0, la sub-trama 1 y así hasta la sub-trama 4. Debido a la calidad que debe mantener las transmisiones de ATSC, un máximo de 8 grupos de slots pueden utilizarse para un programa de ATSC-M/H [5].

Con lo descrito anteriormente y con la tabla 1.2 es posible hacer diversas combinaciones. Por ejemplo, se puede transmitir dos programas de alta calidad y uno de calidad baja, de esta manera se generaría una tasa total de $656 \text{ Kbps} + 656 \text{ Kbps} + 418 \text{ Kbps} = 1730 \text{ Kbps}$.

Cada slot tiene una capacidad útil de 917 kbps que puede ser utilizada por ATSC o ATSC-M/H. Si se tiene un programa que genera de 200 a 800 kbps, un solo slot es suficiente para transportar la información. Sin embargo, no se estaría tomando en cuenta la información redundante de corrección de errores para hacer que la señal sea robusta. El radiodifusor debe asignar suficientes slots para transportar la información de audio y video, así como la de FEC.

En el estándar A/153 se recomienda que de los 19.39 Mbps, al menos 13.5 Mbps se asigne al servicio ATSC, puesto que si se le asigna menor ancho de banda, se percibe la degradación de la señal. Por esta razón, en realidad la información de ATSC-M/H solo puede ocupar hasta 6 slots [5]. En el estándar A/153 en la parte 2, explica que la forma de calcular la Eficiencia de una codificación FEC es la que se muestra en la siguiente ecuación:

$$Eficiencia = \frac{Tasa\ de\ Información\ (Kbps)}{Tasa\ Total\ con\ FEC\ (Mbps)} \times 100$$

En la tabla 1.3 se muestran algunas configuraciones FEC con sus respectivas eficiencias según sea el caso todas utilizando una codificación RS de 48.

Tabla 1.3 Eficiencia del FEC

SCCC Outer Code Rate (for each Group Region)				RS	Tasa de Información (Kbps)	Tasa Total (Mbps)	Eficiencia (%)	Slots M/H
A	B	C	D					
1/2	1/2	1/2	1/2	48	312.2	0.917	34.04	1
					629.1	1.834	34.3	2
					945.9	2.750	34.39	3
					1262.8	3.667	34.43	4
					1578.1	4.584	34.42	5
					1894.9	5.501	34.44	6
					2211.8	6.418	34.46	7
					2528.7	7.334	34.47	8
1/2	1/2	1/2	1/4	48	304.5	0.917	33.2	1
					612.5	1.834	33.39	2
					921.2	2.750	33.49	3
					1228.8	3.667	33.5	4
					1537.9	4.584	33.54	5
					1845.5	5.501	33.54	6
					2153.1	6.418	33.54	7
					2462.2	7.334	33.57	8
1/2	1/2	1/4	1/4	48	279.8	0.917	30.51	1
					564.2	1.834	30.76	2
					848.6	2.750	30.85	3
					1131.4	3.667	30.85	4
					1415.8	4.584	30.88	5
					1700.2	5.501	30.9	6
					1983.0	6.418	30.89	7
					2267.4	7.334	30.91	8
1/2	1/4	1/4	1/4	48	239.6	0.917	26.12	1
					483.8	1.834	26.37	2
					728.0	2.750	26.47	3
					970.7	3.667	26.47	4
					1214.9	4.584	26.5	5
					1459.1	5.501	26.52	6
					1703.3	6.418	26.53	7
					1946.0	7.334	26.23	8
1/4	1/4	1/4	1/4	48	154.6	0.917	16.85	1
					312.2	1.834	17.02	2
					471.4	2.750	17.14	3
					629.1	3.667	17.15	4
					786.7	4.584	17.16	5
					945.5	5.501	17.18	6
					1103.6	6.418	17.19	7
					1262.8	7.334	17.21	8

En la figura 1.10 en color rojo se muestra la tasa de bits disponibles para la información de ATSC-M/H y dependiendo de la configuración de FEC utilizada se observa la cantidad de Slots que ocuparía una señal ATSC-M/H insertada en una señal ATSC. De la misma manera se observa como en cuestión de espacio ocupado es más notable el efecto de la codificación SCCC que la de RS.

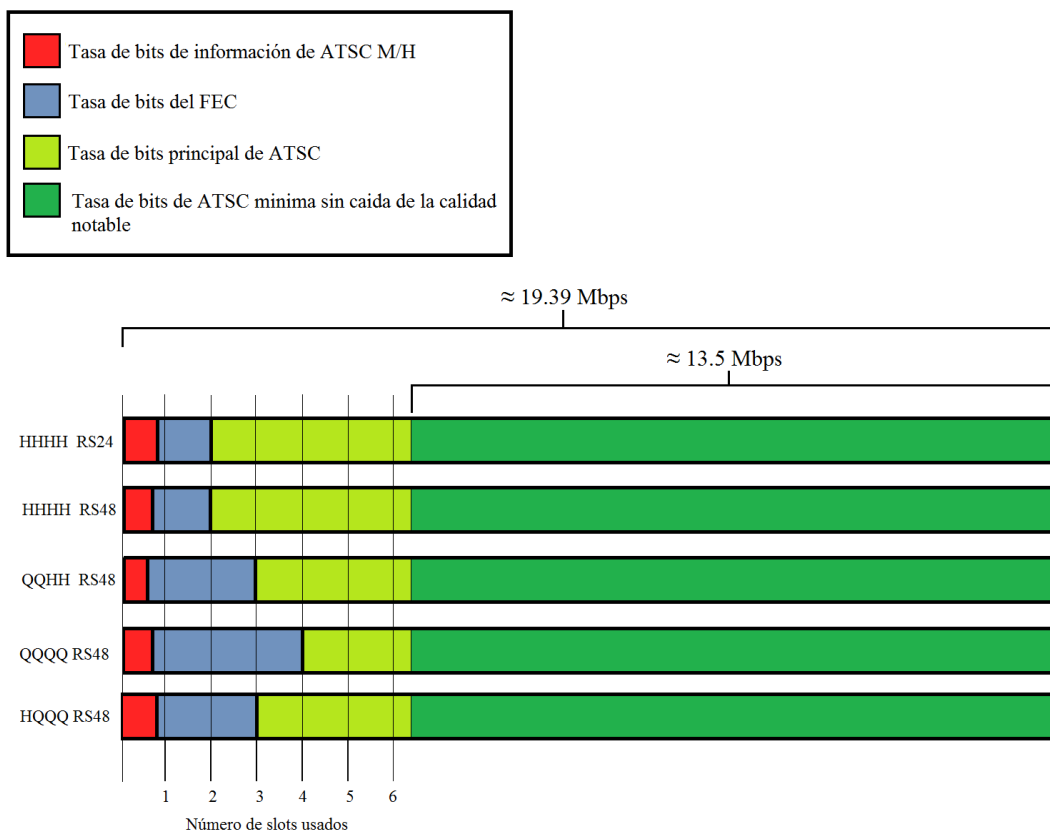


Figura 1.10 Cantidad de Slots que ocuparía una señal ATSC-M/H

En la figura 1.10 comparando los slots ocupados por la codificación QQQQ RS48 y HQQQ RS48 se puede observar que la codificación que se use en la región A es muy influyente con respecto a la eficiencia de la configuración FEC. Esto se debe a la forma en que están distribuidas las regiones en una trama ATSC-M/H. El estándar A/153 en su parte 2 sección 5.3.1.2 explica cómo se compone un grupo de datos [5]. Un grupo M/H consiste de 118 paquetes consecutivos de transport stream (TS), cada uno de ellos con una longitud de 207 bytes. Esto se muestra en la figura 1.11

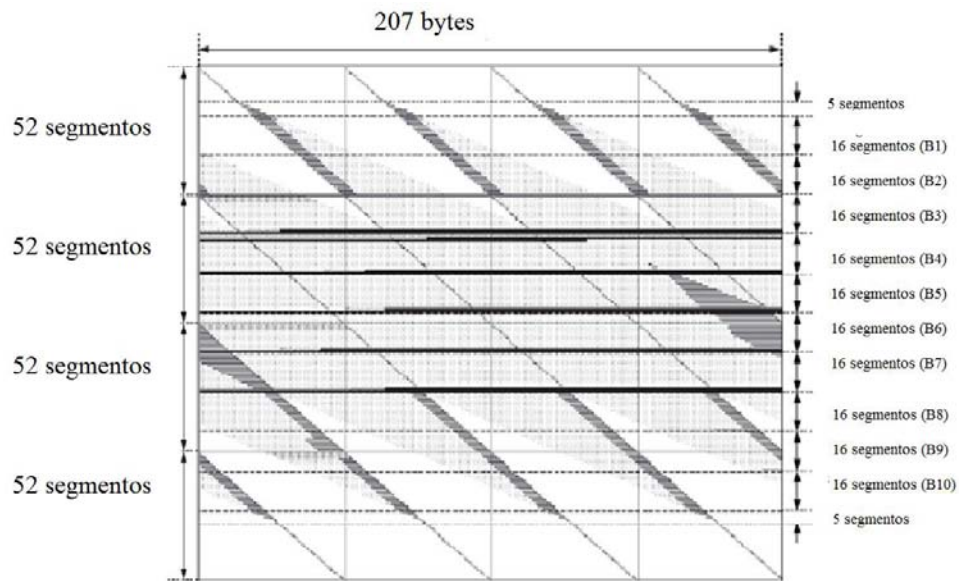


Figura 1.11 Segmentos de la señal ATSC-M/H

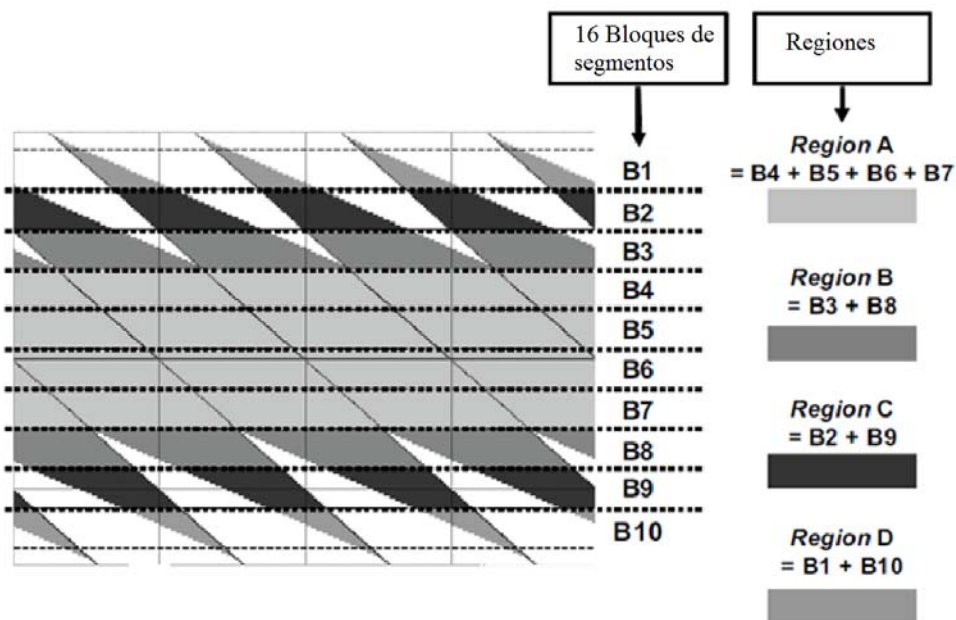


Figura 1.12 Regiones en una trama ATSC-M/H

Y de acuerdo a la información que transporta cada grupo, se pueden detectar áreas o zonas que son más o menos importantes para los receptores y que se pueden proteger más o menos. Entre más se protejan, aumenta la zona de cobertura pero también tiene un impacto importante en el ancho de banda que se ocupa. La distribución de las regiones se muestra en la figura 1.12

Los creadores de ATSC M/H dividieron a los grupos en las zonas A, B, C y D donde:

- La zona A se compone por los bloques B4, B5, B6 y B7.
- La zona B se compone por los bloques B3 y B8.
- La zona C se compone por los bloques B2 y B9.
- La zona D se compone por los bloques B1 y B10.

Entonces el radiodifusor puede elegir la configuración de FEC que más le convenga utilizando los criterios que se dan con el siguiente ejemplo:

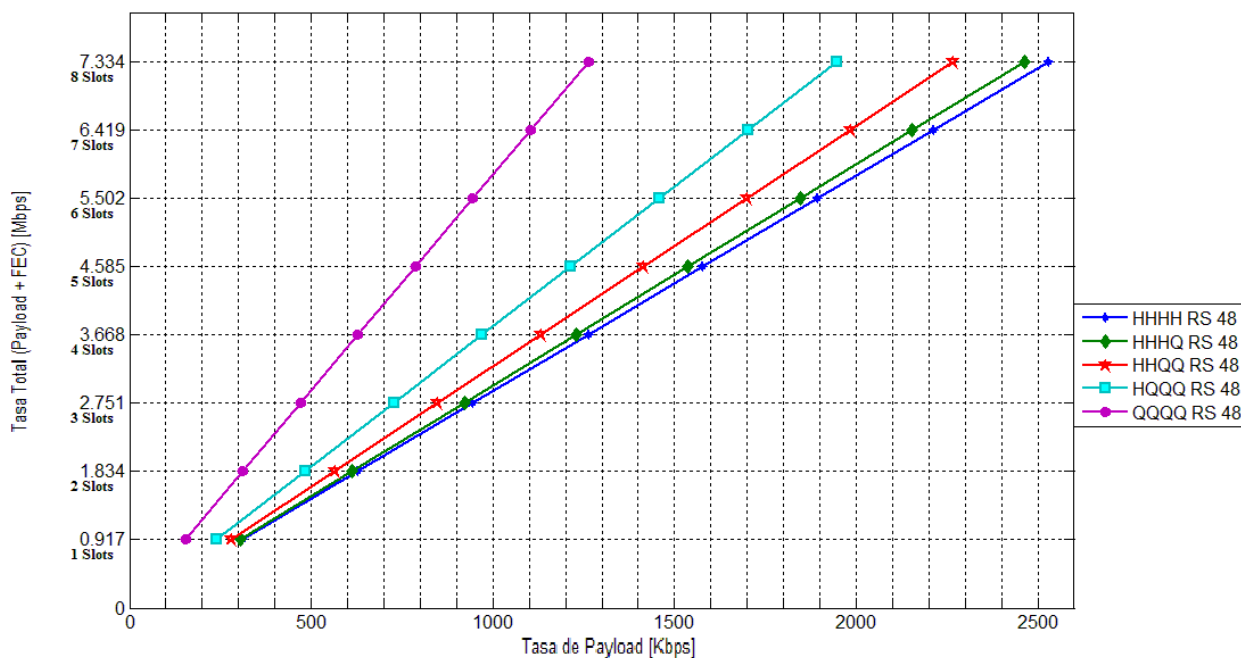


Figura 1.13 Tasa Total (Payload + FEC)

Se pretende transmitir un señal de ATSC de alta calidad (16 Mbps con su respectiva codificación) y una señal de ATSC-M/H de calidad media (535 Kbps), entonces:

$$Tasa\ de\ bits\ total\ de\ la\ señal = 19.39\ Mbps$$

$$Tasa\ de\ bits\ para\ señal\ ATSC = 16\ Mbps$$

$$Tasa\ de\ bit\ para\ M/H = 19.39Mbps - 16\ Mbps = 3.39\ Mbps$$

Se tiene 3.39 Mbps para transmitir la señal de ATSC-M/H, recordando que cada Slot tiene una capacidad de 917 Kbps se tiene que:

$$\#Slots = \frac{3.39\ Mbps}{0.917\ Mbps} = 369\ Slots$$

Como solo se pueden usar slots completos, se puede decir que solo se tiene un máximo de 3 slots para transmitir la señal de ATSC-M/H, tomando en cuenta el Payload (información) y su codificación de FEC.

Con ayuda de la figura 1.13, la cual se obtuvo de la tabla 1.3, se puede observar claramente los slots que ocuparía la señal, dependiendo la configuración de FEC elegida.

Recordando que el payload tiene una tasa de 535 Kbps, los resultados se presentan en la tabla 1.4

Tabla 1.4 Slots ocupados dependiendo del FEC elegido

Tasa de Payload (Kbps)	Configuración	FEC	Tasa total Payload + FEC (Mbps)	Slots ocupados
535	C1	HHHH RS 48	1.73	2
	C2	HHHQ RS 48	1.75	2
	C3	HHQQ RS 48	1.8	2
	C4	HQQQ RS 48	2.01	3
	C5	QQQQ RS 48	2.83	4

Como conclusión, se podría elegir solo las configuraciones de FEC que ocuparan máximo 3 slots debido a las condiciones que se tienen. Estas configuraciones son C1, C2, C3 y C4. La más robusta de ellas es la C4.

1.3. Redes en Frecuencia Única

Las Single Frequency Networks (SFN) o Redes en Frecuencia Única son un método de transmisión de señales de radiodifusión en la que se emplean dos o más transmisores con información idéntica transmitiendo a una misma frecuencia [10], a diferencia de las Redes MFN (Multiple Frequency Network) en la que tenemos una frecuencia diferente para cada transmisor continuo. Esto se puede apreciar en la figura 1.14

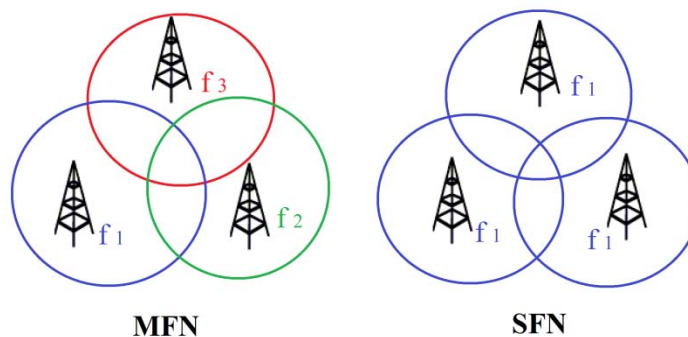


Figura 1.14 Tipos de Redes

En tabla 1.5 se muestran las ventajas y desventajas de usar una red SFN

Tabla 1.5 Ventajas y desventajas de una red SFN

Ventajas	Desventajas
Uso más eficiente del espectro radioeléctrico	Interferencia entre señales de los transmisores
Se provee una mejor recepción en interiores	Distancia limitada entre los transmisores
Niveles uniformes de la señal	Se necesita una sincronización de tiempo entre los transmisores de la red
Superar limitaciones del terreno	Debe existir una muy buena precisión en la frecuencia a transmitir

Como se muestra en la figura 1.15 las Redes SFN tienen el mismo efecto que el multitrayecto, el cual consiste en que el receptor recibe la misma señal proveniente de diferentes lugares esto puede ser debido a reflexiones múltiples de la señal, por esta razón las redes SFN se han implementado principalmente con sistemas digitales que utilizan modulación OFDM debido al intervalo de guarda, la distancia entre los transmisores de la red suele ser proporcional al intervalo de guarda. En cambio los sistemas digitales con modulación 8-VSB como es el caso de ATSC no tiene ese intervalo de guarda por lo cual la posibilidad de implementar una red SFN recae en el ecualizador del receptor, que con su procesamiento digital puede recuperar la señal aunque este muy dañada. Tomando en cuenta que comparada con una señal ATSC, una señal ATSC-M/H está más protegida contra el multitrayecto, se espera un mejor funcionamiento del estándar ante una red SFN.

En el estándar ATSC, existe el problema de que es la baja robustez frente al multitrayecto natural y al desplazamiento Doppler, lo cual dificulta la implementación de redes SFN. Como solución a este problema, se ha trabajado en el desarrollo de los ecualizadores de canal de los receptores ATSC, permitiendo así mejorar la capacidad de la relación de tiempo y amplitud entre la señal directa y los ecos que recibe el receptor [11] [12]. A su vez, ATSC estableció el estándar A/110 en el cual se define como sincronizar múltiples transmisores emitiendo la señal del estándar A/53 ó A/153 de ATSC [10]. Como ya se ha explicado, el estándar móvil ATSC-M/H, está mejor preparado para la recepción en una situación de multitrayecto y desplazamiento Doppler.

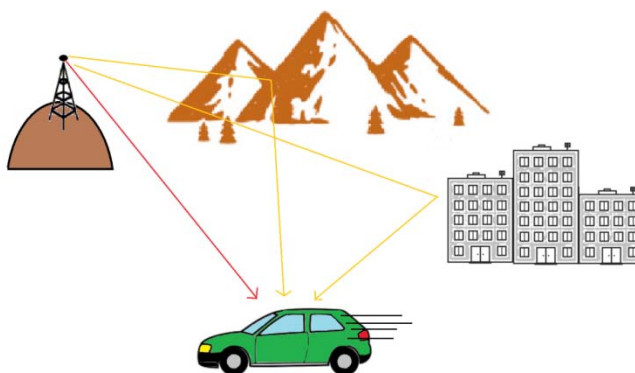


Figura 1.15 Una red SFN se puede comparar con el multitrayecto de una señal

1.4. Reporte de prueba de campo realizada con ATSC-M/H

Se han realizado diversas pruebas de laboratorio para probar el desempeño de los receptores del estándar A/53 en diferentes entornos de multitrayecto. Dentro de estas pruebas se han tomado condiciones de redes SFN en el canal. Sin embargo a pesar de que el estándar A/153 está vigente desde 2011, no se han realizado muchas pruebas. Por lo cual cabe destacar que los resultados obtenidos en esta tesis son importantes. A continuación se describe una prueba de campo importante realizada con el estándar A/153 (ATSC-M/H) de la cual se obtuvieron algunos lineamientos para el diseño de las pruebas de laboratorio de esta tesis.

En noviembre del 2012 en Toronto, Canadá se hizo una prueba de campo con el fin de evaluar el potencial del estándar ATSC-M/H en términos de cobertura. Las pruebas de campo se realizaron por la CBC Radio-Canadá. Estas pruebas demostraron que la protección por medio del RS-CRC fue una manera muy buena de mejorar la confiabilidad de las señales de ATSC-M/H con bajos requerimientos de ancho de banda. El SCCC también tiene gran impacto ya que mejora en gran medida la cobertura, pero en este caso, los requerimientos de ancho de banda sí son altos [9].

En concreto, los objetivos de las pruebas de campo y mediciones fueron:

- Evaluar el impacto de las configuraciones de la FEC en la cobertura.
- Identificar los mejores parámetros de los algoritmos de predicción utilizado herramientas de predicción de software para el análisis de la cobertura de televisión digital móvil.
- Recomendar configuraciones de FEC óptimas que cumplen con los requisitos de CBC / Radio-Canada para futuras instalaciones.
- Adquirir experiencia con esta nueva tecnología

En total, cuatro configuraciones diferentes de FEC fueron probadas durante las pruebas de campo. Mediante el análisis de las diferentes configuraciones, se hizo evidente que el codificador RS-CRC fue una gran manera de mejorar la fiabilidad de las señales de ATSC-M/H con bajos requisitos de ancho de banda. Muchos vacíos de cobertura fueron eliminados después de aumentar el RS-CRC de 24 bytes a 48 bytes. El codificador SCCC también tuvo un gran impacto en la mejora de la cobertura, pero el requisito de ancho de banda es mayor. Por lo tanto en el reporte de las pruebas se llegó a la conclusión de que el codificador RS-CRC siempre debe establecerse en 48 bytes, como primer paso, y luego el codificador SCCC se debe aumentar para mejorar aún más la cobertura.

Una conclusión a la que se llegó en el reporte de las pruebas de campo fue que la configuración de FEC QQQQ RS48 es, con mucho, la más robusta y fiable de las configuraciones probadas. Se concluyó que esta configuración tiene una cobertura muy buena para la recepción de vehículos en movimiento y peatones al aire libre, así también proporciona una penetración adecuada para la recepción en interiores. Mientras que la cobertura de la configuración HHHH RS48 es muy buena en vehículos en movimiento y peatones al aire libre, pero no funciona tan bien para la

recepción en el interior de lugares alejados de la emisora. Sin embargo, en el reporte de las pruebas de campo se menciona que la segunda configuración requiere la mitad del ancho de banda de la primera configuración.

Las pruebas de cobertura también dieron la oportunidad de encontrar un método adecuado para la planificación de la cobertura de las futuras instalaciones de televisión digital móvil.

Como conclusión general se tuvo que la mejor configuración de FEC utilizada fue QQQQ RS48 y la peor fue QQHH RS48. El efecto de la codificación se observó al comparar las configuraciones HHHH RS24 y HHHH RS48. Recordando que los slots de ancho de banda asignado a ATSC-M/H son múltiplos de 917 Kbps y se ocuparían la misma cantidad de slots usando cualquier de las configuraciones antes mencionadas por lo tanto en el reporte de las pruebas se concluyó que no hay escenario donde se debe utilizar HHHH RS24 en lugar de HHHH RS48. El RS-CRC siempre debe establecerse en 48 bytes [5].

Otro aspecto importante que se menciona en el reporte de las pruebas de campo es que antes de la campaña de medición, se esperaba que la configuración QQHH RS48 trabajaría bien, porque era un compromiso entre la eficiencia de la configuración HHHH RS48 y la robustez de la configuración QQQQ RS48. Los resultados fueron mucho peores de lo esperado; los resultados de la configuración QQHH RS48 fueron incluso peor que los de la configuración HHHH RS48.

Los ingenieros de CBC y Radio-Canada propusieron una hipótesis a este resultado

En primer lugar, con la configuración el QQHH RS48, a las regiones A y B [QQ] se les dan más protección que a las regiones C y D [HH]. Es un error, porque las regiones A y B ya están más protegidos que C y D. "Esto está estrechamente relacionado con la cobertura de secuencia piloto. La región A está bastante bien protegida por secuencia piloto, a continuación, las zonas B, C y D están menos protegidos por la secuencia piloto" [5]. Entonces en el reporte se propone que el caso recomendado para una codificación SCCC mixta debe ser HQQQ RS48.

2. Modelos de Canal Utilizados

Las técnicas de trazados de rayos han sido ampliamente utilizadas como una herramienta de simulación para el análisis, diseño y planificación de sistemas "wireless" tanto en celdas urbanas como picoceldas en interiores [13]. La importancia que se le otorga a este tipo de herramientas depende de la exactitud con la que sean capaces de predecir la propagación en entornos reales. Este capítulo contiene una descripción general de los modelos de canal y la importancia de simularlos en laboratorio para poder realizar diversos estudios. También se describe a detalle los modelos de canal que se van a utilizar para el proceso de evaluación en las pruebas los cuales están divididos en tres grupos; Modelos de canal para la recepción móvil y portátil en redes SFN, Modelos de canal para recepción móvil y Modelos de canal para recepción fija.

2.1. Propagación en comunicaciones móviles

La degradación de una señal transmitida es un proceso estocástico, que además del tiempo y del espacio también depende del entorno de propagación en que se encuentre. Dos de los entornos de propagación más importantes para todos los sistemas de comunicaciones móviles son las áreas urbanas y las rurales. Un modelo de propagación describe de forma matemática lo que le puede ocurrir a una señal de radiodifusión en diferentes entornos [14].

Por ejemplo, el principal problema de una recepción en exteriores en un área urbana con edificios muy altos es que el receptor móvil estará muy por debajo de la altura de los edificios de los alrededores, es decir no tendrá una línea de vista al transmisor. Como se muestra en la figura 2.1 la propagación estaría dada principalmente por la reflexión y difracción de la señal en la superficie de los edificios.

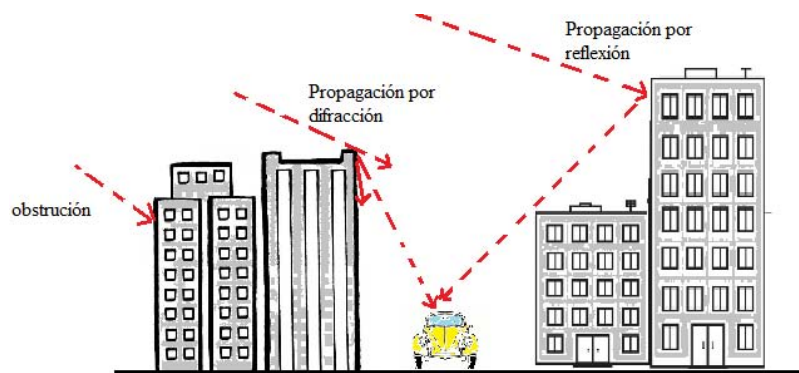


Figura 2.1 Entornos de propagación en área urbana

Como se observa en la figura 2.1 la misma señal llega varias veces de forma simultánea con diferentes niveles de potencia y con un cierto retardo con respecto a la primera señal que llega al receptor. Basta con que el receptor se mueva a una distancia corta para que el nivel de potencia que reciba cambie de magnitud hasta decenas de decibeles porque un pequeño movimiento cambia la relación de fase con la componente de la señal recibida. Las fluctuaciones de la señal son conocidas como fading (desvanecimiento). Las fluctuaciones cortas (rápidas) son causadas por las multitraectorias locales son conocidas como "fast fading" (desvanecimiento rápido) y las fluctuaciones de variaciones largas (lentas) en el promedio de la potencia de la señal son conocidas como "slow fading" (desvanecimiento lento) [14].

Capítulo 2. Modelos de Canal Utilizados

La propagación de la señal en áreas urbanas con edificios altos, es muy difícil de predecir, debido a los múltiples efectos causados por las sombras de los edificios. En estos casos, a veces los "paths" (rayos de la señal con diferente trayectoria) más intensos no son los que llegan de forma más directa. Los árboles y los edificios de las zonas urbanas provocan pérdidas en los paths (path loss). En estos casos la estimación de la recepción móvil de la señal se basa tomando en cuenta los siguientes factores en el área:

- Densidad de construcción (porcentaje del área cubierta por edificios)
- Tamaño del edificio (un promedio del área cubierta por un edificio)
- Altura del edificio
- Densidad de la vegetación
- Irregularidades del terreno

Otro ejemplo se da con los dispositivos portátiles, en los últimos años estos han ido incrementando su importancia cada vez más. Actualmente es muy común ir caminando dentro de un edificio y seguir recibiendo una buena señal. En este caso tenemos más variables a considerar para la predicción del efecto de multirayecto en la señal. Las condiciones de propagación se muestran en la figura 2.2. En estos casos la estimación de la recepción portátil de la señal se basa tomando en cuenta los siguientes factores:

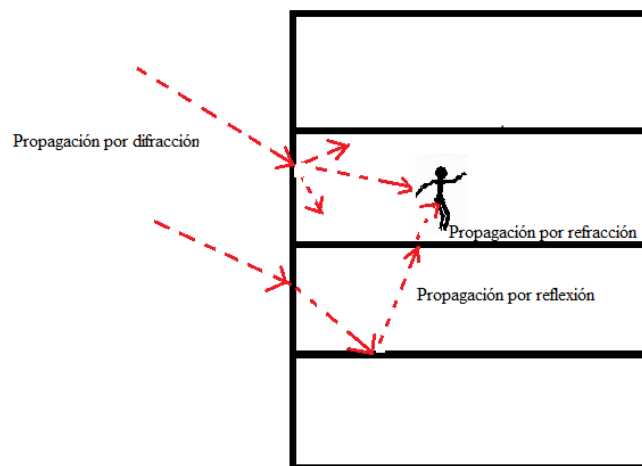


Figura 2.2 Entorno de propagación dentro de un edificio

- La distancia al transmisor, está se considerara en tres dimensiones, ya que la altura del receptor va a depender del piso del edificio en el que se encuentre.
- Se tiene una gran cantidad de obstáculos (edificios) que además están hechos de diferentes materiales
- Los pisos del edificio, las paredes, el techo y los muebles son factores a considerar para la predicción de la propagación de la señal

Por todas las consideraciones anteriores es difícil poder hacer una predicción en general de la propagación dentro de un edificio. Por eso es más común hacer una predicción general para cada habitación de un mismo edificio que una predicción para cada edificio de una área.

Otro caso muy común que existe en los entornos de propagación móvil es el caso de la propagación en un área rural. En un área rural el número de dispersiones es menor y la magnitud de cada path puede variar. En estos entornos suele haber una línea de vista al transmisor como se muestra en la figura 2.3

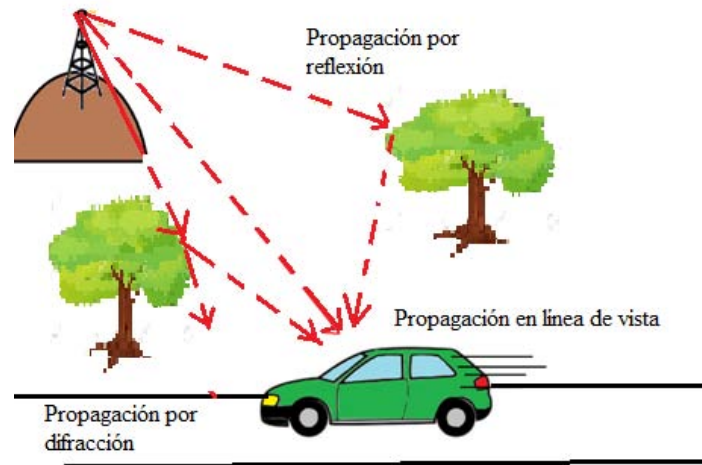


Figura 2.3 Propagación en área rural

En estos casos la estimación de la recepción móvil de la señal se basa tomando en cuenta los siguientes factores en el área:

- Densidad de construcción (porcentaje del área cubierta por casas, por lo regular es un porcentaje muy bajo)
- Densidad de la vegetación
- Irregularidades del terreno (montes, montañas, etc.)
- Distancia al transmisor

Debido a la complejidad que presenta cada entorno de propagación; se han desarrollado modelos de canal, los cuales simulan la recepción de una señal en diferentes entornos de propagación. Un modelo de canal por lo general consiste en un número determinado de paths o trayectos, con los cuales podemos representar el multitrayecto en una señal recibida de radiodifusión. Cada path se representa con una distribución de probabilidad, un nivel de potencia, un retardo y un desplazamiento Doppler, lo cual representa la simulación de un caso real en un entorno de multitrayecto.

En los siguientes subcapítulos se describen los ocho modelos de canal utilizados para la realización de las pruebas de laboratorio, los cuales se dividen en tres grupos dependiendo de sus características.

2.2. Modelos de canal para recepción fija

El primer grupo de modelos de canal representan la recepción fija. Debido a que el estándar A/153 es un estándar desarrollado para recepción móvil y portátil, se asume que funciona mucho

Capítulo 2. Modelos de Canal Utilizados

mejor para recepción fija que el estándar A/53 de ATSC. Estos modelos de canal se obtuvieron a partir de pruebas que realizaron en Brasil en interiores y exteriores de recepción fija. Para este estudio se seleccionaron los modelos de canal a continuación descritos.

Brasil A-6. Este entorno de propagación representa recepción fija en exteriores proveniente de un transmisor. Se simula una antena receptora en el exterior de una construcción la cual tiene línea de vista al transmisor [15]. En la tabla 2.1 se muestran los parámetros de simulación.

Tabla 2.1 Brasil A

Brasil A			
Ecos	Parámetros de Simulación		
	Atenuación [dB]	Retardo [μ s]	Distribución de Probabilidad
1	0.0	0.0	Gaussiana
2	13.8	0.15	Gaussiana
3	16.2	2.22	Gaussiana
4	14.9	3.05	Gaussiana
5	13.6	5.86	Gaussiana
6	16.4	5.93	Gaussiana

Brasil D-6. Este entorno de propagación representa recepción fija en interiores proveniente de un transmisor. Las condiciones que representa este tipo de canal es la de un receptor que se encuentra en el interior de una construcción y cuenta con una antena pequeña o de televisor [15]. En la tabla 2.2 se muestran los parámetros de simulación.

Tabla 2.2 Brasil D

Brasil D			
Ecos	Parámetros de Simulación		
	Atenuación [dB]	Retardo [μ s]	Distribución de Probabilidad
1	0.1	-5.71	Gaussiana
2	3.8	-5.23	Gaussiana
3	2.6	-3.64	Gaussiana
4	1.3	-2.81	Gaussiana
5	0.0	0.00	Gaussiana
6	2.8	0.07	Gaussiana

Al observar los valores de la tabla 2.1 y 2.2, si se compara la atenuación observamos que los ecos en el entorno de propagación de Brasil A están más atenuados por lo tanto representa un menor problema que el entorno de propagación de Brasil D, y la vez se observa que en cuestión de retardo son prácticamente iguales. También en la tabla 2.2 se deduce que en el entorno de propagación de Brasil D se tiene cuatro ecos en situación de pre-eco (llega adelantado con respecto a la señal con mayor potencia) y uno en post-eco (llega atrasado con respecto a la señal con mayor potencia) a diferencia del entorno de propagación de Brasil A, el cual muestra cinco situaciones de

Capítulo 2. Modelos de Canal Utilizados

post-eco. Con todo esto, se puede deducir que el entorno de propagación de Brasil D es más dañino y agresivo para la recepción de la señal ATSC-M/H. En las figuras 2.4 y 2.5 se muestra la respuesta impulsional del canal para cada entorno de propagación representado.

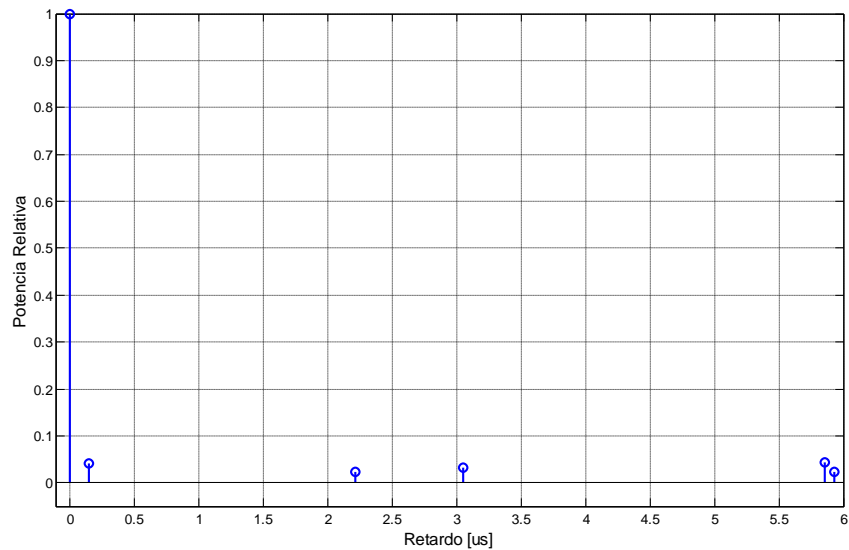


Figura 2.42.4 Canal de propagación Brasil A

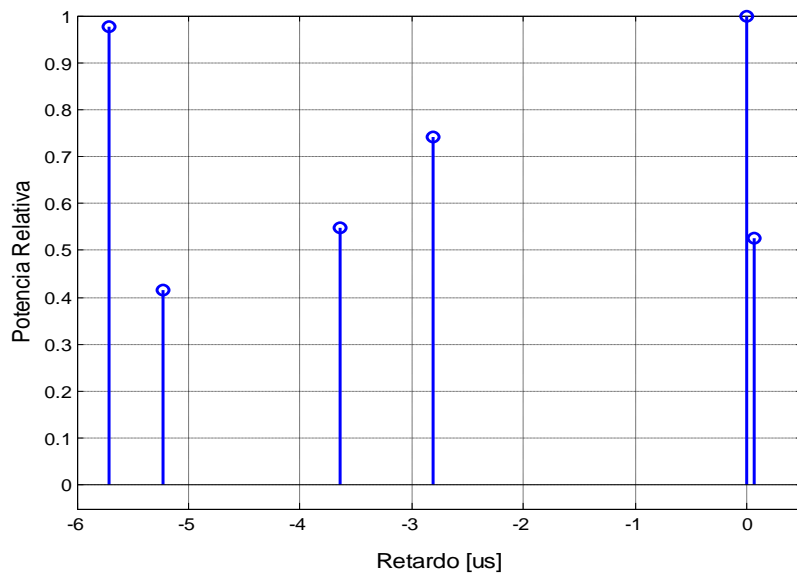


Figura 2.5 Canal de propagación Brasil D

2.3. Modelos de canal para recepción móvil

El segundo grupo de modelos de canal utilizados en las pruebas de laboratorio se basa en recepción móvil. Como se explicó anteriormente es muy importante la evaluación de la recepción móvil en entornos rurales y urbanos. A continuación se describen estos modelos de canal.

Rural Area (RA-6). Representa recepción móvil en una área rural sin montañas, a una velocidad de 120 km/h [16] [17]. Este entorno de propagación está representado por 6 ecos provenientes de un solo transmisor. En la tabla 2.3 se muestran los parámetros de simulación.

Tabla 2.3 Rural Area

Rural Area (120 km/h)			
Ecos	Parámetros de Simulación		
	Atenuación [dB]	Retardo [μ s]	Distribución de Probabilidad
1	0.0	0.0	Rice
2	4.0	0.1	Rayleigh
3	8.8	0.2	Rayleigh
4	12.0	0.3	Rayleigh
5	16.0	0.4	Rayleigh
6	20.0	0.5	Rayleigh

Typical Urban (TU-6). Representa recepción móvil en áreas urbanas no montañosas. Representa propagación terrestre en un área urbana. Se define en el COST 207 como un perfil típico urbano, a una velocidad de 50 km/h y 120 km/h [17] [18]. Este entorno de propagación está representado por 6 ecos provenientes de un solo transmisor. En la tabla 2.4 se muestran los parámetros de simulación.

Tabla 2.4 Typical Urban

Typical Urban (50 km/h y 120 km/h)			
Ecos	Parámetros de Simulación		
	Atenuación [dB]	Retardo [μ s]	Distribución de Probabilidad
1	3.0	-0.2	Rayleigh
2	0.0	0.0	Rayleigh
3	2.0	0.3	Rayleigh
4	6.0	1.4	Rayleigh
5	8.0	2.1	Rayleigh
6	10.0	4.8	Rayleigh

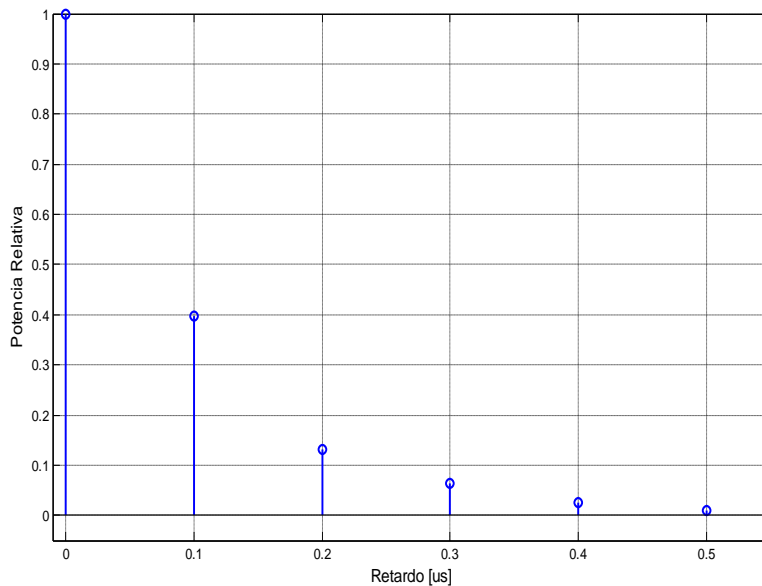


Figura 2.6 Canal de propagación Rural Area (120 km/h)

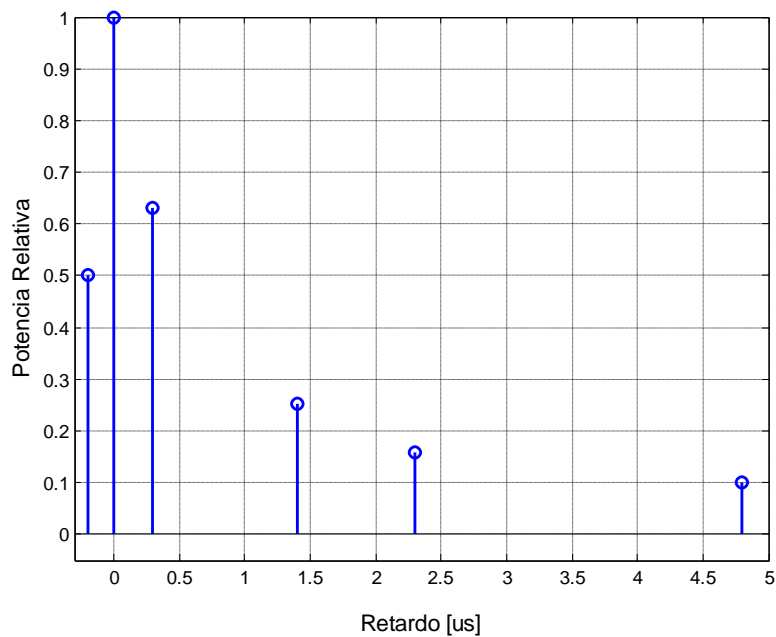


Figura 2.7 Canal de propagación Typical Urban (50 km/h y 120 km/h)

Observando la tabla 2.3, se puede deducir que el entorno de propagación RA-6 tiene línea de vista hacia el transmisor debido a la que el primer eco del transmisor tiene un espectro de Doppler con una distribución Rice, así también se observa que los ecos de este entorno tienen una gran atenuación con respecto al eco principal o de referencia (con mayor nivel de potencia) y tiene

muy poca dispersión en el tiempo. En la tabla 2.4, se tiene un entorno de propagación urbano TU-6 con amplia dispersión en retardo y una menor atenuación que el entorno RA-6, además se observa que en este entorno de propagación el eco principal no es el primero en llegar, sino que es el segundo por lo tanto es una situación de pre-eco en el entorno de propagación (esto se explica más adelante). Existen dos velocidades típicas para TU-6, 50 km/h y 120 km/h, esto permite comparar el efecto de la velocidad en un entorno de propagación móvil en la calidad de la recepción. En las figuras 2.6 y 2.7 se muestra la respuesta impulsional del canal para cada entorno de propagación representado.

2.4. Modelos de Canal para recepción móvil y portátil en redes SFN

El tercer grupo de modelos de canal se basa en el estudio de recepción móvil y portátil en una red SFN de dos transmisores, utilizando un estudio realizado para el funcionamiento e implementación de DVB-H (el estándar de televisión móvil y portátil utilizado en la Unión europea) dentro de redes SFN realizado por los colaboradores del proyecto WING-TV.

WING-TV es un proyecto realizado por fabricantes de equipamiento, operadores y universidades provenientes de ocho países europeos. En el reporte entregado por el proyecto se definen modelos de propagación de cuatro entornos diferentes que simulan las condiciones de recepción en la zona de solapamiento de una SFN de dos transmisores. Los canales definidos para estos cuatro entornos son: Pedestrian Indoor (PI 3 km/h) y Pedestrian Outdoor (PO 3 km/h) los cuales describen una recepción portable de movimientos lentos en interiores y exteriores de una área urbana. Vehicular Urban (VU 30 km/h), que es un entorno de propagación correspondiente a las medidas obtenidas en el centro de Turku en Finlandia (obviamente se trata de un entorno urbano para recepción móvil en un vehículo) y finalmente Motorway Rural (MR 100 km/h), entorno de propagación que se caracteriza por ser una recepción móvil en carreteras de áreas rurales [19]. Como ya se mencionó, estos entornos de propagación se utilizaron para diseñar los lineamientos del estándar DVB-H [20] por lo cual, al ser ATSC-M/H un estándar utilizado para el mismo tipo de recepción, se decidió que eran modelos adecuados para probar el desempeño de los receptores ATSC-M/H. A continuación se describe mas a detalle cada uno de estos modelos.

Pedestrian Indoor (PI). Este modelo simula una situación de recepción portátil cuando se va caminando en el interior de un edificio que se encuentra en la zona de traslape de dos transmisores en una red SFN, este entorno de recepción se caracteriza principalmente por la amplia presencia de obstáculos y gran multitrayecto, donde existe una amplia variación de la amplitud de la señal. La frecuencia Doppler considerada para el caso de recepción móvil en interiores corresponde a una velocidad de 3km/h. En la tabla 2.5 se muestran los parámetros de simulación. (número de trayectos o ecos y atenuación, retardo y espectro Doppler de cada trayecto)

Capítulo 2. Modelos de Canal Utilizados

Tabla 2.5 Parámetros de simulación Pedestrian Indoor

Pedestrian Indoor (3 km/h)			
Ecos	Parámetros de Simulación		
	Atenuación [dB]	Retardo [μ s]	Distribución de Probabilidad
1	0.0	0.0	Rayleigh
2	6.4	0.1	Gaussiana
3	10.4	0.2	Gaussiana
4	13.0	0.4	Gaussiana
5	13.3	0.6	Gaussiana
6	13.7	0.8	Gaussiana
7	16.2	1	Gaussiana
8	15.2	1.6	Gaussiana
9	14.9	8.1	Gaussiana
10	16.2	8.8	Gaussiana
11	11.1	9	Gaussiana
12	11.2	12	Gaussiana

Pedestrian Outdoor (PO). Existen muchas similitudes con el modelo de canal PI, ya que ambos modelos fueron desarrollados simultáneamente. La diferencia principal es que el modelo de canal *Pedestrian Outdoor* (PO) está basado en medidas de exteriores de recepción portátil en entornos urbanos. En este caso también la frecuencia Doppler se corresponde con una velocidad de 3km/h. En la tabla 2.6 se muestran los parámetros de simulación.

Tabla 2.6 Parámetros de simulación Pedestrian Outdoor

Pedestrian Outdoor (3 km/h)			
Ecos	Parámetros de Simulación		
	Atenuación [dB]	Retardo [μ s]	Distribución de Probabilidad
1	0.0	0.0	Rayleigh
2	1.5	0.2	Gaussiana
3	3.8	0.6	Gaussiana
4	7.3	1.0	Gaussiana
5	9.8	1.4	Gaussiana
6	13.3	1.8	Gaussiana
7	15.9	2.3	Gaussiana
8	20.6	3.4	Gaussiana
9	19.0	4.5	Gaussiana
10	17.7	5	Gaussiana
11	18.0	5.3	Gaussiana
12	19.3	5.7	Gaussiana

Vehicular Urban (VU). El modelo vehicular urban corresponde a medidas obtenidas en el centro de Turku Finlandia de recepción móvil en un vehículo, la velocidad del vehículo varía entre

Capítulo 2. Modelos de Canal Utilizados

30 y 40 km/h, en donde el trazado de las calles es regularmente cuadrículado rodeado de edificios de 5 pisos. En la tabla 2.7 se muestran los parámetros de simulación.

Tabla 2.7 Parámetros de simulación Vehicular Urban

Vehicular Urban (30 ó 40 km/h)			
Ecos	Parámetros de Simulación		
	Atenuación [dB]	Retardo [μ s]	Distribución de Probabilidad
1	0.0	0.0	Rayleigh
2	0.5	0.3	Rayleigh
3	1.0	0.8	Rayleigh
4	4.1	1.6	Rayleigh
5	8.8	2.6	Rayleigh
6	12.6	3.3	Rayleigh
7	18.6	4.8	Rayleigh
8	21.6	5.8	Rayleigh
9	24.6	7.2	Rayleigh
10	20.7	10.8	Rayleigh
11	18.2	11.8	Rayleigh
12	19.4	12.6	Rayleigh

Motorway Rural (MR). El modelo Motorway Rural se caracteriza por simular recepción en carreteras de cuatro carriles y una cantidad moderada de árboles, pocos edificios cercanos a la autopista, el tráfico moderado y con un límite de velocidad es de 100 km/h. En la tabla 2.8 se muestran los parámetros de simulación.

Tabla 2.8 Motorway Rural

Motorway Rural (100 km/h)			
Ecos	Parámetros de Simulación		
	Atenuación [dB]	Retardo [μ s]	Distribución de Probabilidad
1	0.0	0.0	Rice
2	1.3	0.5	Rayleigh
3	3.4	1.0	Rayleigh
4	6.8	1.8	Rayleigh
5	10.2	2.5	Rayleigh
6	12.9	3.1	Rayleigh
7	16.3	3.9	Rayleigh
8	19.5	4.8	Rayleigh
9	21.7	5.5	Rayleigh
10	23.3	6.4	Rayleigh
11	24.2	7.0	Rayleigh
12	25.8	9.0	Rayleigh

Capítulo 2. Modelos de Canal Utilizados

En las tablas 2.6, 2.7, 2.8 y 2.9 se muestra la configuración de cada modelo de canal, compuesto por 12 paths, donde la atenuación en dB representa la diferencia de potencias que existe entre una señal de referencia (la de mayor potencia) y cada uno de los ecos, mientras que el retardo nos representa el tiempo con el cual el eco llega antes (pre-eco) o después (pos-eco) que la señal de referencia.

Al comparar la atenuación de cada uno de los ecos en la tabla 2.6 y 2.7 podemos observar que en el entorno de propagación PO los últimos ecos tienen una mayor atenuación que en PI, por lo cual se podría decir que PI es un entorno de propagación más agresivo que PO, pero si se compara nuevamente estas tablas y observamos el retardo, se observa que los ecos en PO son ecos ubicados a poca distancia en tiempo comparados con los ecos en el entorno de PI, por lo tanto con la simple comparación de las tablas no se puede apreciar exactamente que entorno de propagación es más agresivo para una señal ATSC-M/H. En las figuras 2.8 y 2.9 se puede observar la respuesta impulsional del canal para los entornos de propagación PI y PO.

De igual forma si se compara las tablas 2.8 y 2.9 se puede observar que un entorno de propagación urbano es más agresivo que un entorno rural, ya que en el entorno VU se observan unos ecos menos atenuados del sexto al doceavo eco que en el modelo MR y además la separación de los ecos en el tiempo es similar, sin embargo el entorno de propagación VU se desenvuelve con una velocidad de 30 o 40 km/h, mientras que el entorno de propagación MR se desenvuelve con una velocidad de 100 km/h, pensando en que la frecuencia Doppler generada por cada una de las velocidades afecta de manera considerable a la señal ATSC-M/H. En la figura 2.10 y 2.11 se puede observar la respuesta impulsional del canal para los entornos de propagación VU y MR.

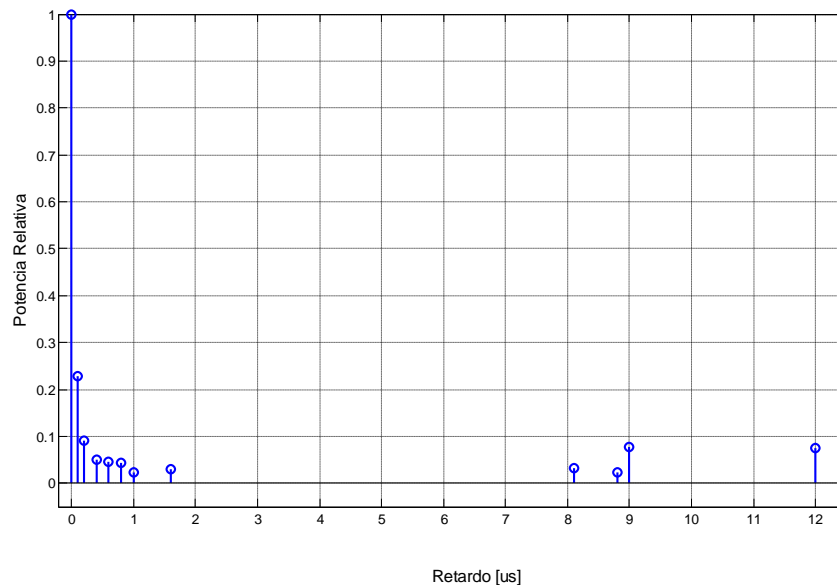


Figura 2.8 Canal de propagación Pedestrian Indoor en una red SFN (3 km/h)

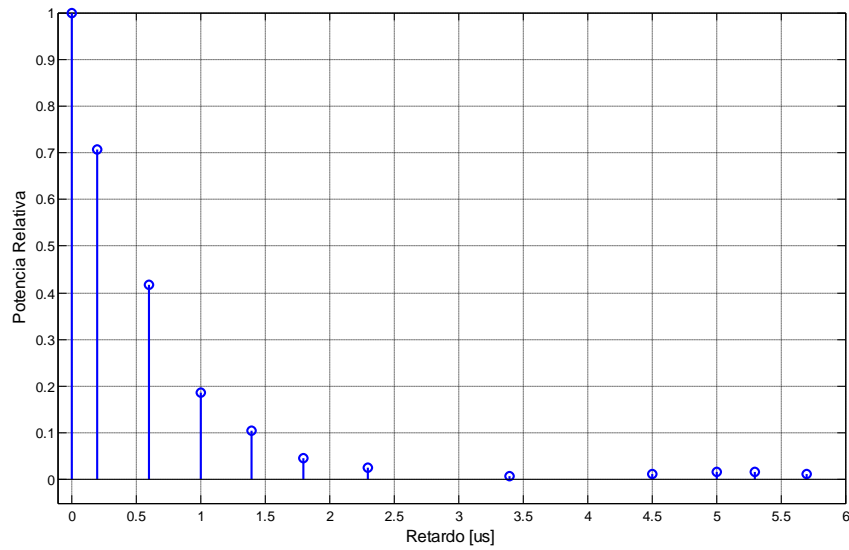


Figura 2.9 Canal de propagación Pedestrian Outdoor en una red SFN (3 km/h)

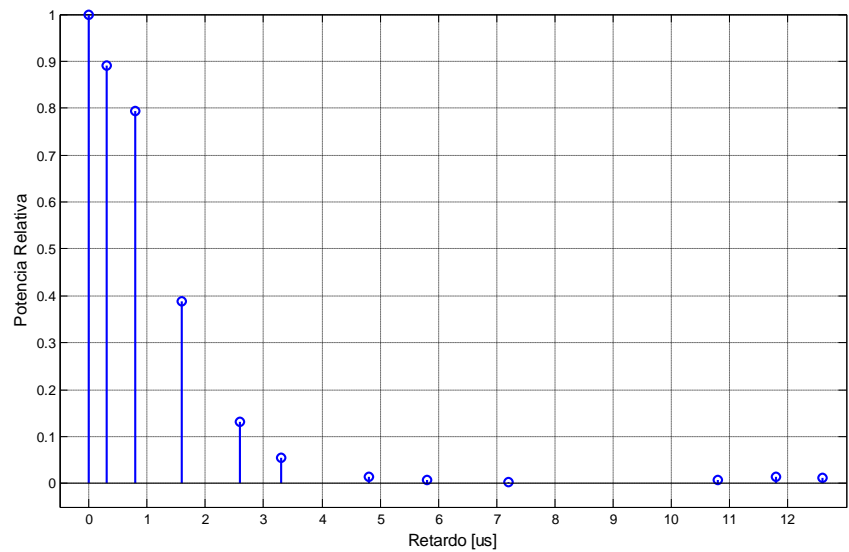


Figura 2.10 Canal de propagación Vehicular Urbano en una red SFN (30 km/h)

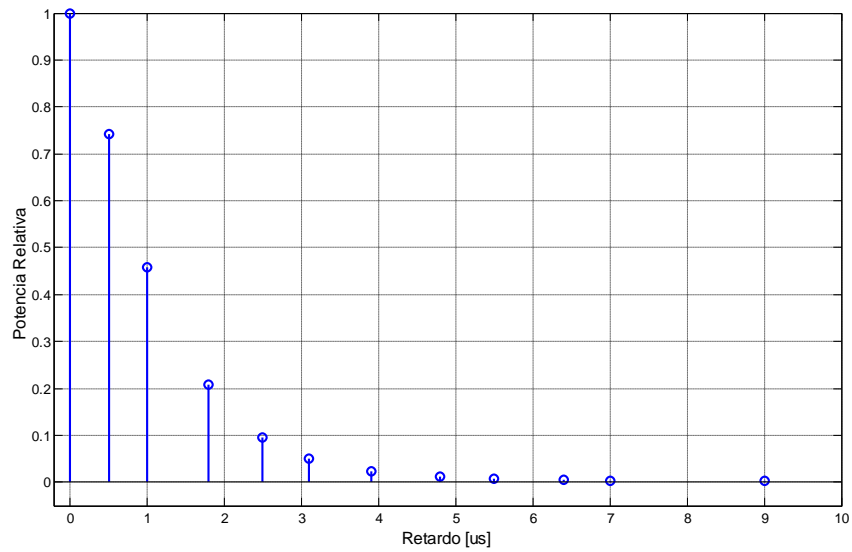


Figura 2.11 Canal de propagación Motorway Rural en una red SFN (100 km/h)

3. Diseño de las pruebas de laboratorio

En este capítulo se mencionan los objetivos generales y particulares de las pruebas de laboratorio, se habla de consideraciones previas como algunas recomendaciones del estándar ATSC, se describe la selección del equipamiento y se plantea la metodología y diseño de las pruebas de laboratorio. A pesar de que algunas pruebas están basadas en recomendaciones para el estándar fijo, las pruebas de esta tesis fueron diseñadas para probar únicamente el estándar móvil ATSC-M/H.

3.1. Objetivos de las pruebas de laboratorio

Los objetivos generales de las pruebas de laboratorio fueron evaluar el desempeño de diferentes receptores de ATSC-M/H para diferentes entornos y situaciones de propagación, evaluar el desempeño de los receptores en redes SFN con dos transmisores utilizando diferentes modelos de canal, así como poder estudiar los efectos de diferentes configuraciones de FEC en señales ATSC-M/H. Para ello se definieron los siguientes objetivos específicos:

- Recordando que los únicos parámetros configurables de una señal ATSC-M/H son las configuraciones de FEC, como objetivo se pretende evaluar los efectos de las codificaciones del RS-CRC y SCCC en el desempeño de los receptores
- Evaluar la degradación del umbral de la relación portadora a ruido (C/N) en diferentes modelos de canal de recepción móvil y portátil para las diferentes configuraciones de FEC.
- Evaluar el efecto en el desempeño de los receptores del eco estático para las diferentes configuraciones de FEC.
- Evaluar el desempeño de los receptores en un entorno de propagación móvil dentro de una red en frecuencia única (SFN) de dos transmisores para las diferentes configuraciones de FEC.
- Evaluar el desempeño de los receptores para recepción fija dentro de una red en frecuencia única (SFN) de dos transmisores para las diferentes configuraciones de FEC.

3.2. Consideraciones para la definición de las pruebas de laboratorio

Ya que se han realizado pocas pruebas de laboratorio para el estándar ATSC-M/H, para poder definir las pruebas de laboratorio se tomaron algunas consideraciones de las Recomendaciones A/74 [21] y A/54 [22], ya que a pesar de ser recomendaciones para el estándar fijo se asumió que ATSC-M/H debería por lo menos cumplir con estos requerimientos, esto es porque ATSC-M/H es una mejora del estándar ATSC. También se consideró la Recomendación A/174 [23], la cual es una recomendación para el estándar móvil.

3.2.1. Recomendaciones ATSC

El comité de ATSC ha generado algunas recomendaciones propias para el funcionamiento del estándar. Estas recomendaciones contienen ciertos criterios mínimos para la buena recepción de la señal.

Capítulo 3. Diseño de las pruebas de laboratorio

En el documento ATSC A/74; Recomendaciones del desempeño de los receptores [21] se dan a conocer los parámetros base de sensibilidad, solape de múltiples señales, selectividad y multitrayecto que un receptor debería poder cumplir para buena recepción de la señal ATSC.

De acuerdo con la Recomendación A/74, un receptor de televisión digital terrestre debe tener una sensibilidad en el rango de -83 dBm a -5 dBm para las bandas de frecuencia VHF y UHF. Otra recomendación importante de este documento es la respuesta que deben tener los receptores ante el multitrayecto. Este lineamiento comprende los valores mínimos que deben cumplir los receptores ante la presencia de un eco estático, este punto está relacionado con el comportamiento ideal de una red SFN de dos transmisores. En la recomendación A/74 se presenta una tabla con los valores que describe la magnitud de la respuesta impulsional de canal que por lo menos un receptor debería ser capaz de decodificar antes condiciones de eco estático o cuasiestático. En la tabla 3.1 se muestran los valores antes mencionados.

Tabla 3.1 Desempeño Recomendado de una receptor ante condiciones de eco estático

Retardo del eco [μs]	Amplitud [dB]
-40	-15
-30	-7
-20	-7
-15	-5
-10	-3
-5	-0.5
5	-0.5
10	-1
15	-1
20	-2
30	-3
40	-4
50	-15

Este desempeño se puede observar en la figura 3.1, la amplitud de la señal es una amplitud relativa conocida como D/E la cuál es la relación entre una señal que llega con mayor potencia, conocida como Directa (D) y una señal que llega con menor potencia en un tiempo distinto, conocida como Eco (E). La señal Directa es la referencia y la señal Eco presenta condiciones de pre-eco o post-eco, dependiendo si llega antes o después que la señal directa, estas condiciones se observan en el eje del Retardo de la gráfica representada. La gráfica nos delimita los valores mínimos que un receptor debería ser capaz de demodular, así que todos los valores que estén por debajo de la gráfica presentada deberán ser capaz de recibirse correctamente.

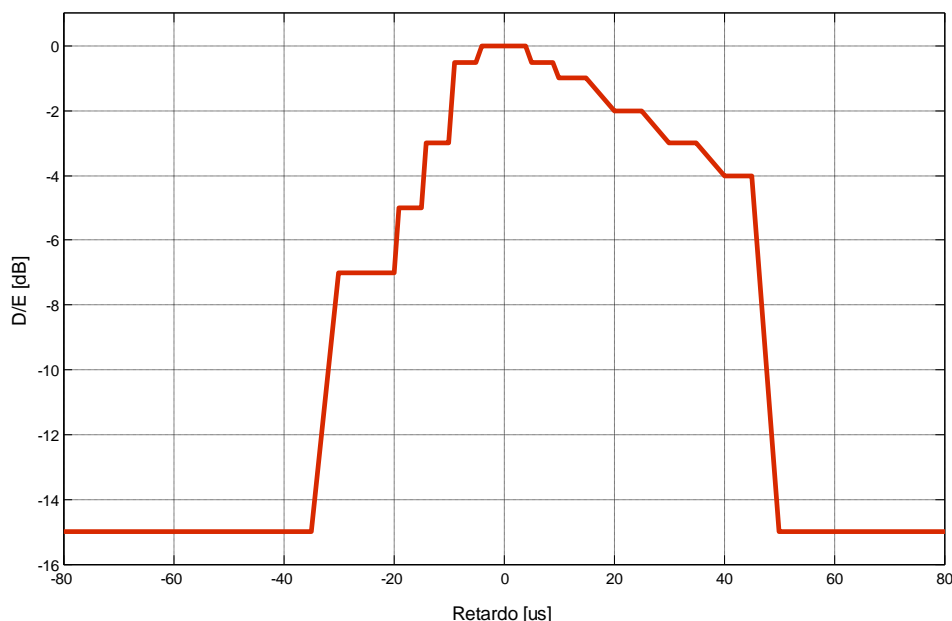


Figura 3.1 Desempeño Recomendado de una receptor ante condiciones de eco estático

Por otro lado, la Recomendación A/54 [22] establece una Relación Portadora a Ruido C/N de 14.9 dB como umbral de recepción de una señal ATSC. De esta forma un receptor de ATSC por lo menos debe ser capaz de desmodular una señal con una relación C/N mayor o igual a 14.9 dB.

Recalcando que las recomendaciones anteriores son basadas en el estándar fijo de ATSC, para el diseño de las pruebas de laboratorio de ATSC-M/H se asumió que los receptores deben de cumplir por lo menos estos requerimientos ya que finalmente se tienen grandes mejoras en la codificación de canal..

A su vez existe una recomendación específica para el estándar móvil y portátil que es la Recomendación A/174; Lineamientos del desempeño de la recepción móvil [23] en donde se habla de la sensibilidad y consideraciones de la antena, solape de múltiples señales, selectividad, multitrayecto y consideraciones respecto a redes SFN y MFN.

Con respecto al multitrayecto la recomendación dice que en una aplicación típica, el rendimiento de un dispositivo móvil está relacionada con las condiciones de recepción con respecto al multitrayecto. En general, existen diferencias en la respuesta del receptor ante el multitrayecto de acuerdo con sus alrededores y estos se han documentado en numerosos modelos de canal, por ejemplo, Typical Urban 6 (TU-6), Pedestrian Outdoor (PO), o Pedestrian Indoor (PI).

Esta recomendación menciona que además de medir el desempeño del receptor con estos modelos de canal, es muy importante medirlo ante los efectos de la frecuencia Doppler. Esta prueba consiste en someter al receptor a una sola señal sin multitrayecto, con una distribución de probabilidad Rayleigh, con la cual se debe evaluar la relación C/N variando la frecuencia Doppler de la señal. Como se muestra en la figura 3.2 se dice que existen dos frecuencias Doppler particularmente significativas para el desempeño del receptor, la primera es la frecuencia Doppler

Capitulo 3. Diseño de las pruebas de laboratorio

que genera un peatón, esta frecuencia Doppler dependerá de la frecuencia a la que se esté probando el receptor y se genera cuando un peatón va caminando con una velocidad constante de aproximadamente de 3 [km/h]. La segunda frecuencia Doppler importante es una denominada " $F_{d_{3dB}}$ ". Esta frecuencia se determina de la siguiente forma. Al ir aumentando la Frecuencia Doppler, después de haber pasado la velocidad peatonal, la respuesta de la relación C/N se estabiliza y alcanza un nivel mínimo y después empieza a crecer de nuevo, cuando el valor de la relación C/N sube 3 dB con respecto a ese mínimo se considera que es la frecuencia $F_{d_{3dB}}$.

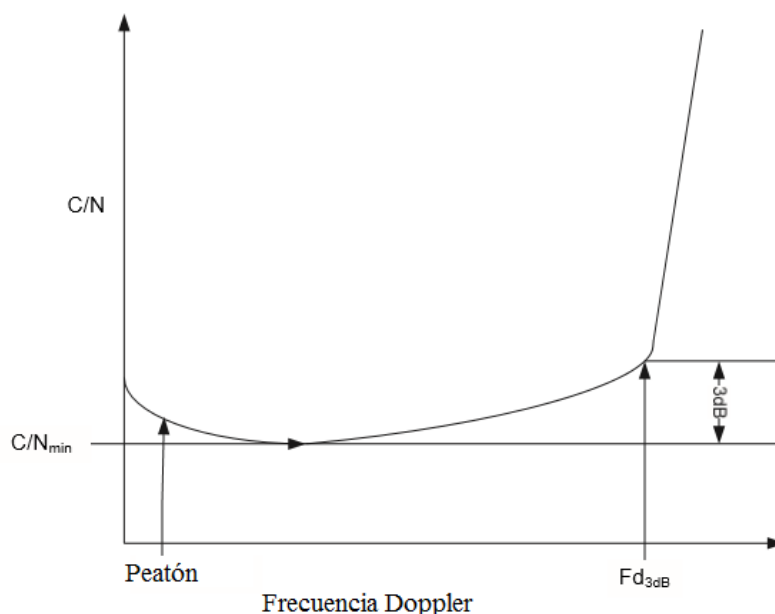


Figura 3.2 Evaluación del desempeño del receptor ante Frecuencia Doppler

Esta prueba varia sus resultados dependiendo el modo de transmisión y el receptor que se haya utilizado, en la recomendación viene un ejemplo de los valores obtenidos al probar dos diferentes receptores en esta situación, los valores obtenidos se muestran en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Ejemplo de resultados al evaluar la Frecuencia Doppler en dos receptores diferentes

Modos de Transmisión	Frecuencia Doppler [Hz]	C/N del Receptor 1	C/N del Receptor 2
QQQQ RS 48	2	17 dB	17 dB
	30	16 dB	16 dB
	75	16 dB	16 dB
HHHH RS 48	2	23 dB	23 dB
	30	23 dB	23 dB
	75	23 dB	23 dB
HQQQ RS 48	2	19 dB	19 dB
	30	18 dB	18 dB
	75	18 dB	18 dB

En la recomendación se recalca la importancia de la prueba anterior ya que se menciona que los receptores que fueron sometidos a esta prueba, así como a las pruebas de modelos móviles de canal (TU-6, PO y PI) incluso en situaciones de redes SNF denotan que el peor rendimiento de los receptores se obtuvo en condiciones de una sola señal Rayleigh, con los demás entornos de propagación se obtuvieron mejores resultados excepto cuando el tiempo relativo de los ecos era mayor que el rango de tolerancia del ecualizador del receptor.

3.2.2. Pruebas de laboratorio utilizando el estándar ATSC

La Facultad de Ingeniería como parte del proyecto REFUTV, realizó pruebas de laboratorio para evaluar el funcionamiento de los receptores ATSC con el estándar A/53, estas pruebas describen el funcionamiento básico de los receptores, así como su desempeño en entornos de recepción dentro de una red SFN [24] [25]. Estos resultados obtenidos dan un punto de referencia y comparación entre ambos estándares.

3.2.3. TOV

Otra consideración que se tuvo para la planeación de las pruebas de laboratorio es el umbral de visibilidad TOV (Threshold of Visibility), el cual es una medida subjetiva utilizada en la evaluación del desempeño de los receptores. Esta medición se define como el valor hasta el cual es capaz de demodular un receptor para la buena visibilidad de un usuario. Este valor se determina de manera objetiva en donde el observador encuentra dos errores por minuto al realizar las pruebas de recepción [26] [27].

3.3. Equipamiento

El equipamiento de las pruebas de laboratorio básicamente se conformó de un broadcast tester (generador de señales de radiodifusión), el cual genera una señal de ATSC-M/H que se recibe en un receptor comercial de ATSC-M/H. Algunos receptores necesitaron adicionalmente una pantalla para poder reproducir la señal demodulada. En la figura 3.3 se muestra el diagrama del equipamiento utilizado.

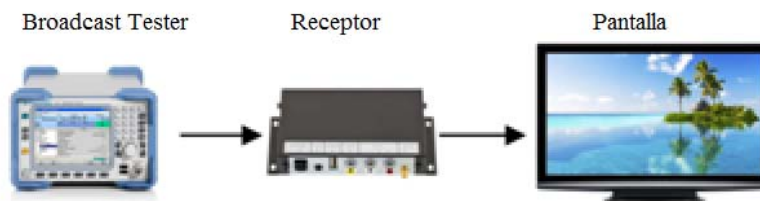


Figura 3.3 Diagrama del equipamiento utilizado

El broadcast Tester utilizado fue un equipo de Rohde & Schwarz llamado SFE, el cual permite variar el nivel de potencia y genera degradación de la señal utilizando el ruido AWGN o diferentes modelos de canal de transmisión [28] mediante simulación de canal. El SFE tuvo una impedancia de salida de 50Ω , así que en el caso de que algún receptor tuviera una impedancia de

entrada diferente, se usó un acoplador de impedancia y para el análisis de resultados las pérdidas por acoplamiento fueron tomadas en cuenta.

3.4. Selección de los receptores

Se utilizaron cinco receptores comerciales de ATSC-M/H para las pruebas de laboratorio. La selección de los receptores no se pudo basar en ningún estudio de calidad ya que no existe alguno actualmente. Esto llevó a que las características del receptor unido al costo del mismo fueran factores importantes de selección. Cabe mencionar que cada receptor fue de una marca diferente. En la tabla 3.3 se describen las principales características de los receptores.

Tabla 3.3 Características principales de los receptores seleccionados

Receptor	Principales Características		
	Descripción	Impedancia de Entrada	Costo USD
R1	Receptor USB. Se utiliza con una computadora y utiliza un software específico.	75 Ω	\$74.00
R2	Receptor para carro. Requiere de una pantalla adicional y cuenta con salidas RCA.	50 Ω	\$169.00
R3	Receptor para carro. Requiere de una pantalla adicional y cuenta con salidas RCA.	75 Ω	\$24.00
R4	Receptor SDR (Radio definido por software). Para uso exclusivo de iOS.	50 Ω	\$97.00
R5	Receptor SDR (Radio definido por software). Para uso exclusivo de iOS.	50 Ω	\$60.00

3.5. Selección de los modos de transmisión

Para algunas pruebas de laboratorio se utilizaron cinco diferentes configuraciones de FEC y en otras la muestra se redujo a tres. Estas configuraciones de FEC fueron seleccionadas basándose en los resultados obtenidos en la Recomendación A/174 de ATSC [23] (véase 3.2.1) y en las pruebas de campos realizadas por la CBC Radio-Canadá [9] (véase 1.4).

La selección de los modos de transmisión fue un factor importante para las pruebas de laboratorio ya que con estas configuraciones de FEC, se comparó los efectos en el desempeño de los receptores de las codificaciones de RS-CRC y SCCC. En la tabla 3.4 se muestran las configuraciones utilizadas. En la columna denominada SCCC la letra "Q" o "H" establece la tasa de codificación ($\frac{1}{4}$ ó $\frac{1}{2}$) en cada una de las regiones de la capa física de la señal ATSC-M/H. En la columna denominada RS-CRC establece los bytes de corrección por cada paquete de información.

Tabla 3.4 Configuraciones de FEC

Configuración de FEC	Descripción	
	SCCC	RS-CRC
C1	QQQQ	48
C2	HHHH	48
C3	HQQQ	48
C4	QQQQ	24
C5	HHHH	36

De esta forma, si se compara las configuraciones C1 y C2, se observarían los efectos que se tiene en el receptor al cambiar la codificación convolucional en todas las regiones de la capa física de la señal ATSC-MH. En cambio, cuando la configuración C1 es comparada con la C3, se podría comparar los efectos y la importancia que tiene la codificación convolucional en la región A. Así mismo al comparar las configuraciones C2 y C5 se observarían los efectos de cambiar un Reed Solomon de 48 bytes a uno de 36 bytes. Finalmente comparando la configuración C1 y la C4 se podría ver el efecto que se tiene al cambiar una codificación de Reed Solomon de 48 bytes a una de 24 bytes.

3.6. Pruebas de laboratorio

En la tabla 3.5 se muestra el listado de las pruebas de laboratorio diseñadas para evaluar los receptores ATSC-M/H. Tomando en cuenta las Recomendaciones de ATSC A/74 [21], A/54 [22] y A/174 [23], así como la selección de los modos de transmisión (véase 3.5), se diseñaron catorce pruebas de laboratorio las cuales se clasifican en cuatro grupos que se describen a continuación (En el Anexo A se puede ver más a detalle cada prueba):

- **Parámetros básicos de funcionamiento de los receptores**

Siguiendo las recomendaciones de ATSC se diseñaron cuatro pruebas, las cuales evalúan los parámetros básicos de funcionamiento del receptor, los objetivos de cada una se describen a continuación:

Sensibilidad. En esta prueba, se pretende encontrar el nivel de potencia mínima de la señal con la que el receptor es capaz de recibir. Teniendo en cuenta que el estándar A/153 es una mejora del estándar A/53, se supuso que un receptor ATSC-M/H no deberían presentar errores de -5 dBm a -83 dBm para las bandas de UHF y VHF [21]. La sensibilidad del receptor se determinó mediante la disminución de la potencia de la señal RF hasta alcanzar el TOV (véase A.1).

Umbral de C/N. El principal objetivo de esta prueba fue evaluar el desempeño de los receptores en condiciones de ruido y sin multitrayecto. En la Recomendación A/54 se establece que un receptor de ATSC por lo menos debería ser capaz de recibir correctamente la señal con una C/N igual o mayor a 14.9 dB [22] (véase A.2).

Eco estático. Esta prueba consistió en evaluar la capacidad de los receptores para recibir correctamente en condiciones de eco cuasiestáticas, a diferentes retrasos y amplitudes de eco. La

Capítulo 3. Diseño de las pruebas de laboratorio

Recomendación A/74 establece los valores mínimos requeridos [21] (véase 3.2.1). Esta prueba es una situación básica de multitrayecto y simula la recepción en una SFN ideal (véase A.3).

Frecuencia Doppler. La Recomendación A/174 establece la importancia de medir el desempeño de los receptores ante condiciones puras de Desplazamiento Doppler [23]. En esta prueba se evalúa a los receptores ante estas condiciones usando diferentes modos de transmisión (véase A.4).

- **Evaluación de los receptores en recepción fija**

Basados en las pruebas de laboratorio de la Facultad de Ingeniería, realizadas para evaluar el desempeño de los receptores ATSC, utilizando el estándar A/53 (el estándar fijo) [27] [28], se diseñaron tres pruebas, las cuales evalúan el desempeño de los receptores en recepción fija de tal forma que permita hacer una comparación con los resultados obtenidos con los receptores fijos, los objetivos de cada una se describen a continuación:

Umbral de C/N utilizando los modelos de canal Brasil A-6 y Brasil D-6. El principal objetivo de esta prueba fue evaluar el desempeño de los receptores en condiciones de ruido y multitrayecto, utilizando los modelos de canal de recepción fija Brasil A-6 y Brasil D-6 (véase 2.2). En esta prueba se evalúa a los receptores ante estas condiciones usando diferentes modos de transmisión (véase A.5).

Red SFN de dos transmisores utilizando el modelo de canal Brasil A-6. El principal objetivo de esta prueba fue evaluar el desempeño de los receptores en condiciones de una red SFN con dos transmisores, utilizando el modelo de canal Brasil A-6 que representa recepción fija en exteriores. Los parámetros de simulación que fueron variados en esta prueba fue la distancia relativa del receptor a cada transmisor mediante retardos y la amplitud relativa D/E de la potencia de las señales provenientes del transmisor directo con la potencia de las señales atenuadas del otro transmisor. En esta prueba se evalúa a los receptores ante estas condiciones usando diferentes modos de transmisión (véase A.6).

Red SFN de dos transmisores utilizando el modelo de canal Brasil D-6. El principal objetivo de esta prueba fue evaluar el desempeño de los receptores en condiciones de una red SFN con dos transmisores, utilizando el modelo de canal Brasil D-6 que representa recepción fija en interiores. Los parámetros de simulación que fueron variados en esta prueba fue la distancia relativa del receptor a cada transmisor mediante retardos y la amplitud relativa D/E de la potencia de las señales provenientes del transmisor directo con la potencia de las señales atenuadas del otro transmisor. En esta prueba se evalúa a los receptores ante estas condiciones usando diferentes modos de transmisión (véase A.7).

- **Evaluación de los receptores en recepción móvil**

Debido a que ATSC-M/H es el estándar móvil y portátil de televisión digital, se diseñaron tres pruebas, las cuales evalúan el desempeño de los receptores en recepción móvil de tal forma que permita observar cómo se comportan estos receptores en entornos móviles de propagación en zonas rurales y urbanas, los objetivos de cada una se describen a continuación:

Capítulo 3. Diseño de las pruebas de laboratorio

Umbral de C/N utilizando los modelos de canal RA-6 y TU-6. El principal objetivo de esta prueba fue evaluar el desempeño de los receptores en condiciones de ruido y multitrayecto, utilizando los modelos de canal de recepción móvil RA-6 y TU-6 utilizando sus velocidades típicas (véase 2.3). En esta prueba se evalúa a los receptores ante estas condiciones usando diferentes modos de transmisión (véase A.8).

Red SFN de dos transmisores utilizando el modelo de canal RA-6. El principal objetivo de esta prueba fue evaluar el desempeño de los receptores en condiciones de una red SFN con dos transmisores, utilizando el modelo de canal RA-6 que representa recepción móvil a una velocidad típica de 120 km/h en áreas rurales sin montañas. Los parámetros de simulación que fueron variados en esta prueba fue la distancia relativa del receptor a cada transmisor mediante retardos y la amplitud relativa D/E de la potencia de las señales provenientes del transmisor directo con la potencia de las señales atenuadas del otro transmisor. En esta prueba se evalúa a los receptores ante estas condiciones usando diferentes modos de transmisión (véase A.9).

Red SFN de dos transmisores utilizando el modelo de canal TU-6. El principal objetivo de esta prueba fue evaluar el desempeño de los receptores en condiciones de una red SFN con dos transmisores, utilizando el modelo de canal TU-6 que representa recepción móvil en áreas urbanas con una velocidad típica de 50 km/h. Los parámetros de simulación que fueron variados en esta prueba fue la distancia relativa del receptor a cada transmisor mediante retardos y la amplitud relativa D/E de la potencia de las señales provenientes del transmisor directo con la potencia de las señales atenuadas del otro transmisor. En esta prueba se evalúa a los receptores ante estas condiciones usando diferentes modos de transmisión (véase A.10).

- **Evaluación de los receptores en recepción móvil dentro de una red SFN**

Basados en los modelos de canal establecidos en el proyecto WING-TV (véase 2.3) se diseñaron cuatro pruebas que básicamente tienen el mismo objetivo. En el proyecto WING-TV se definen cuatro modelos de canal que simulan diferentes condiciones de recepción en la zona de traslape de una SFN de dos transmisores.

Umbral de C/N dentro de una red SFN: PI. El principal objetivo de esta prueba fue evaluar el desempeño de los receptores en condiciones de ruido y multitrayecto, utilizando el modelo de canal de recepción portátil en interiores, Pedestrian Indoor, utilizando su velocidad típica de 3 km/h (véase 2.4). En esta prueba se evalúa a los receptores ante estas condiciones usando diferentes modos de transmisión (véase A.11).

Umbral de C/N dentro de una red SFN: PO. El principal objetivo de esta prueba fue evaluar el desempeño de los receptores en condiciones de ruido y multitrayecto, utilizando el modelo de canal de recepción portátil en exteriores, Pedestrian Outdoor, utilizando su velocidad típica de 3 km/h (véase 2.4). En esta prueba se evalúa a los receptores ante estas condiciones usando diferentes modos de transmisión (véase A.12).

Umbral de C/N dentro de una red SFN: VU. El principal objetivo de esta prueba fue evaluar el desempeño de los receptores en condiciones de ruido y multitrayecto, utilizando el modelo de canal de recepción móvil en zona urbana con edificios bajos, Vehicular Urban,

Capítulo 3. Diseño de las pruebas de laboratorio

utilizando su velocidad típica de 30 km/h y 40 km/h (véase 2.4). En esta prueba se evalúa a los receptores ante estas condiciones usando diferentes modos de transmisión (véase A.13).

Umbral de C/N dentro de una red SFN: MR. El principal objetivo de esta prueba fue evaluar el desempeño de los receptores en condiciones de ruido y multitrayecto, utilizando el modelo de canal de recepción móvil en carreteras de cuatro carriles, Motorway Rural, utilizando su velocidad típica de 30 km/h y 40 km/h (véase 2.4). En esta prueba se evalúa a los receptores ante estas condiciones usando diferentes modos de transmisión (véase A.14).

Tabla 3.5 Listado de las pruebas de laboratorio

Prueba	Grupo	Nombre de la Prueba
1	Parámetros básicos de funcionamiento de los receptores	Sensibilidad
2		Umbral de C/N
3		Eco Estático
4		Frecuencia Doppler
5	Evaluación de los receptores en recepción fija	Umbral de C/N utilizando los modelos de canal Brasil A-6 y Brasil D-6
6		Red SFN de dos transmisores utilizando el modelo de canal Brasil A-6
7		Red SFN de dos transmisores utilizando el modelo de canal Brasil D-6
8	Evaluación de los receptores en recepción móvil	Umbral de C/N utilizando los modelos de canal RA-6 y TU-6
9		Red SFN de dos transmisores utilizando el modelo de canal RA-6
10		Red SFN de dos transmisores utilizando el modelo de canal TU-6
11	Evaluación de los receptores en recepción móvil dentro de una red SFN	Umbral de C/N dentro de una red SFN: PI
12		Umbral de C/N dentro de una red SFN: PO
13		Umbral de C/N dentro de una red SFN: VU
14		Umbral de C/N dentro de una red SFN: MR

4. Análisis de Resultados

En este capítulo se describen los resultados obtenidos de las pruebas, y se analizan los resultados para obtener conclusiones relevantes de las pruebas. Los resultados se dividen en los cuatro grupos de pruebas diseñadas; Parámetros básicos de funcionamiento de los receptores, Evaluación de los receptores en recepción fija, Evaluación de los receptores en recepción móvil y Evaluación de los receptores en recepción móvil dentro de una red SFN. También, dentro los subcapítulos 4.1 y 4.2 se hace una comparación con el estándar fijo basándose en pruebas de laboratorio realizadas por la Facultad de Ingeniería como parte del proyecto REFUTV. Finalmente dentro de este capítulo se hace una recopilación del análisis de todos los resultados.

4.1. Parámetros básicos de funcionamiento de los receptores

Este grupo de pruebas están basadas en las recomendaciones del estándar ATSC A/54, A/74 y A/174 (véase 3.2.1), las cuales marcan los lineamientos esenciales que se recomiendan que cumplan los receptores, estas recomendaciones están basadas en la Sensibilidad, Umbral C/N, Eco estático y Frecuencia Doppler. En estas pruebas fueron evaluados los cinco receptores (véase 3.4) y las cinco configuraciones de FEC (véase 3.5). A continuación se muestran los resultados obtenidos.

4.1.1. Sensibilidad

En esta prueba se presentan los valores de potencia mínima de recepción con que es capaz de recibir y demodular correctamente la señal de ATSC-M/H cada uno de los cinco receptores y para cada una de las configuraciones de FEC.

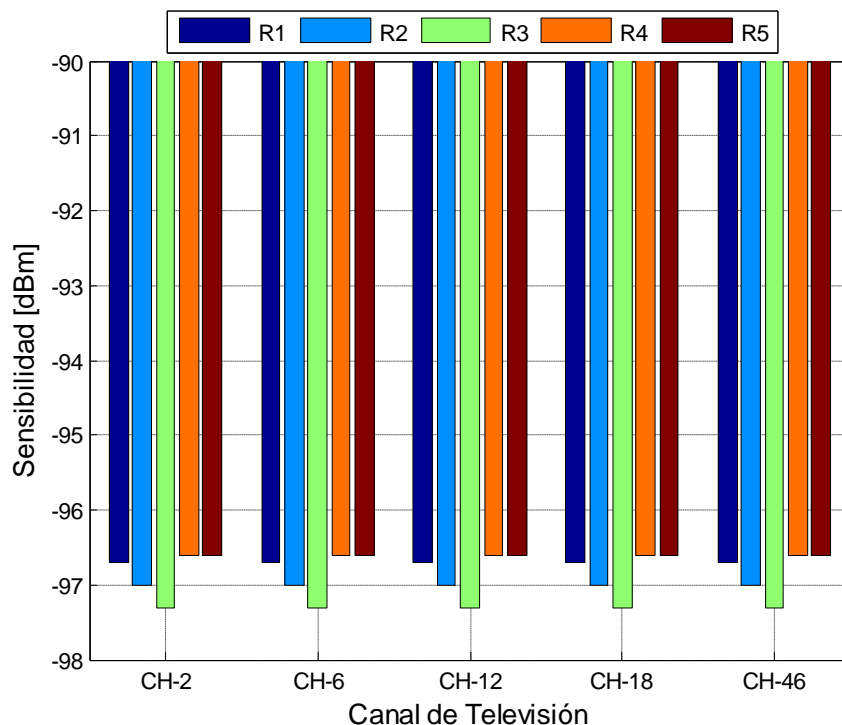


Figura 4.1 Sensibilidad medida de cada receptor ATSC-M/H en cinco diferentes canales de televisión al utilizar la configuración C1 (QQQQ RS 48)

Capítulo 4. Análisis de Resultados

Para cada receptor bajo prueba se midió el valor límite de sensibilidad en seis diferentes canales de frecuencia; canal 2 (54 - 60 MHz), canal 6 (82 - 88 MHz), canal 12 (204 - 210 MHz), canal 18 (494 - 500 MHz) y canal 46 (666 - 668 MHz). La figura 4.1 muestra los resultados de Sensibilidad en dBm de los cinco receptores al utilizar la configuración C1 (QQQQ RS 48) como modo de transmisión. El eje horizontal muestra los cinco canales de televisión probados, el eje vertical la Sensibilidad medida para cada receptor y los cinco receptores son representados por cada barra de color. Lo primero que se observó en estos resultados es que la frecuencia no es un factor importante para la sensibilidad de los receptores comerciales de ATSC-M/H, ya que para cada canal de frecuencia los resultados fueron prácticamente los mismos.

En la figura 4.2 se muestra la sensibilidad obtenida en dBm de cada receptor para el canal 18 (496 - 500 MHz) al evaluar las cinco configuraciones de FEC seleccionadas previamente (véase 3.5). En el eje horizontal muestra a que receptor pertenece cada grupo de resultados mientras que el eje vertical muestra la Sensibilidad medida al utilizar cada una de las cinco configuraciones de FEC, la línea roja punteada muestra el valor de Sensibilidad recomendado para los receptores de ATSC y cada color representa los resultados obtenidos al utilizar cada una de las configuraciones de FEC.

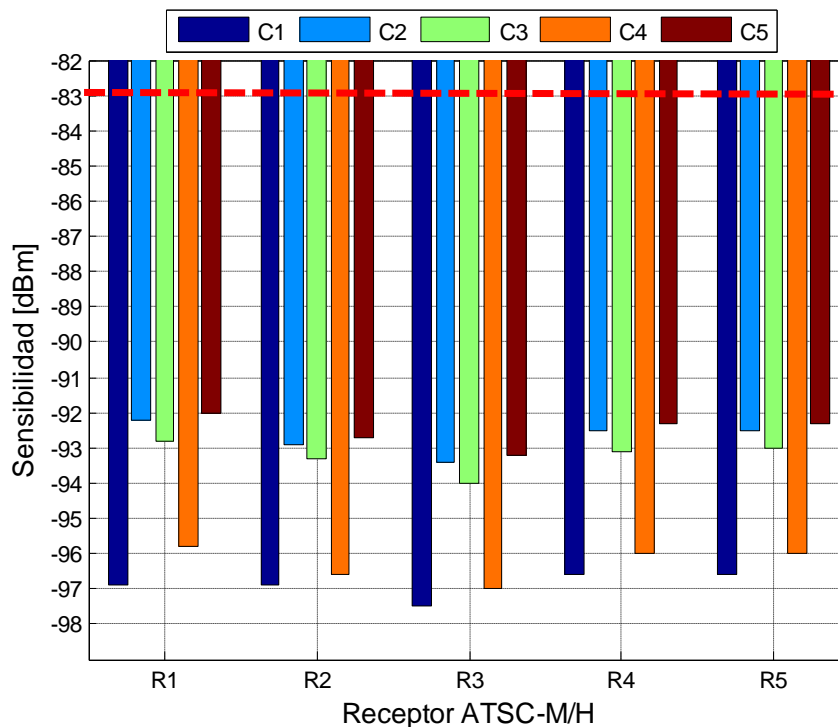


Figura 4.2 Sensibilidad medida de cada receptor ATSC-M/H en el canal 18 al utilizar las cinco diferentes configuraciones de FEC

Se puede observar que en todos los casos la sensibilidad de los receptores es muy superior a la recomendación de ATSC que se establecen en el documento A/74 [21], la cual dice que la sensibilidad mínima de un receptor de ATSC debería ser por lo menos -83 dBm. Estos resultados cumplen con lo esperado ya que el estándar de ATSC-M/H es más robusto que el estándar de ATSC.

En cuestión de los receptores, se observa que al utilizar la configuración C1 los receptores definidos por software (R4 y R5) son los que presentan menor sensibilidad que los receptores estándar (R1, R2 y R3), pero al utilizar las configuraciones C2, C3, C4 y C5 el receptor que presenta el peor desempeño es el R1, mientras que para todos los casos el receptor que presenta una mayor sensibilidad es el receptor R3.

Por otra parte, la respuesta de los receptores ante las diferentes configuraciones de FEC fue similar, se observa que la configuración C1 presenta una mayor sensibilidad en todos los receptores seguida por la configuración C4 por apenas 0.6 dB aproximadamente. Esto significa que para la sensibilidad de un receptor ATSC-M/H prácticamente no influye entre tener una codificación de Reed-Solomon de 48 bytes ó 24 bytes. Este patrón se repite si comparamos los resultados obtenidos de cada receptor para las configuraciones C2 y C5, ya que la sensibilidad del receptor cuando se usa la configuración C2 es apenas 0.2 dB mayor que cuando se usa la configuración C5, esto remarca la poca importancia del codificador Reed-Solomon para la sensibilidad del receptor ya que la diferencia entre estas dos configuraciones es básicamente los bytes que es capaz de corregir el RS-CRC que son 48 bytes ó 36 bytes. En cambio, en todos los receptores se puede notar que la codificación convolucional utilizada en la Región A de la capa física de ATSC-M/H es muy importante; esto se observa comparando el efecto de usar la configuración C1 y la C3, en las cuales la única diferencia entre ellas es la codificación de la región A de $\frac{1}{4}$ o de $\frac{1}{2}$ respectivamente, diferencia observada entre estas dos configuraciones es de 3.7 dB aproximadamente en cada receptor. En cambio se observa una mayor diferencia de sensibilidad cuando se compara la configuración C1 y C3 que cuando se comparará la configuración C2 y C3, ya que en estas últimas la diferencia es la codificación utilizada en las regiones B, C y D de $\frac{1}{2}$ o de $\frac{1}{4}$ respectivamente, en este caso la sensibilidad obtenida cuando se utiliza la configuración C3 es apenas 0.5 dB mayor que cuando se usa la configuración C2. Por cual se puede decir que la influencia de las codificaciones utilizadas en las regiones B, C y D no tan significativas para la sensibilidad.

4.1.2. Umbral de C/N

La recomendación de ATSC A/54 [22] establece el nivel límite mínimo de la relación portadora a ruido que un receptor ATSC debería ser capaz demodular correctamente, 14.9 dB. En esta prueba se evaluó el desempeño de los receptores ante condiciones puras de Ruido Aditivo Blanco Gaussiano (AWGN) para encontrar el umbral de C/N que tolera cada receptor en seis diferentes canales de frecuencia; canal 2 (54 - 60 MHz), canal 6 (82 - 88 MHz), canal 12 (204 - 210 MHz), canal 18 (494 - 500 MHz) y canal 46 (666 - 668 MHz).

En la figura 4.3 se muestra los resultados obtenidos de la prueba de evaluar el umbral de la relación portadora a ruido (C/N) de los cinco receptores en los diferentes canales de televisión al utilizar la configuración C5 (HHHH RS 36). El eje horizontal muestra los cinco canales de televisión a los que pertenece cada grupo de resultados, el eje vertical muestra el umbral de C/N medido en dB de cada receptor y cada color representa a cada uno de los cinco receptores.

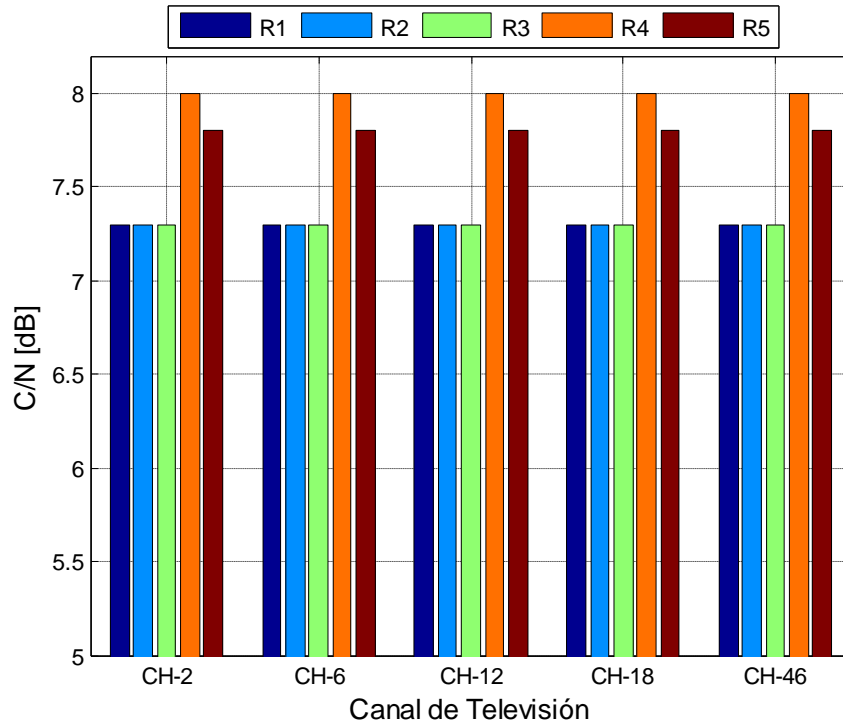


Figura 4.3 Umbral de C/N medido de cada receptor ATSC-M/H en cinco diferentes canales de televisión al utilizar la configuración C5 (HHHH RS 36)

Lo primero que se observó en estos resultados es que la frecuencia no es un factor importante para el umbral C/N de los receptores comerciales de ATSC-M/H, ya que para cada canal de frecuencia los resultados fueron los mismos. También se observa que al utilizar la configuración C5 los receptores estándar (R1, R2 y R3) presentaron el mismo umbral de C/N y se observa que los receptores SDR tuvieron un peor rendimiento, en especial el receptor R4, el cual tuvo umbral de C/N de 1.5 dB por encima de los receptores estándar.

Respecto a las diferentes configuraciones de FEC utilizadas, los resultados se observan en la figura 4.4, la cual muestra los resultados obtenidos en el canal 18 (494 - 500 MHz). Donde el eje horizontal representa el receptor al que pertenece los grupos de resultados, el eje vertical muestra el umbral de C/N medido y cada color utilizado en la gráfica representa a las configuraciones de FEC utilizadas.

Lo primero que se observa es que, para todos los casos, se está por debajo del umbral recomendado para ATSC, lo cual es bastante bueno ya que inclusive en las peores condiciones observadas en la figura 4.2, se tiene un umbral de C/N de 8 dB por lo tanto se aguantarían 6.9 dB de C/N menos que lo que sugiere la recomendación A/54. Recordando que esta recomendación es para el estándar fijo, se puede decir que en condiciones estáticas y con ruido AWGN, el estándar ATSC-M/H funciona mucho mejor que el estándar ATSC. Esto se puede verificar comparando estos resultados con los obtenidos en las pruebas de laboratorio realizadas por la Facultad de Ingeniería UNAM, en las cuales los receptores de ATSC que se probaron tuvieron un umbral de C/N entre 14.7 dB y 15.2 dB [27] [28].

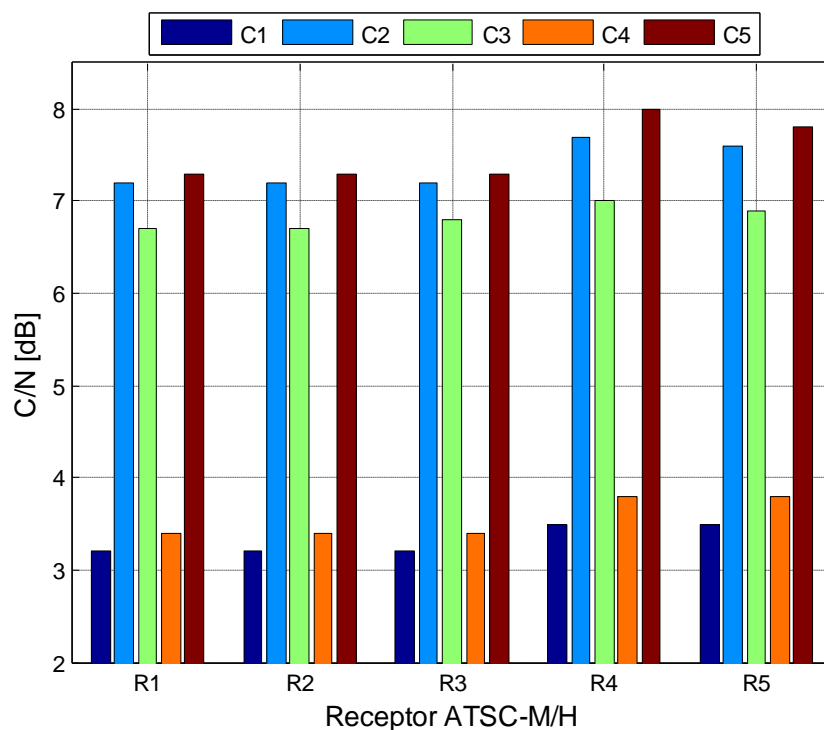


Figura 4.4 Umbral de C/N medido de cada receptor ATSC-M/H en el canal 18 al utilizar las cinco diferentes configuraciones de FEC

Por otro lado, en cuestión del umbral de C/N se observa que los receptores estándar (R1, R2 y R3) tienen una tolerancia al ruido mejor que los receptores definidos por software (R4 y R5) y que a su vez los tres primeros receptores tuvieron exactamente los mismos umbrales de C/N.

Con respecto a la influencia de las configuraciones de FEC se observa que se tiene una respuesta similar que en la prueba de sensibilidad, la configuración C1 presenta un mayor umbral de C/N en todos los receptores seguida por la configuración C4 por apenas 0.2 dB, esto significa que para el umbral de C/N de un receptor ATSC-M/H prácticamente no influye entre tener una codificación de Reed- Solomon de 48 bytes ó 24 bytes. Este patrón se repite si comparamos los resultados obtenidos de cada receptor para las configuraciones C2 y C5, ya que el umbral de C/N del receptor cuando se usa la configuración C2 es apenas 0.1 dB mayor que cuando se usa la configuración C5, esto remarca la poca importancia del codificador Reed-Solomon tanto en sensibilidad como en relación portadora a ruido del receptor ya que la diferencia entre estas dos configuraciones es básicamente los bytes que es capaz de corregir el RS-CRC que son 48 bytes ó 36 bytes. Al igual que en la prueba de sensibilidad, en los resultados de todos los receptores se nota que la codificación convolucional utilizada en la Región A de la capa física de ATSC-M/H tiene mucha importancia en el desempeño de los receptores. Esto se aprecia comparando el efecto de usar la configuración C1 y la C3 (QQQQ RS48 y HQQQ RS48 respectivamente), la diferencia observada entre estas dos configuraciones es de 3.6 dB aproximadamente en cada receptor. Por otro lado se observa una mayor diferencia en el umbral de C/N cuando se compara la configuración C1 y C3 que cuando se comparará la configuración C2 y C3 (HHHH RS 48 y HQQQ RS 48 respectivamente). En este caso el umbral de C/N obtenida cuando se utiliza la configuración C3 es

apenas 0.4 dB mayor que cuando se usa la configuración C2. Por lo cual se puede decir que la influencia de las codificaciones utilizadas en las regiones B, C y D no tan significativas para el umbral de C/N al igual que la Sensibilidad.

4.1.3. Eco Estático

Esta prueba es fundamental para evaluar el desempeño de los receptores ante el multitrayecto. Además de que se puede considerar como una situación de recepción dentro de una red SFN ideal, por lo que arroja resultados de cómo podrían responder los receptores en condiciones de redes SFN. La prueba está basada en la Recomendación A/74 [21].

En esta prueba los resultados se dividieron en dos grupos. El primer grupo de resultados fue el promedio de la respuesta al eco estático de los receptores estándar para las cinco configuraciones de FEC utilizadas, este promedio se calculó debido a que la respuesta de los tres receptores (R1, R2 y R3) fue prácticamente la misma. El segundo grupo de resultados fue el promedio de la respuesta al eco estático de los receptores SDR para las cinco configuraciones de FEC, este promedio se calculó debido a que la respuesta de estos dos receptores (R4 y R5) fue muy similar entre ellos pero a su vez difieren en algunas cosas con respecto a la respuesta de los receptores estándar. En las figuras 4.5 y 4.6 se muestran estos grupos de resultados.

Los valores presentados en ambas figuras representan las condiciones límite de amplitud y retardo, en la que los receptores son capaces de demodular correctamente la señal de ATSC-M/H en condiciones de post-eco (retardos positivos) y pre-eco (retardos negativos), en el eje del tiempo se muestra este retardo del eco con respecto a la señal principal (la de mayor potencia recibida) y en el eje de las ordenadas se encuentra D/E, que es la relación de potencias que existe entre la señal Directa y la señal Eco (amplitud relativa). Cuando el valor de D/E es igual a 0 dB, significa que tanto la señal directa como el eco llegan con la misma amplitud, por lo tanto esto sería el peor caso, a medida que el eco llega atenuado en comparación con la señal directa la relación D/E se empieza a incrementar negativamente. Por lo tanto, si en la graficas se observa un D/E de 0 dB significa que para esa situación y ante esas condiciones no se presenta ningún problema para demodular la señal. En cambio si se observa un valor de -3 dB quiere decir que ante esas condiciones se requiere que la señal principal llegue por lo menos con el doble de potencia que el eco para que se pueda demodular correctamente la señal.

Lo primero que se puede observar, es que, sin importar el tipo de receptor utilizado, ni el tipo de configuración de FEC, los resultados siempre están por encima de la recomendación A/74, la cual se observa de color marrón en ambas gráficas (hay que recordar que dicha recomendación es para ATSC, no para ATSC-M/H).

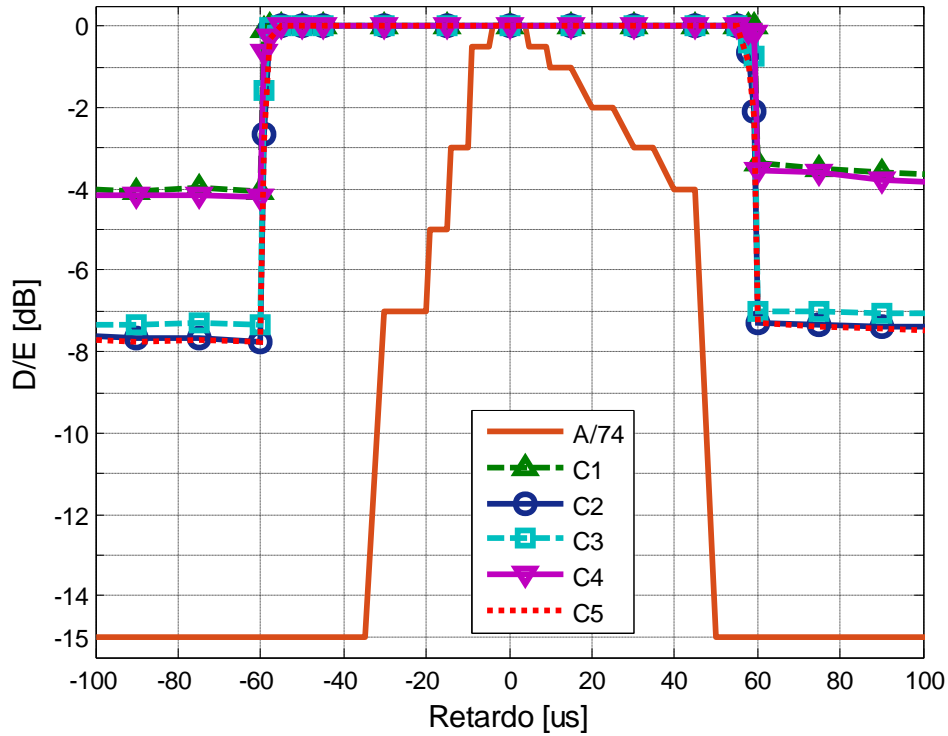


Figura 4.5 Promedio del desempeño de los receptores estándar para las cinco configuraciones de FEC en condiciones de eco estático

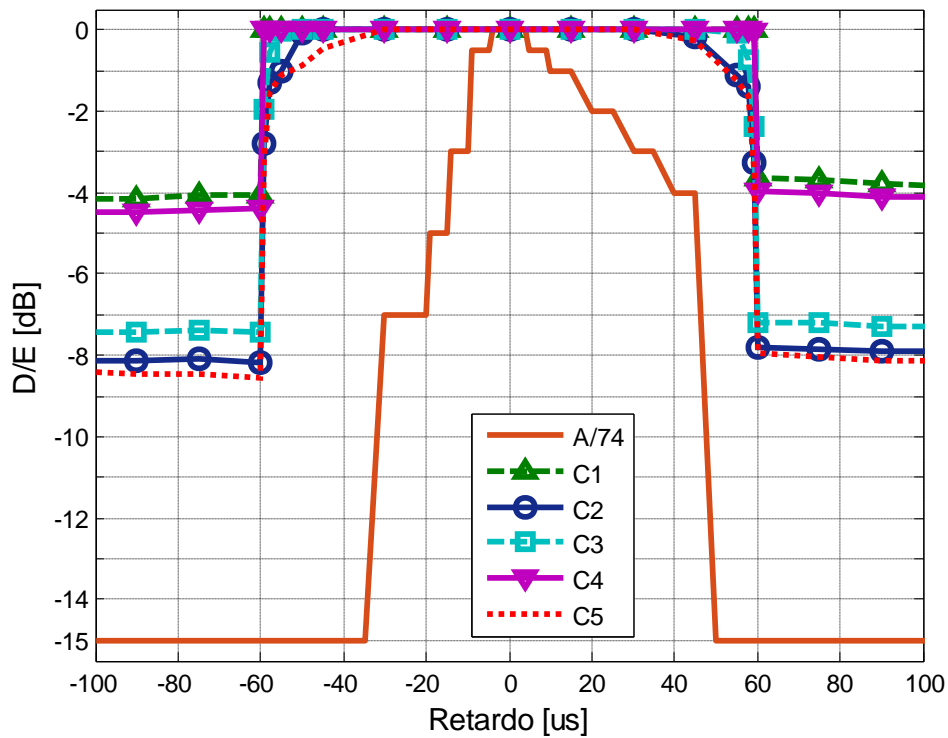


Figura 4.6 Promedio del desempeño de los receptores SDR para las cinco configuraciones de FEC en condiciones de eco estático

Tanto en la recomendación A/74 como en los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio realizada por la Facultad de Ingeniería [21], [27], [28], se observa que los receptores diseñados del estándar fijo tienen un mejor rendimiento en situaciones de post-eco y que las situaciones de pre-eco son más dañinas para su desempeño. En cambio, en las figuras 4.5 y 4.6 se observa que para los receptores de ATSC-M/H, la diferencia entre una situación de pre-eco y post-eco es casi nula, esto significa que se tiene una respuesta muy simétrica en el tiempo.

Comparando los dos grupos de resultados (figuras 4.3 y 4.4), se puede observar que los receptores estándar no presentan ningún problema en el rango de $-60 \mu\text{s}$ a $60 \mu\text{s}$ en ninguna configuración de FEC utilizada. En cambio, los receptores SDR solo cuando se utilizan las configuraciones C1, C3 y C4 no presentan ningún error en el rango de $-60 \mu\text{s}$ a $60 \mu\text{s}$, pero utilizando las configuraciones C2 y C5 no es así, para estas dos configuraciones se observa que los receptores SDR no presentan error en el rango de $-30 \mu\text{s}$ a $30 \mu\text{s}$. Y en los rangos de $-60 \mu\text{s}$ a $60 \mu\text{s}$ se degradan progresivamente.

Otra diferencia observada en los dos grupos de resultados es que los receptores estándar, tuvieron mejor respuesta ante condiciones de eco estático que los receptores SDR, a excepción de cuando se utiliza la configuración C1, ya que se puede notar que para esta configuración los resultados fueron prácticamente los mismos. La configuración que se ve más afectada por el tipo de receptor utilizado fue la configuración C5, la cual comienza a exigir un nivel de D/E menor a cero $30 \mu\text{s}$ antes cuando se utilizan los receptores SDR que cuando se utilizan los receptores estándar, además de que su rendimiento baja casi 1 dB.

Hablando de las configuraciones de FEC utilizadas, ambos grupos de receptores tuvieron un comportamiento similar. En esta prueba el efecto de la configuración de Reed-Solomon no fue muy significativo, en ambos grupos de resultados se observa que no hay mucha diferencia entre usar la configuración C1 y C4 (QQQQ RS 48 y QQQQ RS 24 respectivamente), para el primer grupo de receptores la diferencia es de 0.1 dB y para el segundo grupo la diferencia es de 0.3 dB, esto cuando el ecualizador del receptor comienza a exigir una mayor atenuación en la potencia del eco. En cambio, nuevamente se observa que para estas condiciones, la codificación utilizada en la región A tiene una gran influencia en el desempeño de los receptores, ya que para ambos grupos de receptores, la diferencia entre usar la configuración C1 o C3 (QQQQ RS 48 o HQQQ RS 48 respectivamente) es de aproximadamente 3.5 dB, esto cuando el ecualizador de receptor comienza a exigir una mayor atenuación en la potencia del eco, aunque no tiene efecto significativo en la región de retardos desde $-60 \mu\text{s}$ a $60 \mu\text{s}$. También se puede observar que las codificaciones utilizadas en las regiones B, C y D no son tan significativas, ya que al comparar la C2 y C3 (HHHH RS 48 y HQQQ RS 48 respectivamente) en el primer grupo de receptores la diferencia es de 0.2 dB y en el segundo grupo de receptores la diferencia es de 0.6 dB, esto cuando el ecualizador de receptor comienza a exigir una mayor atenuación en la potencia del eco.

4.1.4. Frecuencia Doppler

En la recomendación A/174 [23] se describe la importancia de evaluar el desempeño de los receptores ATSC-M/H ante los efectos de frecuencia Doppler ya que el estándar A/153 está desarrollado para recepción en movimiento. En la recomendación A/174 se establece que existen

Capítulo 4. Análisis de Resultados

dos frecuencias Doppler importantes para el análisis del desempeño del receptor, la primera es la frecuencia que se genera a la velocidad de un peatón. Esta frecuencia Doppler varía dependiendo de la velocidad a la que se mueva el peatón y el canal de transmisión que se utilice, pero la recomendación A/174 menciona una frecuencia Doppler de 2 Hz para este caso. También en el documento se habla de otra frecuencia Doppler importante para la evaluación del desempeño de los receptores que es llamada " $f_{3 \text{ dB}}$ ". Al ir aumentando la frecuencia Doppler, después de la que produce un peatón, la respuesta se empieza a estabilizar hasta llegar a un umbral de C/N mínimo, y después de una frecuencia determinada el umbral comienza a crecer de nuevo, de tal forma que la frecuencia cuyo umbral de C/N este 3 dB arriba del umbral mínimo se considera como la frecuencia $f_{3 \text{ dB}}$, la cual nos indica el límite del rango de la frecuencia Doppler que el receptor es capaz de tolerar para la correcta demodulación de la señal (véase 3.2.1). En esta prueba, se usó únicamente una señal con distribución de potencia Rayleigh [23] y se calculó el umbral de C/N en que un receptor es capaz de demodular correctamente la señal para diferentes frecuencias Doppler. En esta prueba el canal de transmisión utilizado fue el 18 (497 MHz como frecuencia central).

En la tabla 4.1 se observan los resultados obtenidos del umbral de C/N de los receptores al evaluar cada receptor ante la frecuencia Doppler producida por el movimiento de un peatón (2 Hz) al utilizar las cinco diferentes configuraciones de FEC.

Tabla 4.1 Umbral de C/N medido de cada Receptor ante la frecuencia Doppler producida por el desplazamiento de un peatón

Configuración de FEC	Umbral de C/N de cada Receptor				
	R1	R2	R3	R4	R5
QQQQ RS 48	16.9 dB	16.9 dB	17.0 dB	18.3 dB	18.3 dB
HHHH RS 48	23.0 dB	23.0 dB	23.1 dB	24.5 dB	24.6 dB
HQQQ RS 48	19.7 dB	19.8 dB	19.7 dB	21.9 dB	21.9 dB
QQQQ RS 24	20.1 dB	20.1 dB	20.1 dB	22.6 dB	22.6 dB
HHHH RS 36	25.0 dB	25.0 dB	25.0 dB	25.5 dB	25.5 dB

Todos los receptores tuvieron un comportamiento como se indica en la recomendación A/174. Es decir, se probaron los receptores ante diferentes frecuencias Doppler, y después de 2 Hz (frecuencia Doppler producida por el movimiento de un peatón), el umbral de C/N medido comenzó a disminuir hasta llegar a valor mínimo. Estos valores se muestran en la tabla 4.2 para cada una de las diferentes configuraciones de FEC utilizadas como modos de transmisión.

Tabla 4.2 Umbral de C/N mínimo alcanzado por cada receptor

Configuración de FEC	Umbral de C/N mínimo de cada Receptor				
	R1	R2	R3	R4	R5
QQQQ RS 48	16.2 dB	16.1 dB	16.1 dB	16.9 dB	16.9 dB
HHHH RS 48	20.4 dB	20.1 dB	20.2 dB	21.8 dB	21.9 dB
HQQQ RS 48	17.4 dB	17.5 dB	17.4 dB	19.0 dB	19.0 dB
QQQQ RS 24	18.4 dB	18.4 dB	18.4 dB	19.7 dB	19.8 dB
HHHH RS 36	23.5 dB	23.5 dB	23.5 dB	22.9 dB	22.9 dB

Capítulo 4. Análisis de Resultados

La tabla 4.3 muestra la frecuencia llamada " $f_{3\text{ dB}}$ " de cada receptor, al haber utilizado las cinco diferentes configuraciones de FEC.

Tabla 4.3 Frecuencia Doppler de cada receptor en la cual el umbral de C/N creció 3 dB en comparación con el umbral mínimo

Configuración de FEC	$F_{3\text{dB}}$				
	R1	R2	R3	R4	R5
QQQQ RS 48	135 Hz	135 Hz	135 Hz	80 Hz	80 Hz
HHHH RS 48	75 Hz	75 Hz	75 Hz	45 Hz	45 Hz
HQQQ RS 48	130 Hz	130 Hz	130 Hz	70 Hz	70 Hz
QQQQ RS 24	60 Hz	60 Hz	60 Hz	25 Hz	25 Hz
HHHH RS 36	40 Hz	40 Hz	40 Hz	10 Hz	10 Hz

Lo primero que se observó fue que los resultados de los tres receptores estándar (R1, R2 y R3) nuevamente tuvieron una respuesta muy similar por lo tanto se tomó el promedio de estos tres receptores y se separó del promedio de los resultados de los otros dos receptores, los cuales son receptores SDR (R4 y R5). Esto se hizo así porque los resultados de estos últimos fueron muy similares entre ellos, pero muy diferentes a los tres primeros. De esta forma el análisis del desempeño de los receptores se presentan en dos grupos de resultados. Estos resultados se observan en las figuras 4.7 y 4.8.

Tomando la frecuencia $f_{3\text{ dB}}$ como la máxima frecuencia Doppler que es capaz de tolerar cada receptor para poder demodular correctamente la señal de ATSC-M/H, se observa que los receptores estándar tienen una mayor tolerancia al desplazamiento Doppler. Por ejemplo, para la configuración C1, todos los receptores estándar (R1, R2 y R3), tienen una $f_{3\text{ dB}}$ de 135 Hz, mientras que los receptores SDR (R4 y R5) tienen una $f_{3\text{ dB}}$ de 80 Hz. Lo cual nos da una diferencia de 55 Hz de tolerancia al Desplazamiento Doppler.

Observando las figuras 4.7 y 4.8, se puede apreciar que a pesar de las diferencias entre los dos grupos de receptores con respecto al umbral de C/N y la frecuencia $f_{3\text{ dB}}$, se tienen resultados similares en cuestión como responden los receptores dependiendo de qué configuración de FEC se utilice.

En esta prueba, se observa que a diferencia de lo que se había encontrado en las pruebas anteriores, en condiciones de frecuencia Doppler, el factor más importante de las configuraciones de FEC es la codificación Reed Solomon. Esto se aprecia comparando las configuraciones C1 y C4 en ambos grupos de resultados. La principal diferencia entre estas dos configuraciones es que C1 tiene 48 bytes de corrección de errores y C4 tiene 24 bytes de corrección de errores. Respecto a la tolerancia al desplazamiento Doppler la diferencia en ambos grupos entre la configuración C1 y la configuración C4 es de 55 Hz. Finalmente respecto al umbral de C/N mínimo que cada configuración alcanza, la diferencia para el primer grupo de receptores es de 2.3 dB (de 16.1 dB a 18.4 dB respectivamente a cada configuración) y para el segundo grupo es de 2.9 dB (de 16.9 dB a 19.8 dB respectivamente a cada configuración).

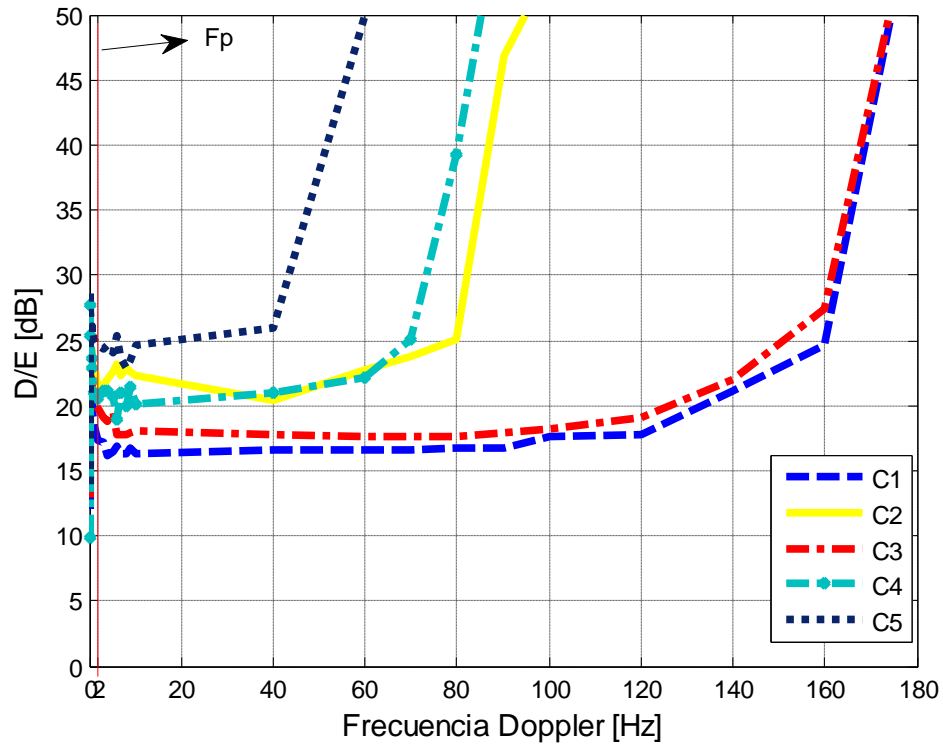


Figura 4.7 Desempeño promedio de los receptores estándar respecto a la Frecuencia Doppler

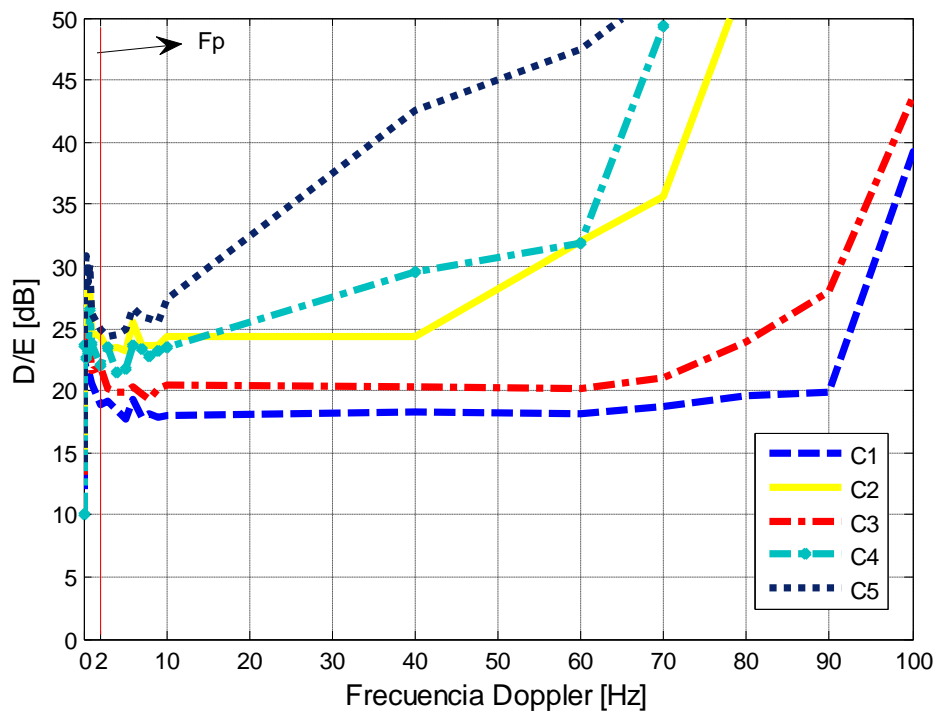


Figura 4.8 Desempeño promedio de los receptores SDR respecto a la Frecuencia Doppler

Otra observación importante de los resultados de la prueba es que a diferencia de las anteriores, en esta prueba la codificación en la región A no tiene gran influencia. Esto se puede visualizar al comparar las configuraciones C1 y C3, en la figura 4.7 donde se muestra el resultado del primer grupo de receptores (R1, R2 y R3), cuando se usa la configuración C1 o C3 se tiene un desempeño de los receptores muy similar. En la figura 4.8 donde se muestra el resultado del segundo grupo de receptores (R4 y R5), cuando se usa la configuración C1 o C3 sí se aprecia un poco más la diferencia en relación con el umbral de C/N, sin embargo se aprecia que la diferencia entre ambas es menor que al comparar al resto de las configuraciones. Respecto a la tolerancia al desplazamiento Doppler la diferencia en el primer grupo de receptores entre la configuración C1 y la configuración C3 es de apenas 5 Hz y en el segundo grupo de receptores es de 10 Hz. Finalmente respecto al umbral de C/N mínimo que cada configuración alcanza, la diferencia para el primer grupo de receptores es de 1.2 dB y para el segundo grupo es de 2.1 dB.

Por otro lado se observa que la codificación utilizada en las regiones B, C y D sí tiene una gran influencia en el desempeño de los receptores ante condiciones de desplazamiento Doppler. Esto se observa comparando los efectos de transmitirse con la configuración C3(HQQQ RS 48) o C2 (HHHH RS 48), en las cuales radica la diferencia de la codificación en estas tres regiones. Respecto a la tolerancia al desplazamiento Doppler la diferencia en el primer grupo de receptores entre la configuración C3 y la configuración C2 es de 55 Hz y en el segundo grupo de receptores es de 35 Hz. Finalmente respecto al umbral de C/N mínimo que cada configuración alcanza, la diferencia para el primer grupo de receptores es de 3 dB y para el segundo grupo es de 2.9 dB.

Finalmente, si observamos el desempeño de los receptores cuando se utiliza la configuración C5, se visualizan los peores resultados. El primer grupo de receptores (R1, R2 y R3) tuvo una tolerancia al desplazamiento Doppler de 40 Hz al utilizar esta configuración, mientras que el segundo grupo (R4 y R5) tuvo un tolerancia de 10 Hz. Se podría decir que los receptores SDR no funcionan correctamente ante estas condiciones ya que para el canal de televisión utilizado, 10 Hz equivalen a 21.7 km/h y si la velocidad del receptor aumentara aunque sea un poco, se dejaría de recibir correctamente.

4.2. Evaluación de los receptores en recepción fija

Este grupo de pruebas muestra el desempeño de los receptores utilizando el estándar A/153 en entornos de recepción fija. ATSC-M/H es el estándar de televisión digital para recepción móvil y portátil y la finalidad de estas pruebas fue evaluar cómo se desempeñan los receptores ATSC-M/H en entornos de recepción estáticos o cuasi-estáticos, para poder compararlos con los resultados de las pruebas de laboratorio realizadas a receptores ATSC fijos, las cuales se realizaron por la Facultad de Ingeniería, dentro del proyecto REFUTV [24] [25]. A continuación se muestran los resultados obtenidos.

4.2.1. Umbral de C/N utilizando los modelos de canal Brasil A-6 y Brasil D-6

Los modelos de canal de Brasil A-6 y Brasil D-6 simulan entornos de propagación de recepción fija en exteriores e interiores respectivamente.

Las figuras 4.9 4.10 muestran los resultados obtenidos en esta prueba para cada modelo de canal respectivamente. El eje horizontal muestra los receptores a los que pertenece cada grupo de resultados, el eje vertical muestra el umbral de C/N medido en dB de cada receptor ante las condiciones de multitrayecto y cada color representa la configuración de FEC utilizada.

Al observar la respuesta impulsional del canal de ambos modelos de propagación (véase 2.2), se pudo deducir que el entorno de propagación de Brasil D-6 es un entorno más agresivo debido a los retardos y potencia relativa del modelo. Esto queda verificado al observar las figuras 4.9 y 4.10, en las cuales se aprecia que todos los receptores ATSC-M/H para poder demodular correctamente la señal requirieron de un mayor umbral de C/N dentro para Brasil D-6 que dentro de Brasil A-6.

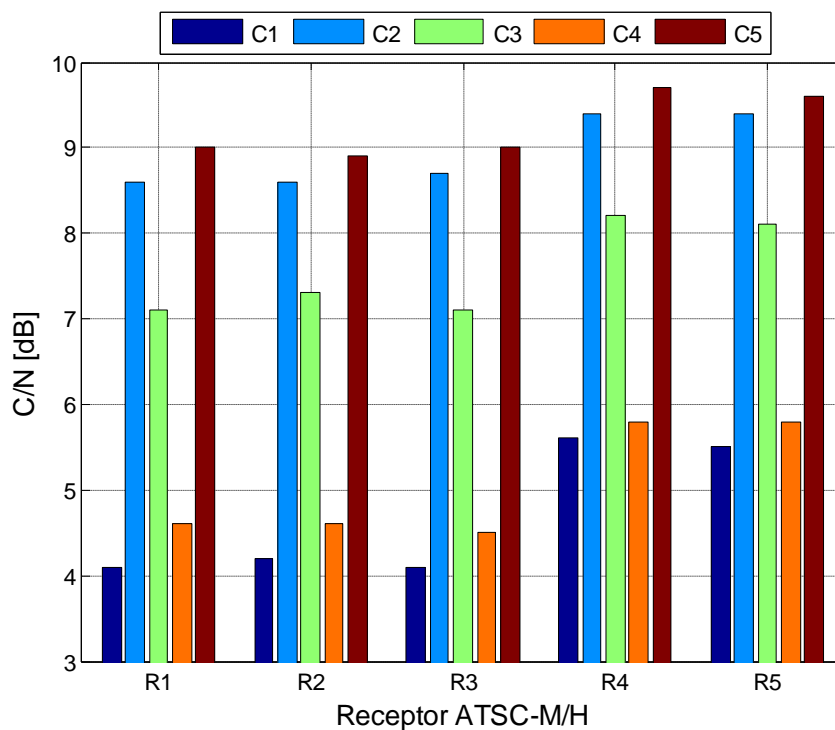


Figura 4.9 Umbral de C/N para Brasil A - 6

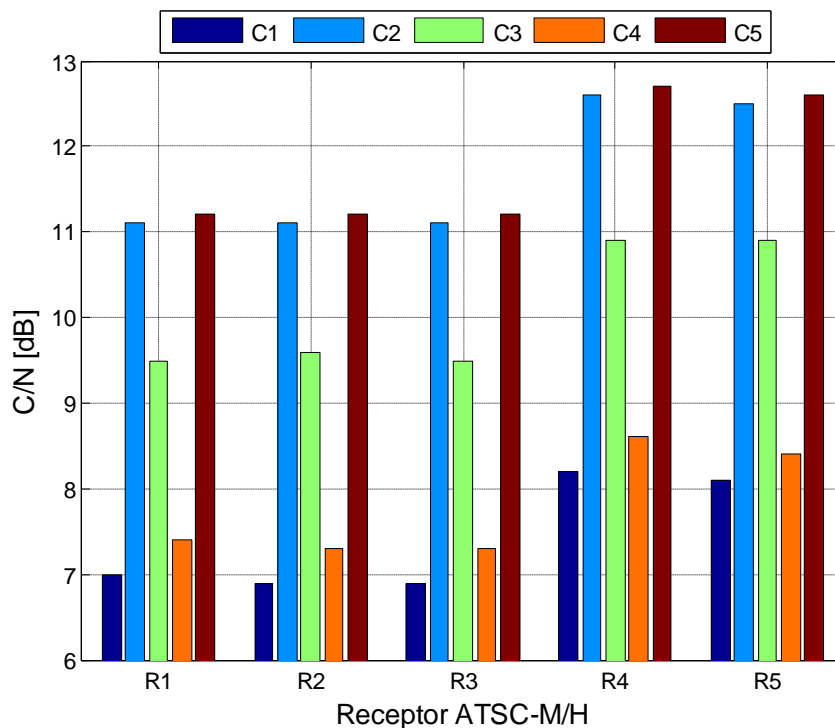


Figura 4.10 Umbral de C/N para Brasil D - 6

Una observación importante es que sin importar las condiciones de cualquiera de los dos modelos de propagación, ni la configuración o receptor utilizados, siempre se obtuvo un umbral de C/N por debajo de la Recomendación A/54 [22]. Inclusive en el peor caso registrado para esta prueba, el cual se presentó dentro del modelo de canal de Brasil D-6, utilizando el receptor R4 y la configuración C5, con un umbral de C/N de 12.8 dB se tiene una ventaja de 1.1 dB sobre la recomendación, la cual dice que los receptores por lo menos deberían tolerar 14.9 dB de C/N.

Por otro lado se puede deducir que para estas condiciones de recepción, los receptores estándar (R1, R2 y R3) tuvieron un desempeño parecido entre ellos y mejor que el desempeño de los receptores SDR (R4 y R5) por aproximadamente 1.5 dB dentro de ambos entornos de propagación.

De los resultados obtenidos anteriormente (Parámetros básicos del funcionamiento de los receptores) (véase 4.1), se pudo deducir que para condiciones de recepción estáticas o a velocidades bajas, la influencia de la codificación de Reed Solomon es muy poca, ya que la diferencia entre usar la configuración C1 o C4 (QQQQ RS 48 y QQQQ RS 24 respectivamente) así como la diferencia entre usar la configuración C2 o C5 (HHHH RS 48 y HHHH RS 36 respectivamente) suele ser menor de 1 dB. Para estos dos entornos de propagación en donde se evaluó el desempeño de los receptores en con condiciones estáticas, se presento el mismo resultado. Se puede visualizar en la figura 4.9 que la diferencia entre utilizar la configuración C1 y la configuración C4 dentro del modelo de canal de Brasil A-6 fue de 0.4 dB para los receptores estándar (R1, R2 y R3) y de 0.3 dB para los receptores SDR (R4 y R5), así mismo la diferencia entre utilizar la configuración C2 y la configuración C5 dentro del modelo de canal de Brasil A-6

fue de 0.4 dB para todos los receptores. De la misma forma, observando la figura 4.8, se visualiza que la diferencia entre utilizar la configuración C1 y la configuración C4 dentro del modelo de canal de Brasil D-6 fue de 0.5 dB para todos los receptores, así mismo la diferencia entre utilizar la configuración C2 y la configuración C5 dentro del modelo de canal de Brasil D-6 fue de 0.2 dB.

También de los resultados obtenidos anteriormente (Parámetros básicos del funcionamiento de los receptores) (véase 4.1), se puede deducir que para condiciones de recepción estáticas o a velocidades bajas, la influencia de la codificación utilizada en la región A es mayor a 2 dB. Este patrón se repite en estas pruebas que evaluaron el desempeño de los receptores en entornos de propagación fijos. Esto se observa al comparar el desempeño de los receptores al utilizar la configuración C1 o la configuración C3 (QQQQ RS 48 y HQQQ RS 48 respectivamente), ya que la única diferencia que presentan ambas configuraciones es la configuración utilizada en la región A. En la figura 4.9 se observa que cuando se evaluaron los receptores dentro del modelo de canal de Brasil A-6, la diferencia entre utilizar la configuración C1 y la configuración C3 fue de 3 dB para los receptores estándar y de 2.5 dB para los receptores SDR. De la misma forma, al observar la figura 4.10, se puede ver que cuando se evaluaron los receptores dentro del modelo de canal de Brasil D-6, la diferencia entre utilizar la configuración C1 y la configuración C3 fue de 2.5 dB para todos los receptores.

4.2.2. Red SFN de dos transmisores utilizando el modelo de canal Brasil A-6

Hablando de recepción fija, una situación muy habitual en la Ciudad de México es la recepción de la señal de televisión por medio de una antena que es colgada en el exterior de una casa o un edificio, la cual suele ser apuntada hacia el transmisor, por lo cual tiene una línea de vista hacia el transmisor. Este entorno de propagación se puede representar por el modelo de canal Brasil A-6 (véase 2.2). El principal objetivo de esta prueba fue evaluar el desempeño de los receptores en condiciones de una red SFN con dos transmisores, utilizando el modelo de canal Brasil A-6 que representa recepción fija en exteriores.

En la prueba se evaluaron los cinco receptores para obtener la respuesta del ecualizador de canal, al utilizar tres diferentes configuraciones de FEC (C1, C2 y C3). La diferencia entre las tres configuraciones de FEC es la codificación SCCC, mientras que la codificación Reed Solomon se mantiene siempre de 48 bytes (véase 3.5).

En las figuras 4.11, 4.12 y 4.13 se muestra el desempeño de los receptores dentro de una red SFN de dos transmisores para recepción fija en exteriores de cada una de las configuraciones utilizadas. Estas figuras representan para cada configuración utilizada el valor límite para una buena recepción de la señal, dado por la amplitud de potencia relativa del conjunto de señales del transmisor directo (el conjunto de señales con mayor potencia) y el conjunto de señales del otro transmisor (el conjunto de señales con menor potencia), variando la distancia relativa del receptor a cada transmisor mediante retardos. Estos resultados se comparan con los de la recomendación A/74 [21], la cual describe los valores límites propuestos para condiciones de eco estático, lo cual representa a una red SFN ideal. La recomendación de A/74 sirve para tener una referencia de como

deberían comportarse los receptores dentro de una red SFN, sin embargo hay que recordar que esta recomendación es para ATSC y no para ATSC-M/H.

En la figura 4.11 se observa la respuesta del ecualizador de canal de los cinco receptores evaluados dentro la situación descrita anteriormente, utilizando la configuración C1 (QQQQ RS 48). Lo primero que se observa es que todos los receptores tuvieron un mejor desempeño que lo que se sugiere en la recomendación A/74 (gráfica de color marrón). Recordando que la configuración C1 es la configuración de FEC con mayor protección de canal utilizada en ATSC-M/H, se observa que la mejora con respecto a lo recomendado para es el estándar fijo es mucha en todos los receptores.

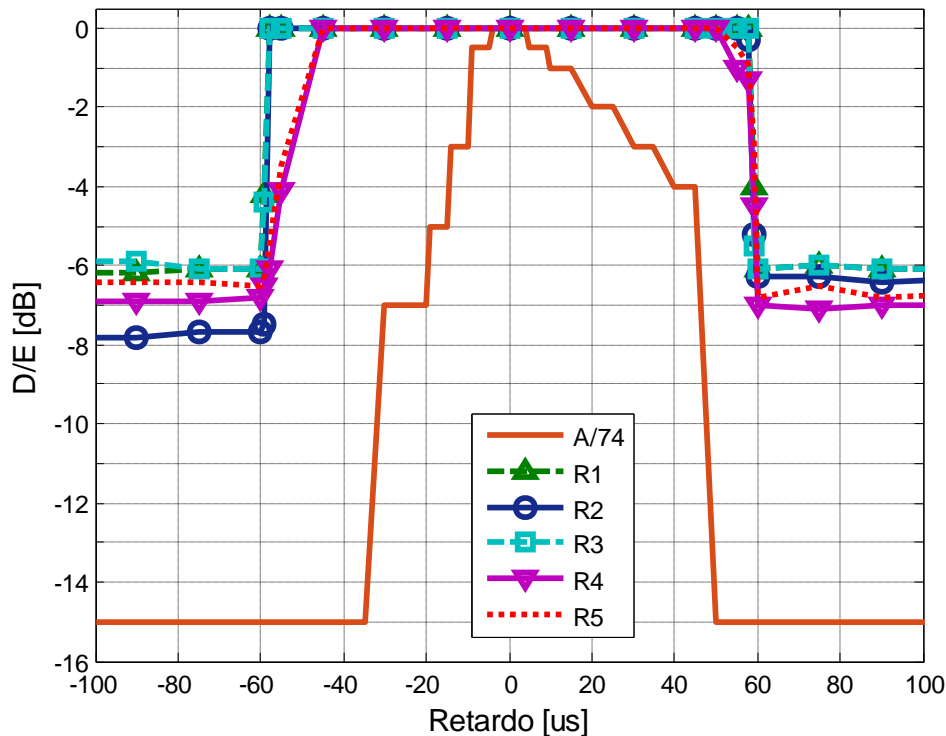


Figura 4.11 Respuesta de los receptores ante una red SFN de dos transmisores al utilizar la configuración C1 (QQQQ RS 48) dentro de un modelo de recepción fija en exteriores

Se puede observar que al utilizar la configuración C1, en el rango de $-58 \mu\text{s}$ a $59 \mu\text{s}$ los receptores R1, R2 y R3 no presentaron error inclusive para el caso cuando las señales provenientes de los dos transmisores llegaron con la misma amplitud. Para el caso de los receptores R4 y R5 no presentaron error en el rango de $-45 \mu\text{s}$ a $57 \mu\text{s}$.

Por otro lado, se puede observar que el receptor R2 presenta mayores dificultades en situaciones de pre-eco (retardos negativos) que en situaciones de post-eco (retardos positivos), ya que para el rango de $-100 \mu\text{s}$ a $-60 \mu\text{s}$ su desempeño fue 1.5 dB por debajo del rango de $60 \mu\text{s}$ a $100 \mu\text{s}$.

El receptor R3 seguido por muy poco del receptor R1 son los que presentan un mejor desempeño al utilizar la configuración C1, además de que no muestran una gran diferencia en situaciones de pre-eco y post-eco.

En la figura 4.12 se observa la respuesta del ecualizador de canal de los cinco receptores evaluados dentro la situación descrita anteriormente, utilizando la configuración C2 (HHHH RS 48). Nuevamente lo primero que se observa en la figura es que todos los receptores tuvieron un mejor desempeño que lo que se sugiere en la recomendación A/74 (gráfica de color marrón). La configuración C2, al igual que la configuración C1, utiliza una codificación de Reed Solomon de 48 bytes pero en cuestión de la codificación SCCC es la menos protegida, aún así se observa que la mejora con respecto a lo recomendado para es el estándar fijo es mucha en todos los receptores.

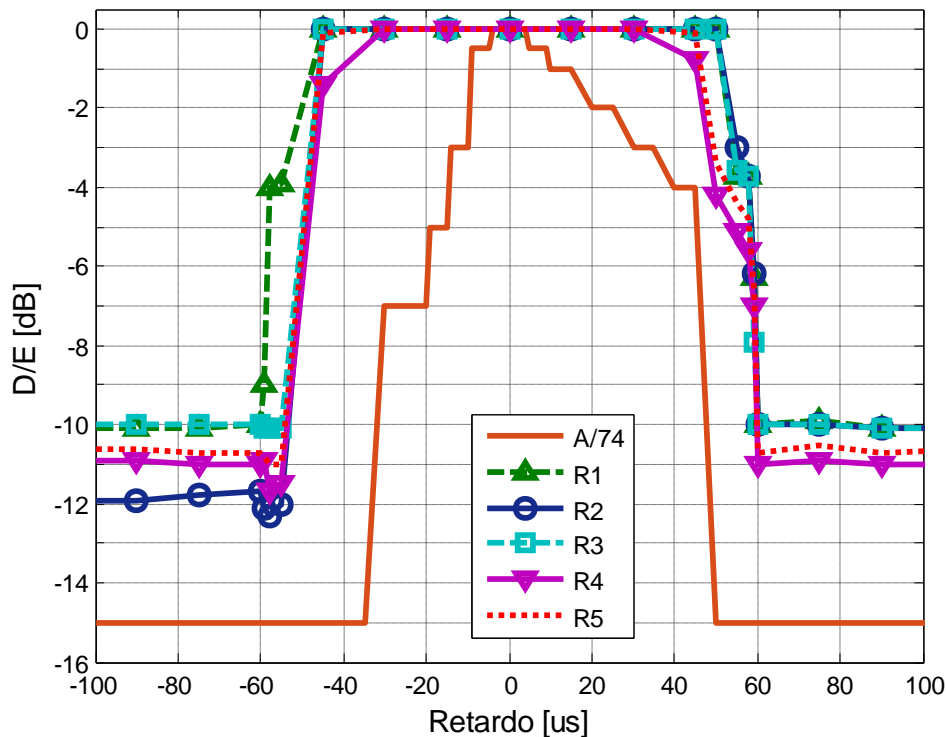


Figura 4.12 Respuesta de los receptores ante una red SFN de dos transmisores al utilizar la configuración C2 (HHHH RS 48) dentro de un modelo de recepción fija en exteriores

También se puede observar que al utilizar la configuración C2, en el rango de $-45 \mu\text{s}$ a $50 \mu\text{s}$ los receptores R1, R2 y R3 no presentaron error inclusive para el caso cuando las señales provenientes de los dos transmisores llegaron con la misma amplitud. Para el caso del receptor R4 no presenta error en el rango de $-35 \mu\text{s}$ a $35 \mu\text{s}$. Y para el caso del receptor R5 no presenta error en el rango de $-45 \mu\text{s}$ a $45 \mu\text{s}$.

Con esta configuración de FEC, también se puede observar que el receptor R2 presenta mayores dificultades en situaciones de pre-eco (retardos negativos) que en situaciones de post-eco (retardos positivos), ya que para el rango de $-100 \mu\text{s}$ a $-50 \mu\text{s}$ su desempeño fue 2 dB por debajo del rango de $60 \mu\text{s}$ a $100 \mu\text{s}$.

Al utilizar esta configuración el receptor R1 seguido por muy poco del receptor R3 son los que presentan un mejor desempeño, además de que nuevamente no muestran una gran diferencia en situaciones de pre-eco y post-eco.

Finalmente en la figura 4.13 se observa la respuesta del ecualizador de canal de los cinco receptores evaluados dentro la situación descrita anteriormente, utilizando la configuración C3 (HQQQ RS 48).

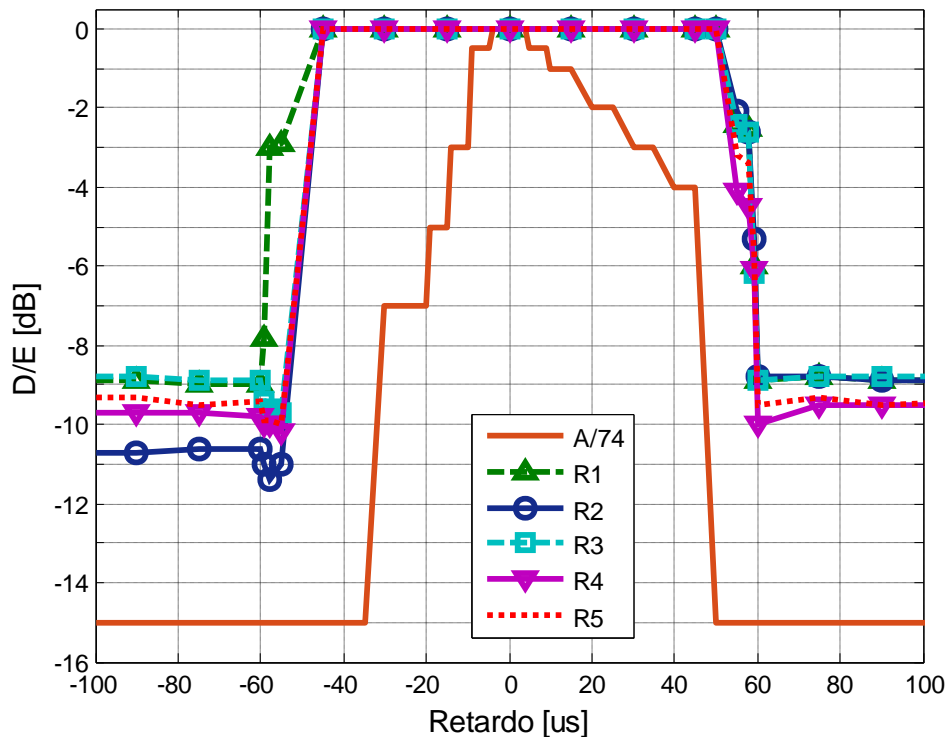


Figura 4.13 Respuesta de los receptores ante una red SFN de dos transmisores al utilizar la configuración C3 (HQQQ RS 48) dentro de un modelo de recepción fija en exteriores

Al igual que con las configuraciones anteriores, lo primero que se observa en la figura es que todos los receptores tuvieron un mejor desempeño que lo que se sugiere en la recomendación A/74 (gráfica de color marrón). La configuración C3, al igual que la configuración C1 y C2, utiliza una codificación de Reed Solomon de 48 bytes pero en cuestión de la codificación SCCC tiene una codificación mixta, donde la codificación utilizada en la región A es de $\frac{1}{2}$ y en las demás de $\frac{1}{4}$, se observa que la mejora con respecto a lo recomendado para es el estándar fijo es mucha en todos los receptores.

Otro aspecto que se puede observar es que al utilizar la configuración C3, en el rango de -45 μ s a 50 μ s todos los receptores no presentaron error inclusive para el caso cuando las señales provenientes de los dos transmisores llegaron con la misma amplitud.

Con esta configuración de FEC, también se observa que el receptor R2 presenta mayores dificultades en situaciones de pre-eco (retardos negativos) que en situaciones de post-eco (retardos

positivos), ya que para el rango de $-100 \mu\text{s}$ a $-50 \mu\text{s}$ su desempeño fue 1.8 dB por debajo del rango de $60 \mu\text{s}$ a $100 \mu\text{s}$.

Con estos resultados se observa que el receptor R1 seguido por muy poco del receptor R3 son los que presentan un mejor desempeño al utilizar la configuración C3, además de nuevo no muestran una gran diferencia en situaciones de pre-eco y post-eco.

Al comparar las figuras 4.11, 4.12 y 4.13, se observa que el desempeño de los receptores varía dependiendo la configuración utilizada. Sin embargo, en el rango de $-35 \mu\text{s}$ a $35 \mu\text{s}$ ningún receptor presentó errores inclusive con una potencia relativa D/E de 0 dB sin importar la configuración utilizada.

Con lo anterior, se puede observar que los receptores siguieron el mismo patrón de comportamiento al evaluar su desempeño con las tres diferentes configuraciones de FEC.

La Facultad de Ingeniería dentro del proyecto REFUTV realizó esta prueba para evaluar el desempeño de seis receptores ATSC fijos [25], de los cuales dos de ellos tuvieron un desempeño por debajo de la recomendación A/74 y los demás solo en situaciones de post-eco funcionaron mejor que lo que se sugiere en la recomendación. Lo cual podría presentar un problema a la hora de implementar redes SFN en la ciudad de México si se utiliza el estándar A/53, pero para el caso del estándar A/153, un entorno de propagación como el antes descrito, no presenta ningún inconveniente.

4.2.3. Red SFN de dos transmisores utilizando el modelo de canal Brasil D-6

Otra situación muy habitual en la ciudad de México es la recepción de la señal de televisión por medio de una antena colgada en el interior de una casa o un edificio, la cual suele ser una antena dipolo y recibe todo el multitrayecto generado por las reflexiones de la señal en el exterior e interior de la construcción. Este entorno de propagación se puede representar por Brasil D-6 (véase 2.2) como modelo de canal. El principal objetivo de esta prueba fue evaluar el desempeño de los receptores en condiciones de una red SFN con dos transmisores, utilizando el modelo de canal Brasil D-6 que representa recepción fija en interiores. En esta prueba se evaluaron los cinco receptores para obtener la respuesta del ecualizador de canal, al utilizar tres diferentes configuraciones de FEC (C1, C2 y C3). La diferencia entre las tres configuraciones de FEC es la codificación SCCC, mientras que la codificación Reed Solomon se mantiene siempre de 48 bytes (véase 3.5).

En las figuras 4.14, 4.15 y 4.16 se muestra el desempeño de los receptores dentro de una red SFN de dos transmisores para recepción fija en interiores de cada una de las configuraciones utilizadas. Estas figuras representan para cada configuración utilizada, el valor límite para una buena recepción de la señal, dado por la amplitud de potencia relativa del conjunto de señales del transmisor directo (el conjunto de señales con mayor potencia) y el conjunto de señales del otro transmisor (el conjunto de señales con menor potencia), variando la distancia relativa del receptor a cada transmisor mediante retardos. Estos resultados se comparan con los de la recomendación A/74 [21], la cual describe los valores límites propuestos para condiciones de eco estático, lo cual

representa a una red SFN ideal. Sin embargo hay que recordar que esta es una recomendación hecha para ATSC, no para ATSC-M/H.

La figura 4.14 muestra los resultados del desempeño de los cinco receptores, al ser evaluados dentro la situación descrita anteriormente al ser utilizada la configuración C1 (QQQQ RS 48) como modo de transmisión. En esta figura lo primero que se puede observar es que todos los receptores tuvieron un mejor desempeño que lo sugiere la recomendación A/74 (gráfica color marrón). Tomando en cuenta que la configuración C1 es la configuración de FEC con mayor protección de canal que se puede utilizar en ATSC-M/H, se observa claramente una mejora en comparación con lo recomendado para el estándar fijo.

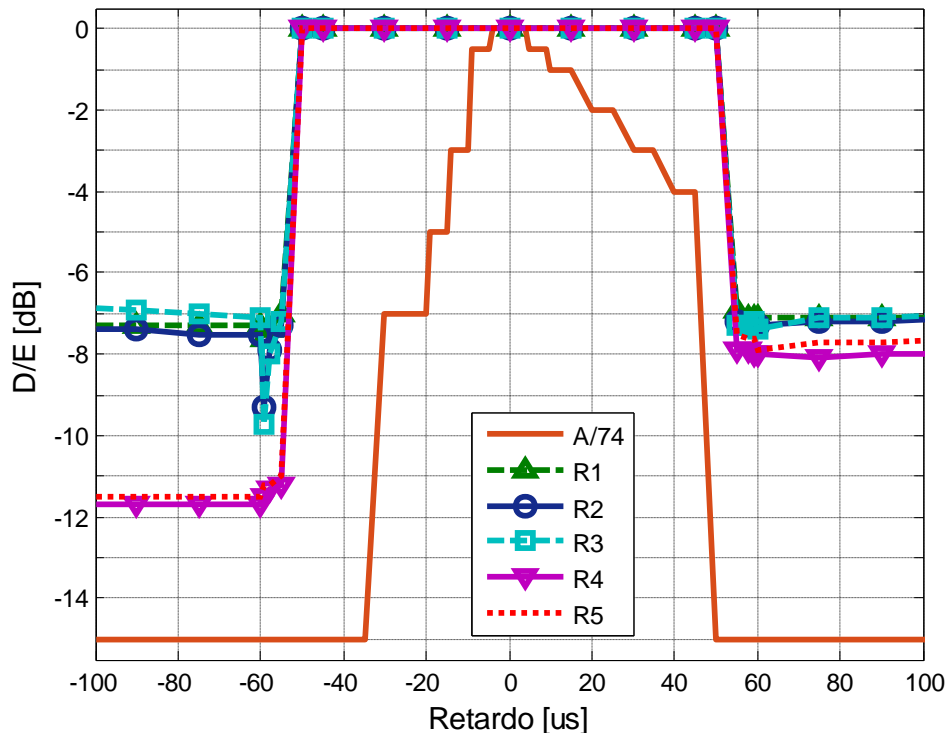


Figura 4.14 Respuesta de los receptores ante una red SFN de dos transmisores al utilizar la configuración C1 (QQQQ RS 48) dentro de un modelo de recepción fija en interiores

A la vez, se observa que en el rango de $-50 \mu\text{s}$ a $50 \mu\text{s}$ los receptores no presentan ningún error inclusive para el caso en que las señales provenientes de ambos transmisores llegan con la misma amplitud.

Por otro lado se observa que a excepción del receptor R1, los demás receptores presentan un peor desempeño en situaciones de pre-eco (retardos negativos) que de post-eco (retardos positivos), en especial los receptores SDR (R4 y R5), ya que para el rango de $-100 \mu\text{s}$ a $-60 \mu\text{s}$ estos receptores tuvieron un desempeño de 3.6 dB por debajo que en el rango de $55 \mu\text{s}$ a $100 \mu\text{s}$.

El receptor R1 es el que presenta un mejor desempeño al utilizar la configuración C1, ya que a pesar de los receptores R2 y R3 tuvieron desempeño muy parecido a este, R1 no presenta una caída tan brusca en $60 \mu\text{s}$ como los otros dos.

Capítulo 4. Análisis de Resultados

Los resultados de la evaluación de los receptores al utilizar la configuración C2 (HHHH RS 48) dentro de una red SFN de dos transmisores con las condiciones anteriormente descritas, se muestran en la figura 4.15.

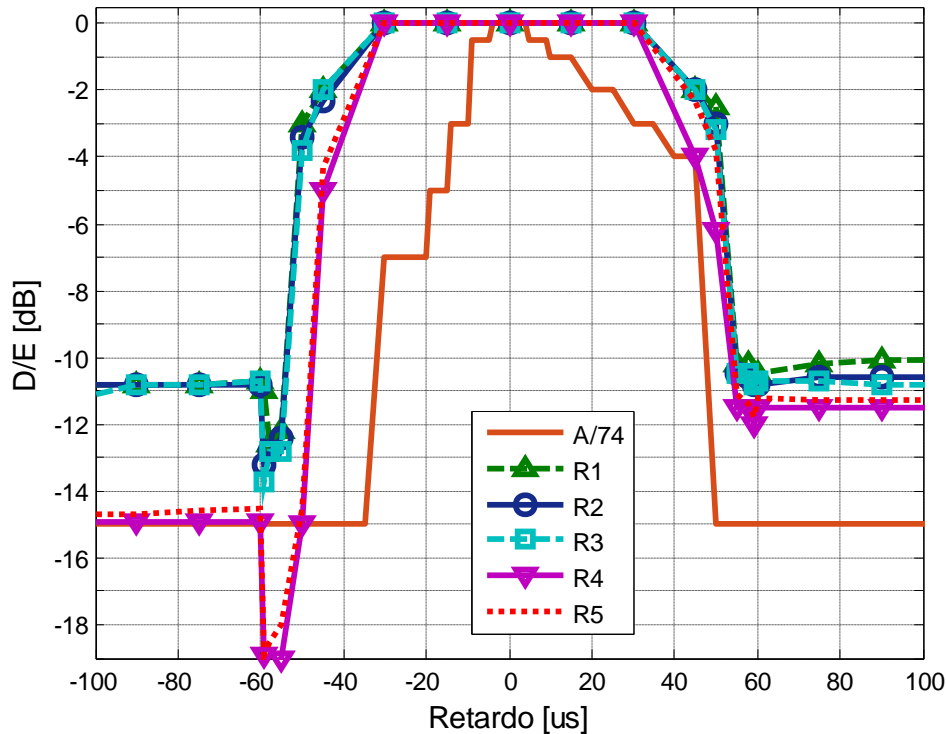


Figura 4.15 Respuesta de los receptores ante una red SFN de dos transmisores al utilizar la configuración C2 (HHHH RS 48) dentro de un modelo de recepción fija en interiores

Para esta configuración utilizada, se observa que solo los receptores estándar (R1, R2 y R3) siempre se mantuvieron por encima de la recomendación (gráfica marrón) y que los receptores SDR solo en el caso de post-eco (retardos positivos) estuvieron por encima de la recomendación pero en el caso de pre-eco (retardos negativos) esto no se cumplió en el rango de $-60 \mu\text{s}$ a $-50 \mu\text{s}$.

Comparando las figuras 4.14 y 4.15 se observa que al usar configuración C2 el desempeño de los receptores empeora. Por ejemplo, para la configuración C2 los receptores no presentan errores inclusive cuando las señales provenientes de ambos transmisores llegan con la misma potencia solo en el rango de $-35 \mu\text{s}$ a $35 \mu\text{s}$. Esto significa que al utilizar esta configuración, los receptores comienzan a exigir $15 \mu\text{s}$ antes (tanto en pre-eco como en post-eco) que las señales provenientes de alguno de los dos transmisores lleguen atenuadas con respecto a las señales provenientes del otro transmisor.

A pesar de que la recomendación A/74 es para el estándar ATSC, es una buena referencia para poder evaluar el ecualizador de canal de los receptores. Por cual, siguiendo esta referencia, se puede observar que para el correcto funcionamiento de todos los receptores al utilizar la configuración C2 en recepción fija en exteriores dentro de una red SFN, la diferencia de retardos de las señales provenientes de un transmisor u otro debe estar en el rango de $-50 \mu\text{s}$ a $100 \mu\text{s}$. Esta

Capítulo 4. Análisis de Resultados

diferencia de retardos representa la distancia relativa de los transmisores al receptor. Es decir, que sin importar si los receptores están en una situación de pre-eco o de post-eco la máxima diferencia de retardos entre las señales provenientes de un transmisor con otro debería ser $50 \mu\text{s}$.

Como ya se sabe la velocidad a la que viaja la señal de ATSC-M/H es de $3 \times 10^8 \text{ m/s}$, por lo cual, la distancia relativa máxima de los transmisores al receptor debería ser de:

$$d_{relativa} = \left(3 \times 10^8 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]\right) (50 \times 10^{-6} [\text{s}])$$

$$d_{relativa} = 15 \times 10^3 [\text{m}]$$

Por lo tanto, al usar la configuración C2 la distancia relativa máxima de los transmisores al receptor debería ser de 15 km. Esta distancia relativa es un factor importante a la hora de hacer cálculos de coberturas para la implementación de redes SFN de dos transmisores en la ciudad de México para recepción fija en interiores.

Por otro lado, en la figura 4.15 se observa que todos los receptores presentan un peor desempeño en situaciones de pre-eco que de post-eco, en especial en rango de $-60 \mu\text{s}$ a $-50 \mu\text{s}$, ya que en ese rango todos los receptores presentaron un peor desempeño, sobre todo los receptores SDR (R4 y R5), ya que en ese rango los receptores exigen una relación de potencia (D/E) máxima de -19 dB para la correcta demodulación de la señal.

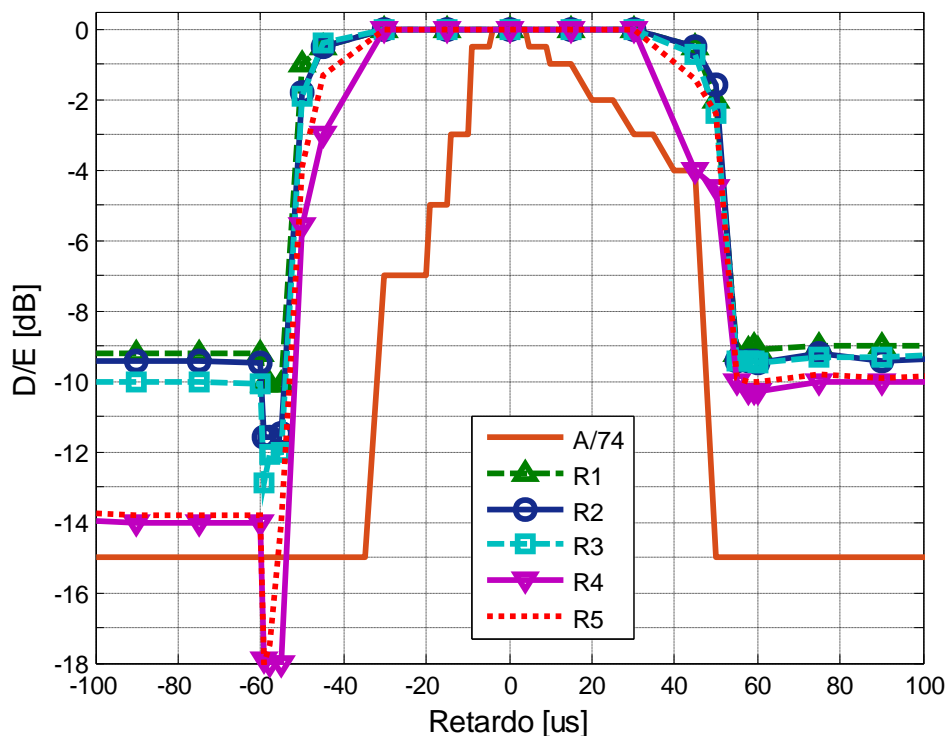


Figura 4.16 Respuesta de los receptores ante una red SFN de dos transmisores al utilizar la configuración C3 (HQQ RS 48) dentro de un modelo de recepción fija en interiores

El receptor R1 es el que presenta un mejor desempeño al utilizar la configuración C2, ya que a pesar de los receptores R2 y R3 tuvieron desempeño muy parecido a este, R1 tuvo ligeramente un mejor desempeño en situaciones de post-eco.

La configuración C2 tiene la misma codificación de Reed Solomon que la configuración C1, pero la codificación utilizada en cada una de las cuatro regiones de la capa física de ATSC-M/H tiene una tasa de codificación de $\frac{1}{2}$ y no de $\frac{1}{4}$, debido a esto se observó que la implementación de la red SFN para recepción en interiores, comenzó tener limitaciones al utilizar la configuración C2. Otro caso se presenta al utilizar la configuración C3, la cual también mantiene 48 bytes de corrección de errores para Reed Solomon pero en la codificación SCCC tiene una codificación mixta (HQQQ RS 48). En la figura 4.16 se muestran los resultados de evaluar los receptores al utilizar esta configuración.

Al comparar las figuras 4.14, 4.15 y 4.16 se observa que al utilizar la configuración C3 se tiene un desempeño de los receptores más parecido a la configuración C2 que a la configuración C1. Recordando los resultados de las pruebas anteriores (Parámetros básicos de funcionamiento de los receptores) (véase 4.1), en donde se habla de la gran influencia de la codificación utilizada en la región A para recepción fija o con una frecuencia Doppler pequeña y recordando que Brasil D-6 es un modelo de canal para recepción fija, se observa nuevamente que a pesar del multitrayecto, la codificación utilizada la región A de la capa física de ATSC es un factor muy importante para el desempeño de los receptores.

Al utilizar esta configuración, se observa en la figura 4.16 que ningún receptor presentó errores en el rango de $-35 \mu\text{s}$ a $35 \mu\text{s}$, inclusive en el caso en que ambos grupos de señales llegaban con la misma potencia ($E/D = 0 \text{ dB}$).

Los receptores estándar tuvieron un desempeño parecido en situaciones de pre-eco (retardos negativos) que en situaciones de post-eco (retardos positivos) a excepción de los resultados presentados en el rango de $-60 \mu\text{s}$ a $-50 \mu\text{s}$ ya que se puede observar que el desempeño de R2 y R3 cae más de 2 dB. El receptor R1 nuevamente es el que presenta un mejor desempeño tanto en pre-eco como en post-eco, sin embargo también se observa que su desempeño se ve afectado en el rango de $-60 \mu\text{s}$ a $50 \mu\text{s}$. En el rango de $-100 \mu\text{s}$ a $-60 \mu\text{s}$, los receptores SDR (R1 y R2) tuvieron un desempeño de 4 dB por debajo de lo que tuvieron en el rango de $60 \mu\text{s}$ a $100 \mu\text{s}$.

Nuevamente, tomando como referencia la recomendación A/74 (gráfica color marrón), se observa que al usar esta configuración, para que todos los receptores funcionen de manera correcta se necesitaría mantener el retardo de las señales provenientes de un transmisor respecto a las señales provenientes de otro en el rango de $-50 \mu\text{s}$ a $100 \mu\text{s}$. Para fines prácticos, nuevamente se toma como referencia $50 \mu\text{s}$ de retardo sin importar si se encuentra en situaciones de pre-eco o post-eco. Por lo tanto al igual que en la configuración anterior, la distancia relativa máxima de los transmisores al receptor debería ser de:

$$d_{relativa} = \left(3 \times 10^8 \left[\frac{m}{s}\right]\right) (50 \times 10^{-6} [s])$$

$$d_{relativa} = 15 \times 10^3 [m]$$

Esta prueba también fue realizada por la Facultad de Ingeniería dentro del proyecto REFUTV para evaluar el desempeño de los receptores ATSC fijos [25], y se puede observar que en todos los receptores evaluados estuvieron por debajo de la recomendación A/74 en la mayoría de los casos. Lo cual puede presentar un problema a la hora de implementar redes SNF de dos transmisores para recepción fija en interiores tomando como referencia la recomendación A/74. Sin embargo hay que recalcar que esta recomendación denota los valores mínimo que los receptores deberían presentar ante situaciones de una red SFN ideal. Por otro lado con estos resultados se puede observar claramente las ventajas que se tendrían al transmitir la señal de radiodifusión utilizando ATSC-M/H con respecto a ATSC inclusive utilizando la configuración C2.

4.3. Evaluación de los receptores en recepción móvil

En este grupo de pruebas, se muestra el desempeño de los receptores utilizando el estándar A/153 en entornos de recepción móvil. La importancia de estas pruebas radica en que ATSC-M/H es el estándar de televisión digital para recepción móvil y portátil y la finalidad de estas pruebas fue evaluar cómo se desempeñan los receptores ATSC-M/H en entornos de recepción móvil en aéreas rurales y urbanas.

4.3.1. Umbral de C/N utilizando los modelos de canal RA-6 y TU-6

Los modelos de canal de RA-6 y TU-6 simulan entornos de propagación de recepción móvil en áreas rurales y urbanas respectivamente (véase 2.3). La figura 4.15 representa el umbral de C/N de los cinco receptores para cada una de las cinco configuraciones de FEC utilizadas (véase 3.5) dentro de un entorno de propagación RA-6 usando una velocidad típica de 120 km/h, la figura 4.16 representa el umbral de C/N de los cinco receptores para cada una de las cinco configuraciones de FEC utilizadas (véase 3.5) dentro de un entorno de propagación TU-6 usando una velocidad típica de 120 km/h y la figura 4.17 representa el umbral de C/N de los cinco receptores para cada una de las cinco configuraciones de FEC utilizadas (véase 3.5) dentro de un entorno de propagación TU-6 usando una velocidad típica de 50 km/h.

Evaluando respuesta impulsional del canal de ambos modelos de propagación (véase 2.3), se puede deducir que el entorno de propagación de TU-6 es un entorno más agresivo debido a los retardos y potencia relativa del modelo. Al observar las figuras 4.17 y 4.19 se puede comprobar lo anterior, en las cuales se aprecia que todos los receptores ATSC-M/H para poder demodular correctamente la señal requirieron de un mayor umbral de C/N dentro de TU-6 que dentro de RA-6 para la misma velocidad. Sin embargo al comparar las figuras 4.16 y 4.17, se observa que la velocidad también es un factor determinante para el umbral de C/N de los receptores, ya que dentro del mismo modelo de canal (TU-6) todos los receptores ATSC-M/H para poder demodular correctamente la señal requirieron de un mayor umbral de C/N con una velocidad de 120 km/h que con una de 50 km/h.

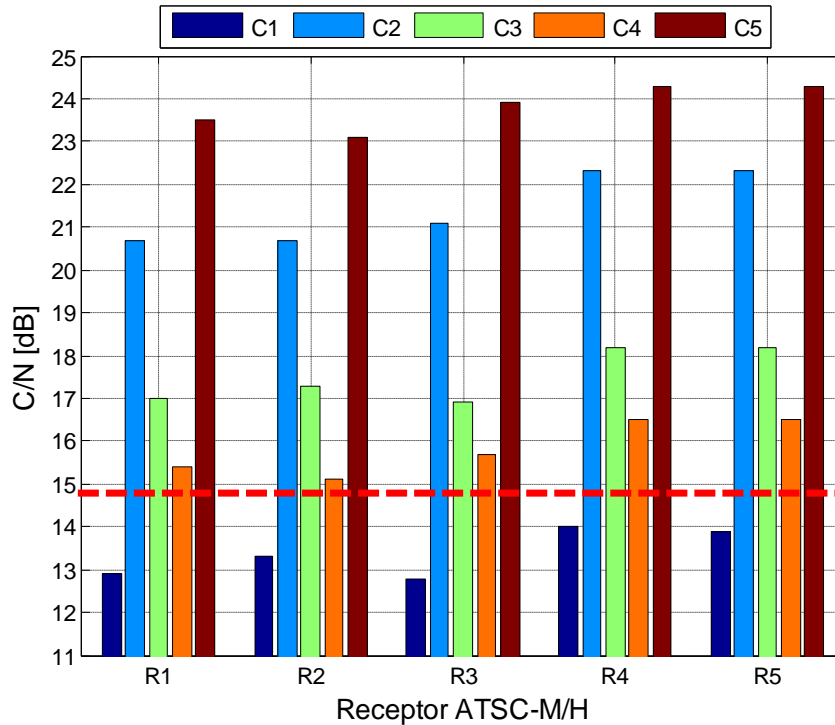


Figura 4.17 Umbral de C/N para RA-6 120 km/h

Con los resultados anteriores (parámetros básicos del funcionamiento de los receptores) (véase 4.1), se observó que la influencia del codificador de Reed Solomon es mayor a medida que aumenta la velocidad del receptor, esto se debe a la frecuencia Doppler generada. Este efecto se observa en las figuras 4.15 y 4.16, para ambos modelos de canal a una velocidad de 120 km/h cuando se evalúan los receptores con ecualizador de canal electrónico la diferencia entre usar la configuración C1 y C4 (RS 48 y RS 24) es de 3 dB mientras que para los receptores SDR es de 2.5 dB. De la misma forma en la figura 4.17 se observa que al volver a evaluar los receptores con el modelo de canal TU-6 pero con una velocidad menor, la diferencia entre usar la configuración C1 y C4 es de 1 dB mientras que para los receptores SDR es de 1.8 dB.

En la figura 4.15 se observa que cuando se viaja a una velocidad de 120 km/h en un área rural sin montañas representado por RA-6, únicamente al utilizar la configuración C1 (QQQQ RS 48) los receptores lograron obtener un mejor desempeño que los que la recomendación A/54 dice, 14.9 dB [22], a diferencia de las cuatro configuraciones restantes, las cuales sobre pasan el umbral recomendado.

Al usar el modelo de canal TU-6 con una velocidad de 120 km/h se observó que al utilizar la configuración C1 solo los receptores con ecualizador electrónico tienen un mejor desempeño que el recomendado de 14.9 dB y al utilizar las demás configuraciones, todos los receptores sobre pasan el umbral de C/N recomendado. Esto se observa claramente en la figura 4.16.

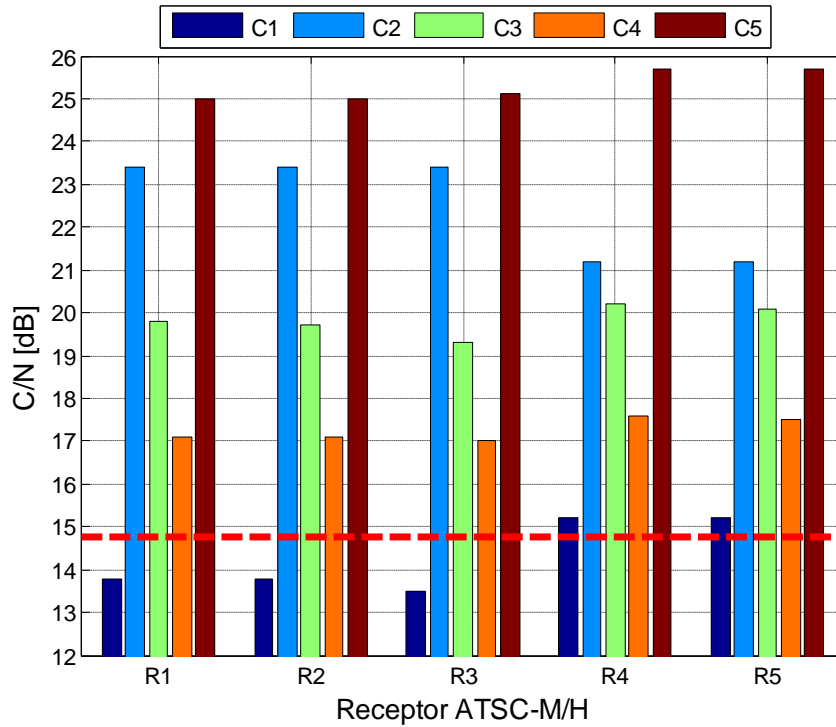


Figura 4.18 Umbral de C/N para TU-6 120 km/h

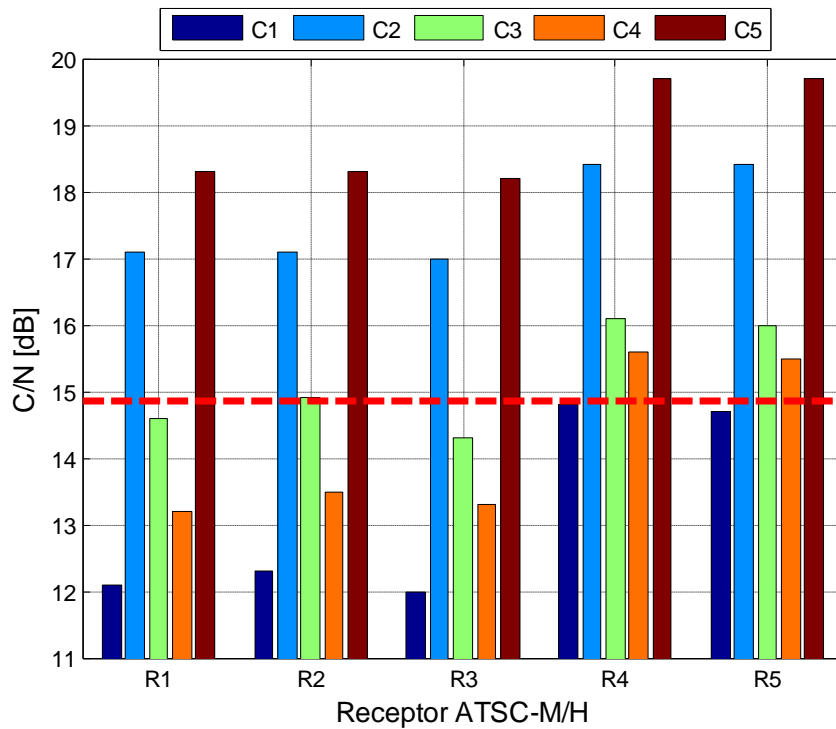


Figura 4.19 Umbral de C/N para TU-6 50 km/h

Sin embargo, en la figura 4.17, se observa que al usar el modelo de canal TU-6 nuevamente pero con una velocidad de 50 km/h, los receptores con ecualizador electrónico, tuvieron un desempeño mejor que el recomendado al usar las configuraciones C1, C3 y C4, en cambio los receptores SDR solo pudieron cumplir el requerimiento de la recomendación al utilizar la configuración C1.

4.3.2. Red SFN de dos transmisores utilizando el modelo de canal RA-6

El modelo de canal RA-6 (véase 2.3) representa recepción móvil en áreas rurales sin montañas. El principal objetivo de esta prueba fue evaluar el desempeño de los receptores dentro de un red SFN de dos transmisores en un entorno de recepción móvil dentro de un área rural. Esto podría representar la recepción en zonas rurales sin montañas de gran extensión territorial como el Bajío que se encuentra en Querétaro, Guanajuato y Aguascalientes, ya que es muy común viajar por carreteras en zonas rurales a una velocidad de 120 km/h. En la prueba se evaluaron los cinco receptores para obtener la respuesta del ecualizador de canal, al utilizar tres diferentes configuraciones de FEC (C1, C2 y C3). La diferencia entre las tres configuraciones de FEC es la codificación SCCC, mientras que la codificación Reed Solomon se mantiene siempre de 48 bytes (véase 3.5).

En las figuras 4.20, 4.21 y 4.22 se muestra el desempeño de los receptores dentro de una red SFN de dos transmisores para recepción móvil en áreas rurales sin montañas a una velocidad de 120 km/h, cada figura representa respectivamente la configuración utilizada. Y representan el valor límite para una buena recepción de la señal, dado por la amplitud de potencia relativa del conjunto de señales del transmisor directo (el conjunto de señales con mayor potencia) y el conjunto de señales del otro transmisor (el conjunto de señales con menor potencia), variando la distancia relativa del receptor a cada transmisor mediante retardos. Estos resultados se comparan con los de la recomendación A/74 [21], la cual describe los valores límites propuestos para condiciones de eco estático, lo cual representa a una red SFN ideal en recepción fija o cuasiestática.

Al usar la configuración C1 (QQQQ RS 48) se obtuvieron los resultados presentados en la figura 4.20, en la cual se puede observar que para este caso solo el receptor R3 se mantuvo siempre dentro de los parámetros límites de la recomendación A/74 (gráfica marrón).

Se puede ver que ningún receptor presentó error en el rango $-58 \mu\text{s}$ a $59 \mu\text{s}$ ni siquiera en el caso en que las señales provenientes de ambos transmisores llegaron con la misma amplitud de potencia.

Los receptores estándar (R1, R2 y R3) presenta una peor respuesta en situaciones de pre-eco (retardos negativos) que de post-eco (retardos positivos), sobre todo R1 y R2 los cuales presentan un desempeño peor por más de 3 dB en el rango de $-100 \mu\text{s}$ a $-60 \mu\text{s}$ que en comparación con su desempeño en el rango de $60 \mu\text{s}$ a $100 \mu\text{s}$.

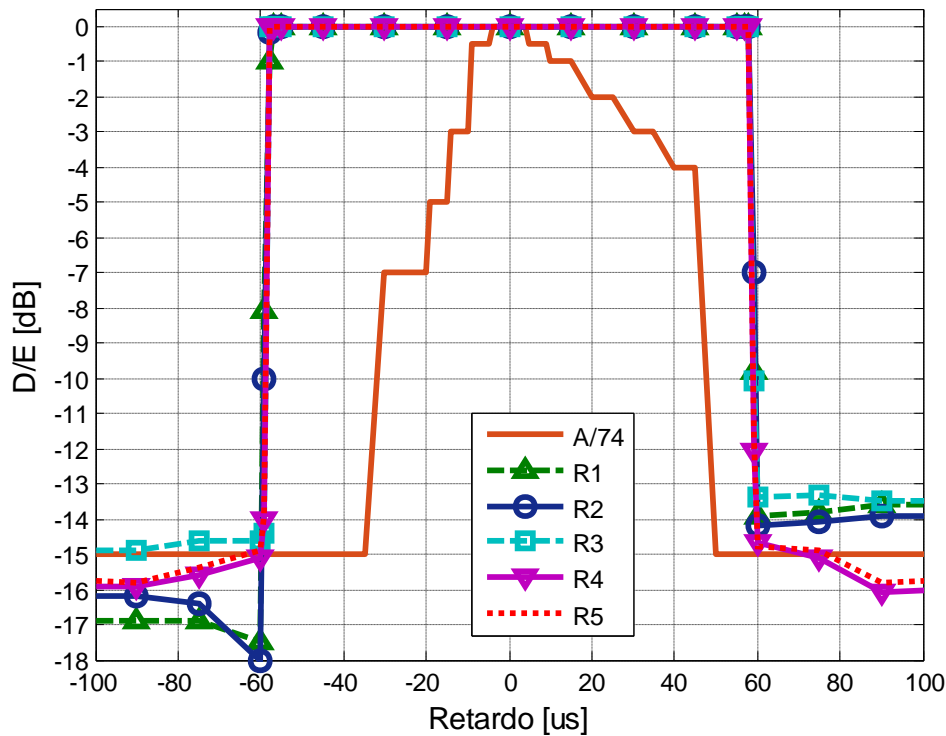


Figura 4.20 Respuesta de los receptores ante una red SFN de dos transmisores al utilizar la configuración C1 (QQQ RS 48) dentro de áreas rurales sin montañas a una velocidad de 120 km/h

Se sabe que la recomendación A/74 es para el estándar fijo. Sin embargo ATSC-M/H es una mejora del estándar ATSC. Por lo tanto tomando como referencia esta recomendación para el correcto funcionamiento de los receptores. Al utilizar la configuración C1 en recepción móvil dentro de zonas rurales sin montañas a la velocidad establecida, básicamente se puede observar que para estar dentro de los parámetros recomendados, la diferencia de retardos de las señales provenientes de un transmisor u otro debe estar en el rango de $-58 \mu\text{s}$ a $70 \mu\text{s}$. Esta diferencia de retardos representa la distancia relativa de los transmisores al receptor. Es decir, para fines prácticos sin importar si los receptores están en una situación de pre-eco o de post-eco la máxima diferencia de retardos entre las señales provenientes de un transmisor con otro debería ser $58 \mu\text{s}$, por lo tanto sí la velocidad a la que viaja la señal de ATSC-M/H es de $3 \times 10^8 \text{ m/s}$, la distancia relativa máxima de los transmisores al receptor debería ser siempre:

$$d_{relativa} = \left(3 \times 10^8 \left[\frac{m}{s} \right] \right) (58 \times 10^{-6} [s])$$

$$d_{relativa} = 17.4 \times 10^3 [m]$$

Esta distancia relativa es un factor importante a la hora de hacer cálculos de coberturas para la implementación de redes SFN de dos transmisores dentro un área rural sin montañas para recepción móvil con el estándar ATSC-M/H.

Capítulo 4. Análisis de Resultados

Comparando con los resultados anteriores (Evaluación de los receptores en recepción fija) (véase 4.2), se observa que el caso de recepción fija en interiores y exteriores la configuración C1, no presentaba ningún problema a la hora de implementar una red SFN. Sin embargo para recepción móvil si se presentan estos problemas al rebasar la máxima distancia relativa calculada, ya que además de que los receptores tuvieron un desempeño por debajo de la recomendación, en el rango fuera de $-58 \mu\text{s}$ a $60 \mu\text{s}$, los valores de D/E que exigen los receptores para demodular correctamente la señal son muy pequeños. Lo cual no garantiza el correcto funcionamiento de los receptores si se encontrase en estos rangos de retardos.

Recordando que la configuración C1 es la configuración de FEC con mayor protección de codificación de canal que se puede utilizar en ATSC-M/H, fue importante evaluar el desempeño de los receptores en estas mismas condiciones al utilizar la configuración C2 (HHHH RS 48), la cual sigue manteniendo 48 bytes de corrección de error pero con la menor tasa de codificación SCCC permitida en cada una de las regiones de la señal ATSC-M/H. Los resultados se muestran en la figura 4.21.

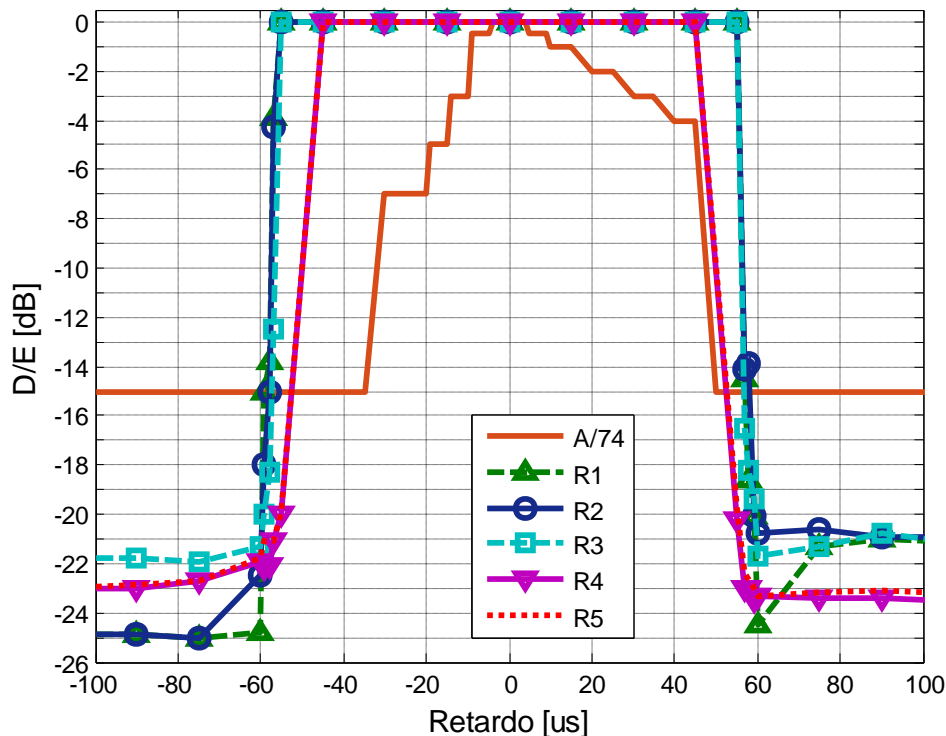


Figura 4.21 Respuesta de los receptores ante una red SFN de dos transmisores al utilizar la configuración C2 (HHHH RS 48) dentro de áreas rurales sin montañas a una velocidad de 120 km/h

En el rango de $-57 \mu\text{s}$ a $58 \mu\text{s}$, los tres receptores estándares (R1, R2 y R3) no presentaron errores inclusive para el caso cuando las señales provenientes de los dos transmisores llegaron con la misma amplitud. A su vez los receptores SDR (R4 y R5) no presentaron ningún error solo en el rango de $-45 \mu\text{s}$ a $45 \mu\text{s}$.

Capítulo 4. Análisis de Resultados

En la figura 4.21 también se puede observar que una situación de pre-eco presenta mayores problemas con para los receptores R1 y R2.

Para estar dentro de un rango de retardos relativos en los que todos los receptores puedan funcionar de manera correcta, se necesitaría estar dentro del rango de $-50 \mu\text{s}$ a $50 \mu\text{s}$. Por lo tanto se podría decir que que sin importar que los receptores estén dentro de una situación de pre-eco o de post-eco la máxima diferencia de retardos relativos debería ser de $50 \mu\text{s}$. Por lo cual la máxima distancia relativa de los transmisores al receptor sería:

$$d_{\text{relativa}} = \left(3 \times 10^8 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]\right) (50 \times 10^{-6} [\text{s}])$$

$$d_{\text{relativa}} = 15 \times 10^3 [\text{m}]$$

Esta distancia relativa de 15 km es un factor importante a la hora de calcular converturas en zonas rurales sin montañas para recepción móvil dentro de una red SFN. Comparando con los resultados de las pruebas anteriores (Evaluación de los receptores en recepción fija) (véase 4.2), se observa que al utilizar esta configuración tanto en recepción fija en interiores y exteriores como en recepción móvil en áreas rurales sin montañas, la distancia relativa calculada fue la misma.

Al evaluar los receptores usando la configuración mixta C3 (HQQQ RS 48) como modo de transmisión se obtuvieron los resultados mostrados en la figura 4.22

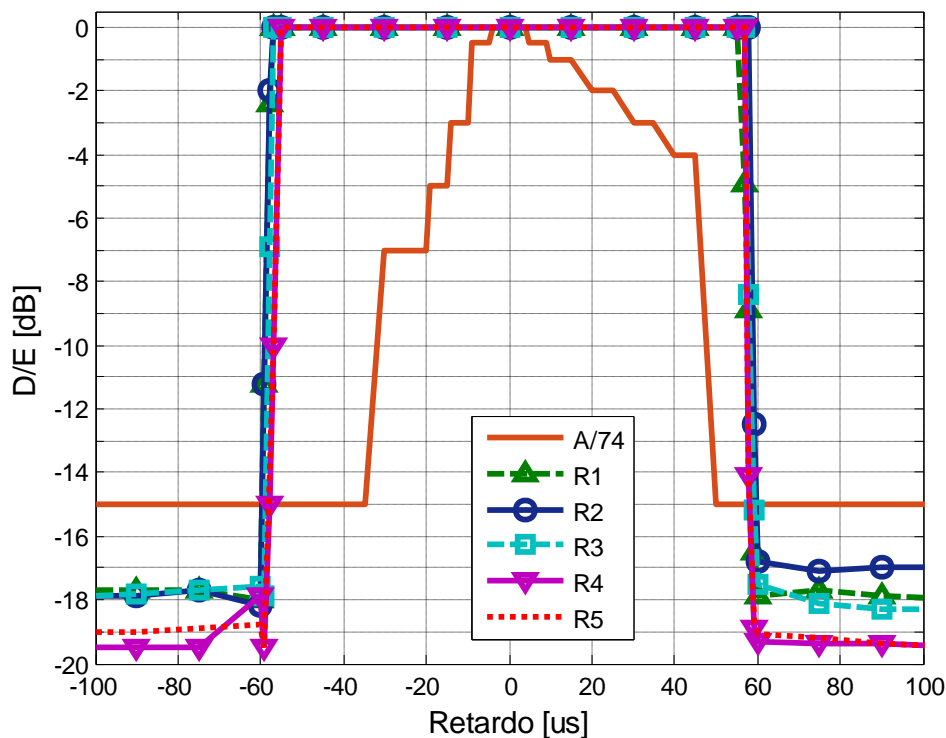


Figura 4.22 Respuesta de los receptores ante una red SFN de dos transmisores al utilizar la configuración C3 (HQQQ RS 48) dentro de áreas rurales sin montañas a una velocidad de 120 km/h

Recordando los resultados anteriores (Parámetros básicos de funcionamiento de los receptores) (véase 4.1), en los cuales se menciona que a medida que se tiene un efecto mayor de la frecuencia Doppler, la codificación utilizada en la región A va perdiendo influencia en el desempeño de los receptores, esto se comprueba observando la figura 4.22 ya que el desempeño de los receptores al utilizar la configuración C3 fue más parecido que desempeño cuando se usa la configuración C1 que la configuración C2. Estos resultados son diferentes a lo que se observa en recepción fija en interiores y exteriores (véase 4.2).

Al utilizar esta configuración de FEC, se observa que los receptores estándar (R1, R2 y R3), tuvieron un desempeño muy similar en situaciones de pre-eco, pero el receptor R2 tuvo ligeramente un mejor desempeño en situaciones de post-eco. Para el rango fuera de $-58 \mu\text{s}$ a $58 \mu\text{s}$ los receptores SDR (R4 y R5) tuvieron un desempeño de 2 dB por debajo de los receptores estándar.

Ningún receptor presentó errores en el rango de $-58 \mu\text{s}$ a $58 \mu\text{s}$ inclusive para las situaciones en que las señales provenientes de ambos transmisores llegaron con la misma potencia. Fuera de ese rango se observa que el desempeño de los receptores se encuentra por debajo de la recomendación de ATSC (gráfica marrón) y además los niveles de D/E que exigen los receptores para demodular correctamente la señal de ATSC-M/H son valores muy pequeños, por lo cual no se podría garantizar la correcta recepción de la señal en estos rangos de retardos relativos.

Por lo tanto al igual que al utilizar la configuración C1, la máxima diferencia de retardos permitida sería de $58 \mu\text{s}$, sin importar si se encuentran los receptores en situaciones de pre-eco o post-eco. Básicamente la máxima distancia relativa permitida para la correcta recepción de la señal sería:

$$d_{relativa} = \left(3 \times 10^8 \left[\frac{m}{s} \right] \right) (58 \times 10^{-6} [s])$$

$$d_{relativa} = 17.4 \times 10^3 [m]$$

Se observa que la distancia relativa al utilizar esta configuración fue la misma que al utilizar la configuración C1, lo cual difiere de los resultados de la evaluación de los receptores en recepción fija para interiores y exteriores. Todo esto sigue comprobando los resultados anteriores (Parámetros básicos de funcionamiento de los receptores) (véase 4.1) los cuales hablan de la influencia de la codificación utilizada en la región A para recepción fija ó móvil.

4.3.3. Red SFN de dos transmisores utilizando el modelo de canal TU-6

El modelo de canal Typical Urban (TU-6), se asemeja a las características de recepción que se presenta en las ciudades como Guadalajara, ya que describe la recepción en una zona urbana sin montañas (véase 2.3), recordando que este modelo de canal tiene dos velocidades típicas, esta prueba se realizó simulando una velocidad de 50 km/h ya que representa una velocidad más común en las ciudades de México. En la prueba se evaluaron los cinco receptores para obtener la respuesta del ecualizador de canal, al utilizar tres diferentes configuraciones de FEC (C1, C2 y C3). La

Capítulo 4. Análisis de Resultados

diferencia entre las tres configuraciones de FEC es la codificación SCCC, mientras que la codificación Reed Solomon se mantiene siempre de 48 bytes (véase 3.5).

En las figuras 4.23, 4.24 y 4.25 se muestra el desempeño de los receptores dentro de una red SFN de dos transmisores para recepción móvil en zonas urbanas sin montañas a una velocidad de 50 km/h, cada figura representa respectivamente la configuración utilizada. Y representan el valor límite para una buena recepción de la señal, dado por la amplitud de potencia relativa del conjunto de señales del transmisor directo (el conjunto de señales con mayor potencia) y el conjunto de señales del otro transmisor (el conjunto de señales con menor potencia), variando la distancia relativa del receptor a cada transmisor mediante retardos. Al igual que en las pruebas anteriores, estos resultados se comparan con los de la recomendación A/74 [21], la cual describe los valores límites propuestos para condiciones de eco estático, lo cual representa a una red SFN ideal en recepción fija o cuasiestática.

En la figura 4.23 se observan los resultados de evaluar a los cinco receptores en condiciones de una red SFN de dos transmisores para recepción móvil en zonas urbanas al utilizar la configuración C1 (QQQQ RS 48).

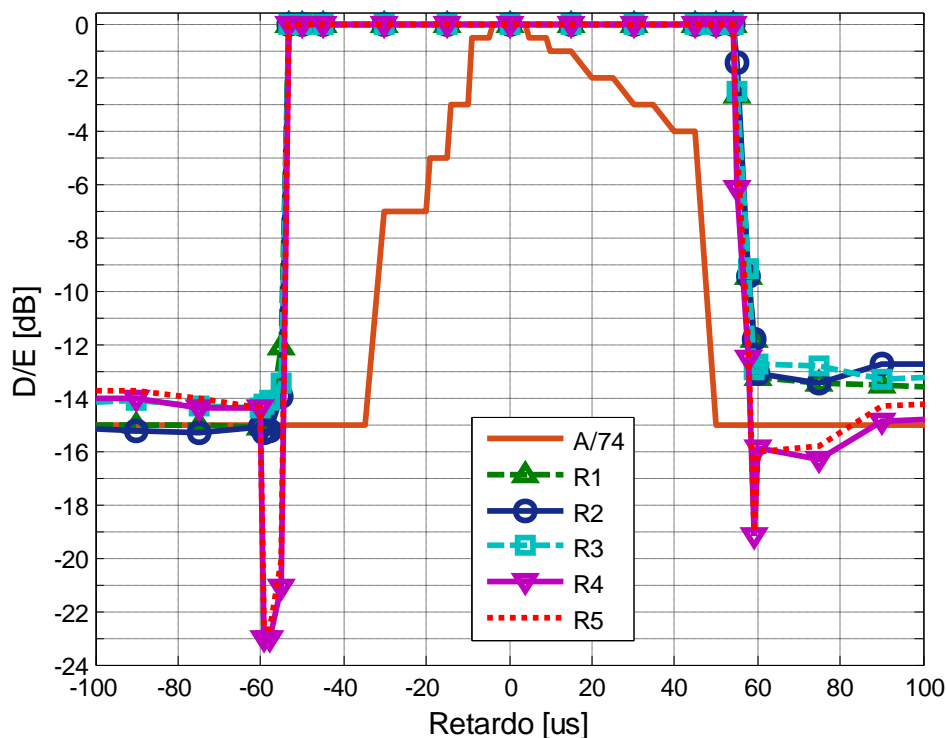


Figura 4.23 Respuesta de los receptores ante una red SFN de dos transmisores al utilizar la configuración C1 (QQQQ RS 48) dentro de zonas urbanas sin montañas a una velocidad de 50 km/h

Se puede observar como para este caso, solo los receptores estándar (R1, R2 y R3) se mantuvieron dentro de los valores de la recomendación de A/74 (gráfica color marrón).

Capítulo 4. Análisis de Resultados

Ninguno de los receptores presentó error en el rango $-55 \mu\text{s}$ a $55 \mu\text{s}$ ni siquiera en el caso en que las señales provenientes de ambos transmisores llegaron con la misma amplitud de potencia.

Todos los receptores presentan un peor desempeño en el caso de pre-eco (retardos negativos) que de post-eco (retardos positivos), ya que en el rango de $-100 \mu\text{s}$ a $-55 \mu\text{s}$ están por lo menos 2 dB por debajo del desempeño que presentaron en el rango de $55 \mu\text{s}$ a $100 \mu\text{s}$.

Debido a los cambios tan bruscos de potencia relativa (D/E) que exigen los receptores SDR a $-55 \mu\text{s}$ y $58 \mu\text{s}$ de retardo relativos. Se observa que independientemente de que los receptores se encuentren en situaciones de pre-eco o de post-eco, la máxima relación de retardos de un transmisor y otro con respecto del receptor es de $55 \mu\text{s}$. Esto permite calcular la máxima distancia relativa de los transmisores al receptor, la cual es la siguiente:

$$d_{relativa} = \left(3 \times 10^8 \left[\frac{m}{s}\right]\right) (58 \times 10^{-6} [s])$$

$$d_{relativa} = 16.5 \times 10^3 [m]$$

Al usar la configuración C1 da una distancia relativa máxima de 16.5 km, la cual es 500 m menor que lo se obtuvo en la prueba de RA-6 (áreas rurales) para la misma configuración.

Al igual que en las pruebas anteriores, fue importante evaluar el desempeño de los receptores en estas mismas condiciones al utilizar la configuración C2 (HHHH RS 48), la cual también utiliza 48 bytes de corrección de error pero con la menor tasa de codificación SCCC permitida en cada una de las regiones de la señal ATSC-M/H. Estos resultados son mostrados en la figura 4.24.

Lo primero que se observa es que ningún receptor presentó errores en el rango de $-50 \mu\text{s}$ a $50 \mu\text{s}$ inclusive en el caso de que las señales provenientes de ambos receptores llegaran con la misma potencia. Pero en los rangos de $-100 \mu\text{s}$ a $-55 \mu\text{s}$ y de $58 \mu\text{s}$ a $100 \mu\text{s}$, el desempeño de los receptores están por debajo de la recomendación A/74 (gráfica marrón) y además el nivel de D/E que empiezan a exigir los receptores para la correcta demodulación de la señal ATSC-M/H es muy pequeño, por lo cual no se puede garantizar la correcta recepción de la señal con un retardo mayor a $55 \mu\text{s}$, sin importar si se encuentre en situaciones de pre-eco o post-eco. Por lo tanto la máxima distancia relativa de los transmisores al receptor estaría dada por:

$$d_{relativa} = \left(3 \times 10^8 \left[\frac{m}{s}\right]\right) (50 \times 10^{-6} [s])$$

$$d_{relativa} = 15 \times 10^3 [m]$$

Para esta configuración nuevamente vuelve a salir una distancia relativa máxima de 15 km, la cual es muy importante a la hora de hacer cálculos de coberturas.

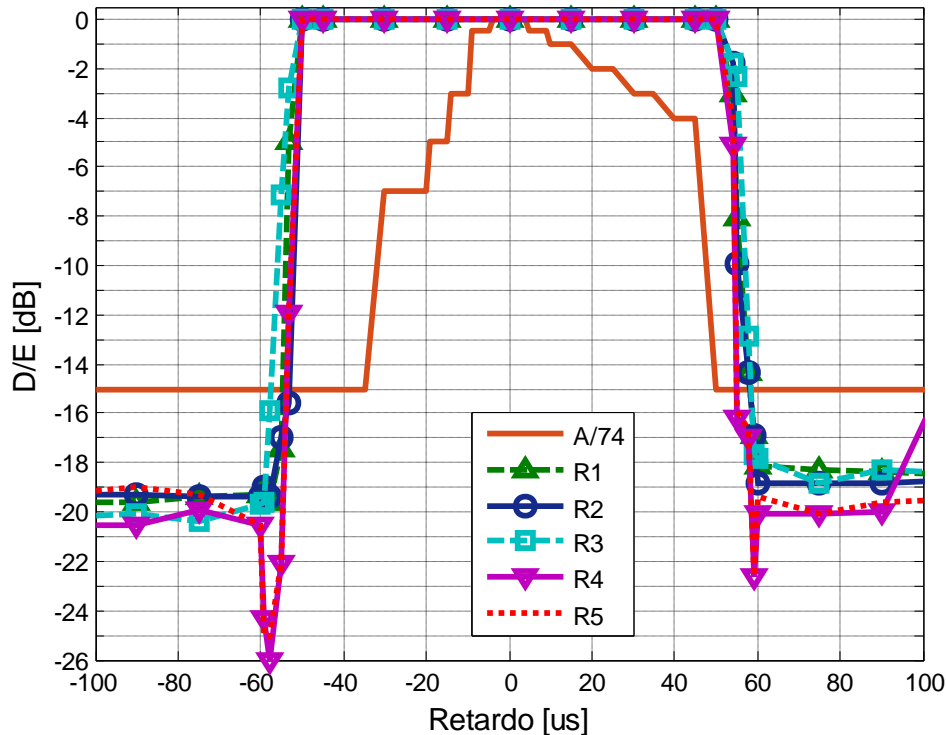


Figura 4.24 Respuesta de los receptores ante una red SFN de dos transmisores al utilizar la configuración C2 (HHHH RS 48) dentro de zonas urbanas sin montañas a una velocidad de 50 km/h

Por otro lado también es muy importante evaluar a los receptores al utilizar la configuración mixta C3 (HQQQ RS 48). La figura 4.25 muestra los resultados obtenidos de utilizar esta configuración como modo de transmisión.

Al igual que en la prueba anterior, recordando los resultados anteriores (Parámetros básicos de funcionamiento de los receptores) (véase 4.1), se menciona que la influencia de la codificación utilizada en la región A tiene mayor influencia en recepción fija o cuando se tiene una frecuencia Doppler pequeña y a medida que la frecuencia Doppler va aumentando la influencia de esta codificación va disminuyendo. Observando la figura 4.25, se puede notar que los resultados no se parecen a los resultados de usar la configuración C1 (figura 4.23) ni a los resultados obtenidos al utilizar la configuración C2 (figura 4.24), esto se debe a que la velocidad utilizada en este modelo de canal es menos de la mitad de lo que se usó en la prueba anterior para áreas rurales (RA-6), pero tampoco es una velocidad muy baja.

Ningún receptor presentó errores en el rango de $-50 \mu\text{s}$ a $50 \mu\text{s}$ inclusive para las situaciones en que las señales provenientes de ambos transmisores llegaron con la misma potencia. Pero en el rango de $-100 \mu\text{s}$ a $-55 \mu\text{s}$ y de $60 \mu\text{s}$ a $100 \mu\text{s}$, se observa que el desempeño de los receptores se encuentra por debajo de la recomendación de ATSC (gráfica marrón) y además los niveles de D/E que exigen los receptores para demodular correctamente la señal de ATSC-M/H son valores muy pequeños, por lo cual no se podría garantizar la correcta recepción de la señal en estos rangos de retardos relativos. Por lo tanto, la máxima diferencia de retardos permitida sería de $55 \mu\text{s}$, sin

importar si se encuentran los receptores en situaciones de pre-eco o post-eco. Por lo cual la máxima distancia relativa permitida sería:

$$d_{relativa} = \left(3 \times 10^8 \left[\frac{m}{s}\right]\right) (55 \times 10^{-6} [s])$$

$$d_{relativa} = 16.5 \times 10^3 [m]$$

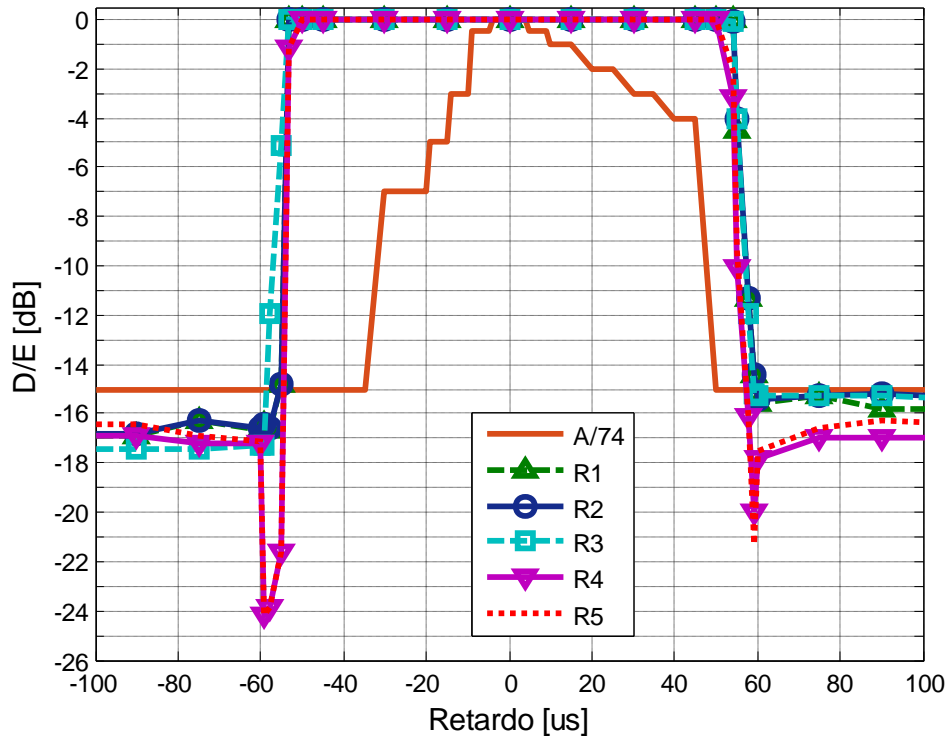


Figura 4.25 Respuesta de los receptores ante una red SFN de dos transmisores al utilizar la configuración C3 (HQQQ RS 48) dentro de zonas urbanas sin montañas a una velocidad de 50 km/h

Finalmente al observar las figuras 4.23, 4.24 y 4.25, se nota que ante estas condiciones de recepción, todos los receptores presentaron resultados similares en situaciones de pre-eco, a excepción de que en el rango de $-60 \mu s$ a $-55 \mu s$ los receptores SDR (R4 y R5), presenta una caída muy fuerte de su rendimiento.

4.4. Evaluación de los receptores en recepción móvil dentro de una red SFN.

En este grupo de pruebas se evaluó el desempeño de los receptores en entornos de propagación móvil y portátil dentro de una red SFN. Se utilizaron tres configuraciones de FEC (C1, C2 y C3) en las cuales el parámetro de la codificación Reed Solomon fue el mismo, 48 bytes de corrección de error, siendo la codificación convolucional SCCC el único parámetro diferente entre ellas (véase 3.5). Con esta prueba se encontraron los umbrales de C/N de cada receptor en cuatro entornos de propagación dentro de una red SFN de dos transmisores definidos por el proyecto

WING-TV (véase 2.4). Para estas cuatro pruebas los modelos de canal utilizados, simulan recepción dentro de redes SFN en la zona de solapamiento de ambos transmisores, por cual en estas pruebas no se varía ni los retardos ni las potencia relativas.

4.4.1. Umbral de C/N dentro de una red SFN: PI

De la misma forma que para recepción fija fue importante simular la recepción en interiores, también lo fue para recepción portátil. Ya que en la ciudad de México es muy común encontrarse dentro de un edificio, la diferencia con las pruebas anteriores de recepción fija es que el receptor va moviéndose a la velocidad que iría un peatón, estas condiciones se puede simular utilizando el modelo de canal Pedestrian Indoor (PI). El cual es un modelo de canal descrito dentro del proyecto WING-TV [19] y representa recepción portátil en el interior de un edificio que se encuentra en la zona de solapamiento de una red SFN con dos transmisores. El modelo de canal se define con doce trayectos (paths) con sus respectivos retardos y potencia relativas (véase 2.4) y a una velocidad típica de un peatón (3 km/h). En la figura 4.26 se observa el desempeño de los receptores ante este entorno de propagación.

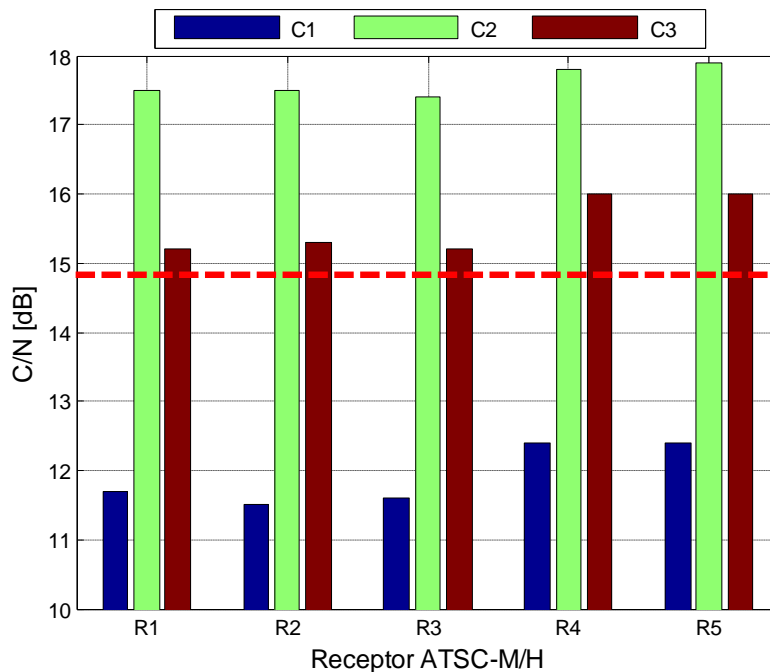


Figura 4.26 Umbral de C/N para PI dentro de una red SFN a 3 km/h

Se observa que el desempeño de los receptores estándar (R1, R2 y R3) es mejor que el desempeño de los receptores SDR (R4 y R5). Lo cual es un poco problemático ya que todos los receptores son móviles pero los únicos receptores portátiles son precisamente R4 y R5.

Para este entorno de propagación se observa que el receptor que tuvo un mejor desempeño fue el receptor R3, el cual tiene un umbral de C/N de 0.1 dB por debajo de R1 y R2 cuando se utilizaron las configuraciones C2 y C3, aunque cuando la configuración C1 fue utilizada, el receptor que obtuvo el mejor desempeño fue R2 con un umbral de C/N de 0.2 dB por debajo de de R1 y R3.

El peor desempeño mostrado, fue para el receptor R5 cuando se utilizó la configuración C2, en este caso el umbral de C/N fue de 17.9 dB.

En la figura 4.26 se observa una línea punteada de color rojo, la cual indica el umbral de C/N recomendado para el estándar fijo en el documento A/54 [22], el cual dice que los receptores ATSC deberían ser capaz de demodular correctamente la señal con una relación C/N de por lo menos 14.9 dB. Siguiendo esta recomendación, se podría decir que solo cuando se utilizó la configuración C1, esta recomendación fue cumplida en todos los receptores. En el caso las configuraciones C2 y C3 no fue así. Sin embargo se debe considerar que para este valor recomendado no se toma en cuenta condiciones de multitrayecto.

La diferencia entre la configuración C1 y C3, es la codificación utilizada en la región A, la cual cambia de $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$ (QQQQ RS 48 y HQQQ RS 48 respectivamente). En la figura 4.26 se observa que la diferencia entre usar una configuración u otra en promedio es de 3.6 dB. Este modelo de canal describe la recepción portable en interiores dentro de una red SFN y los resultados muestran que para estas condiciones de recepción, la codificación utilizada en la región A, influye más del doble en el desempeño de los receptores ATSC-M/H. Esto es debido a que la frecuencia Doppler producida por el movimiento de un peatón es aproximadamente 2 Hz [23] y siguiendo los resultados anteriores (Parámetros básicos de funcionamiento de los receptores) (véase 4.1), se observa que para condiciones estáticas o con una frecuencia Doppler considerablemente pequeña la influencia de la codificación en la región A es grande.

La diferencia ente utilizar la configuración C1 y C2, básicamente es la codificación utilizada en cada una de las regiones de la trama de ATSC-M/H (QQQQ RS 48 y HHHH RS 48 respectivamente). En este entorno de propagación el desempeño de los receptores muestra una diferencia promedio de 5.8 dB entre utilizar una configuración u otra.

Si se compara la influencia en de las codificaciones utilizadas para las regiones B,C y D, en la figura 4.26 se observa que al utilizar la configuración C3 (HQQQ RS 48) se obtiene un umbral de C/N de 1.9 dB por debajo de cuando se utiliza la configuración C2 (HHHH RS 48).

4.4.2. Umbral de C/N dentro de una red SFN: PO

Otro tipo de recepción portátil que se puede presentar en la Ciudad de México, es en exteriores, el receptor se va moviendo a la velocidad de un peatón y recibe todo el multitrayecto generado por los edificios de alrededor y el multitrayecto generado por los dos transmisores en el caso de encontrarse dentro de una red SFN, este entorno de propagación se puede simular utilizando el modelo de canal Pedestrian Outdoor (PO). Este es un modelo de canal descrito dentro del proyecto WING-TV [19], el cual representa recepción portátil en exteriores de un área urbana que se encuentra en la zona de solapamiento de una red SFN con dos transmisores. El modelo de canal se define con doce trayectos (paths) con sus respectivos retardos y potencia relativas (véase 2.4) y a una velocidad típica de un peatón (3 km/h). En la figura 4.27 se observa el desempeño de los receptores ante este entorno de propagación.

Lo primero que se observa es que los receptores estándar (R1, R2 y R3), tuvieron nuevamente un mejor desempeño que los receptores SDR por más de 1 dB para todas las

configuraciones utilizadas, lo cual al igual que en la prueba anterior donde se evalúa a los receptores utilizando el modelo de canal PI presenta un problema, ya que los únicos receptores portátiles son R4 y R5.

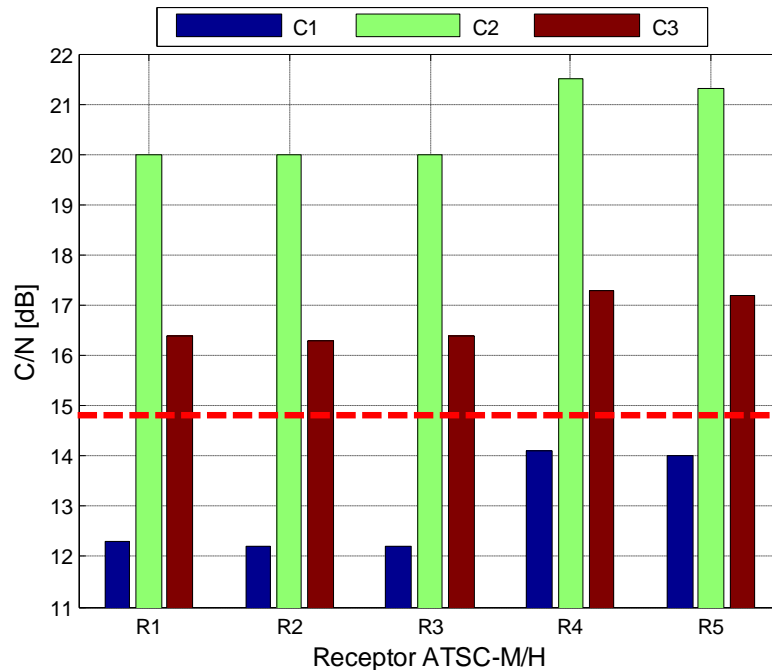


Figura 4.27 Umbral de C/N para PO dentro de una red SFN a 3 km/h

En la figura 4.27 se observa una línea punteada de color rojo, la cual marca el umbral de C/N recomendado por el documento A/54 [22] que es de 14.9 dB. Esta recomendación es para ATSC y no considera condiciones de multitrayecto, pero al tomarla como una referencia, se puede observar que solo al utilizar la configuración C1 se tiene un desempeño mejor que lo que establece la recomendación.

Sin importar el receptor utilizado, se observa que la diferencia entre usar la configuración C1 o la configuración C3 es de más de 3 dB, recordando que la diferencia de ambas configuraciones es la codificación utilizada en la región A (QQQQ RS 48 y HQQQ RS 48 respectivamente), se observa que la influencia de la tasa de codificación utilizada en la región A es muy grande, esto se debe a que la frecuencia Doppler producida por el movimiento de un peatón sigue siendo muy pequeña.

En la figura 4.27 se observa que la configuración C2 (HHHH RS 48), exige un umbral de C/N muy alto, ya que inclusive en el receptor R4 exige un umbral de 21.5 dB. Por lo cual no se puede garantizar el correcto funcionamiento de esta configuración para recepción portátil en la Ciudad de México, dentro de una red SFN. También se observa que la diferencia en tre usar la configuración C1 o la configuración C2, es de más de 7 dB en el umbral de C/N para el desempeño de los receptores en estas condiciones.

4.4.3. Umbral de C/N dentro de una red SFN: VU

La recepción de televisión en un vehículo en movimiento dentro de una red SFN utilizando dos transmisores, se puede simular utilizando el modelo de canal de Vehicular Urban (VU). Este modelo de canal esta dado por doce trayectos (paths) con sus respectivos retardos y potencia relativas (véase 2.4), el cual representa recepción móvil en un vehículo dentro de una zona urbana en la cual existe un puerto, además de que las calles son regularmente cuadradas y están rodeadas de edificios, este modelo de canal se definió en Turku Finlandia y está establecido dentro del proyecto WING-TV [19]. Este modelo de canal podría asemejar las características de recepción en una ciudad como Acapulco representando la recepción en la zona de solapamiento de una red SFN de dos transmisores y la velocidad a la que viaja el receptor es de 40 km/h.

En la figura 4.28 se muestran los resultados de evaluar a los receptores dentro de un red SFN de dos transmisores al utilizar las tres primeras configuraciones de FEC (véase 3.5) en las cuales el único parámetro de variación es la codificación SCCC utilizada.

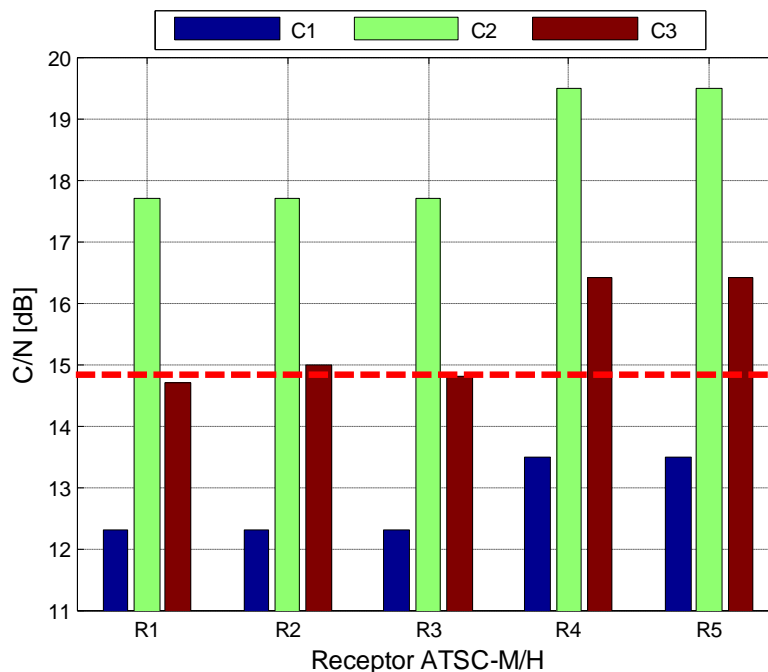


Figura 4.28 Umbral de C/N para VU dentro de una red SFN a 40 km/h

Dentro de este modelo de canal, también se observa que los receptores estándar (R1, R2 y R3) tuvieron un mejor desempeño para todas las configuraciones de FEC utilizadas que los receptores SDR (R4 y R5). En la figura 4.28 se observa una línea punteada color rojo, la cual representa el umbral de C/N recomendado para el estándar ATSC, el cual es de 14.9 dB, hay que recordar que esta recomendación no considera al multitrayecto, sin embargo al tomarla como referencia, se observa que nuevamente solo al usar la configuración C1, todos los receptores se encuentran dentro del valor recomendado y al usar la configuración C3 solo los receptores R1 y R3 se mantienen dentro de la recomendación.

A diferencia de las pruebas anteriores PI y PO, se observa una pequeña disminución de la influencia de la tasa de codificación utilizada en la región A, ya que la diferencia de utilizar la configuración C1 (QQQQ RS 48) y la configuración C2 (HQQQ RS 48), en las pruebas anteriores fue de más de 3 dB, mientras que para este modelo de canal es de 2.5 dB en cada receptor. Esta disminución se debe al aumento de velocidad que a su vez provoca el aumento en la frecuencia Doppler generada.

También se observa que la diferencia entre usar la configuración C1 (QQQQ RS 48) y la configuración C2 (HQQQ RS 48) en todos los receptores fue de más de 5 dB.

4.4.4. Umbral de C/N dentro de una red SFN: MR

El modelo de canal Motorway Rural (MR) está definido dentro del proyecto WING-TV [19], el cual describe un entorno de recepción en autopistas de cuatro carriles con poca densidad de construcciones al rededor y dentro de una red SFN con dos transmisores. En la Ciudad de México existen diferentes salidas que se pueden asemejar a estas características, como son la Autopista México - Pachuca, la Autopista México - Querétaro, la Autopista México - Puebla y la Autopista México - Cuernavaca. Estas autopistas se caracterizan por tener carreteras de tres o cuatro carriles, con pocos construcciones en los alrededores y en las cuales su límite de velocidad es de 100 km/h [29].

En la figura 4.29 se observa el desempeño de los receptores dentro de estas condiciones de recepción, utilizando las tres primeras configuraciones de FEC (véase 3.5).

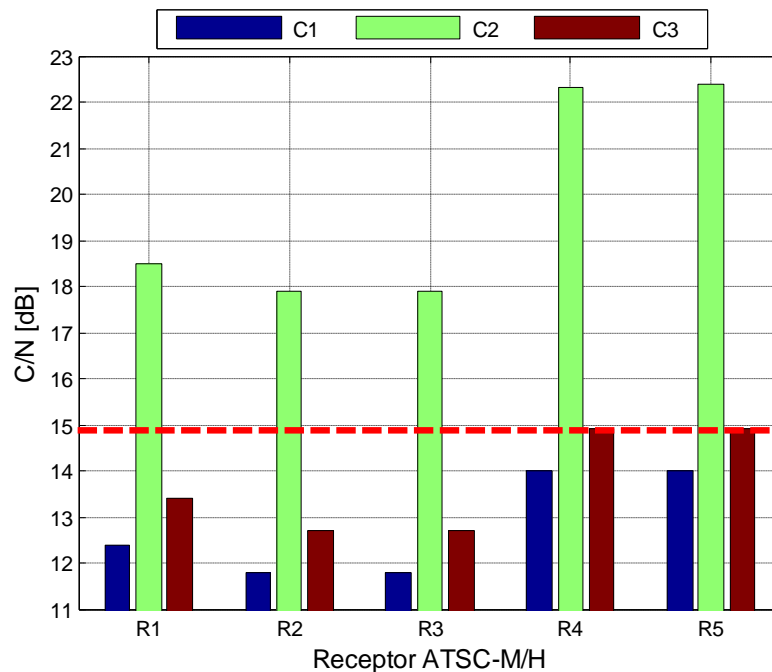


Figura 4.29 Umbral de C/N para MR dentro de una red SFN a 100 km/h

Al evaluar a los receptores en este entorno de propagación, se puede observar que nuevamente los receptores estándar (R1, R2 y R3) tuvieron un mejor desempeño que los receptores

SDR (R4 y R5). Se observa que para el caso en el que se usó la configuración C2, la diferencia entre ambos tipos de receptores fue de más de 4 dB. Sin embargo para este modelo de canal se observa que el receptor R2 y R3 fueron los que obtuvieron un mejor desempeño al utilizar las tres configuraciones de FEC.

En la figura 4.29 se observa una línea punteada de color rojo, la cual indica el valor del umbral de C/N recomendado para ATSC [22], que es de 14.9 dB. Este valor no considera el multitrayecto generado por los entornos de propagación, sin embargo si se toma como referencia, se observa que solo al utilizar configuración C1 y la configuración C3, los umbrales de C/N de los receptores estuvieron dentro de la recomendación

En este entorno de propagación se puede notar una disminución más clara de la influencia de la tasa de codificación utilizada en la región A, ya que la diferencia entre usar la configuración C1 (QQQQ RS 48) y la configuración (HQQQ RS 48) fue de 0.9 dB en el umbral de C/N de todos los receptores, esto se debe a que la frecuencia Doppler generada por el movimiento del receptor aumento en comparación con los modelos de canal anteriores PI, PO y VU ya que la velocidad a la que se simula este entorno de propagación es mayor. Con todo esto se sigue comprobando los resultados obtenidos en la pruebas anteriores (Parámetros básicos de funcionamiento de los receptores) (véase 4.1).

Debido a que al utilizar la configuración C2 (HHHH RS 48), los receptores SDR exigen un umbral de C/N de 22.2 dB para la correcta demodulación de la señal, no se puede garantizar una buena recepción de la señal al utilizar esta configuración.

4.5. Observaciones de los Resultados

En todas las pruebas realizadas se observó que el desempeño presentado por los receptores estándar (R1, R2 y R3) fue mejor que el desempeño presentado por los receptores SDR (R4 y R5) y que además los receptores SDR tuvieron un desempeño muy similar entre ellos, pensando en que los dos están desarrollados únicamente para el sistema operativo de iOS, se podría pensar que tiene la misma tecnología de ecualización de canal, la cual sería muy básica.

Para el caso de la sensibilidad en la recomendación A/74 establece un valor mínimo de -83 dBm, y todos los receptores tuvieron un mejor desempeño sin importar la configuración FEC que se utilizará, así también mostraron un mejor desempeño que todos los receptores fijos evaluados anteriormente por la Facultad de Ingeniería dentro del proyecto REFUTV. Esto era lo esperado ya que ATSC-M/H tiene mejoras en la codificación de canal.

En cuestión del umbral de C/N, el cual tiene valor recomendado para el estándar fijo de 14.9 dB por el documento A/54, sin importar la configuración utilizada se observó que todos los receptores tuvieron un mejor desempeño que la recomendación y los receptores fijos evaluados anteriormente. Inclusive al utilizar la configuración C1 (QQQQ RS 48), los receptores estándar (R1, R2 y R3) tuvieron una tolerancia al ruido de más de 10 dB de lo que la recomendación establece.

Nuevamente en eco estático se observó que sin importar la configuración utilizada, se obtuvieron resultados mejores que los que se establecen en la recomendación A/74 y que los

resultados obtenidos por la Facultad de Ingeniería al evaluar los receptores estándar. Recordando que esta prueba consiste en simular una red SFN ideal, se observó que esto no presentó ningún problema para el desempeño de los receptores sin importar el retardo relativo de la señal directa con la señal eco. Sin embargo se observó que al utilizar la configuración C3 (HHHH RS 48) y la configuración C5 (HHHH RS 36), los receptores SDR (R4 y R5) comenzaron a exigir un nivel de potencia relativa (D/E) menor a cero en un rango más amplio de retardos relativos.

Con la prueba de frecuencia Doppler se pudo obtener los valores límites de potencia Doppler que cada receptor fue capaz de tolerar. La configuración de FEC utilizada fue un factor muy importante para determinar el valor de tolerancia a la frecuencia Doppler, ya que al usar la configuración C1(QQQQ RS 48), los receptores estándar (R1, R2 y R3) toleraron hasta 135 Hz, mientras que al usar la configuración C2 (HHHH RS 48) solo toleraron hasta 75 Hz de frecuencia Doppler. Por otro lado se observó que los receptores SDR (R4 y R5), tuvieron el peor desempeño ante condiciones de frecuencia Doppler.

Con respecto a las configuraciones de FEC, se pudo concluir que la codificación de Reed Solomon tiene mayor influencia en el desempeño de los receptores cuando se tiene una mayor frecuencia Doppler. Ya que en condiciones estáticas o condiciones de recepción con una frecuencia Doppler pequeña, la influencia de la codificación Reed Solomon es muy pequeña. Sin embargo, debido a que el número de slots que ocupa una señal ATSC-M/H, y por tanto, el flujo de datos utilizado casi no varían si se utiliza una codificación de Reed Solomon de 48 bytes o de 24 bytes, se recomienda siempre usar 48 bytes para así mejorar la recepción a altas velocidades.

La influencia de la codificación convolucional SCCC se observó al comparar el desempeño de los receptores al utilizar la configuración C1, C2 y C3. Al comparar la configuración C1 y C3 se pudo observar la influencia de utilizar una tasa de codificación de $\frac{1}{4}$ ó de $\frac{1}{2}$ en la región A y se llegó a la conclusión de que es un factor muy importante para el desempeño de los receptores en condiciones estáticas, pero a medida que el receptor comienza estar en movimiento y a generar una mayor frecuencia Doppler, el efecto de la tasa de codificación utilizada en dicha región se vuelve menos notorio. Pasa el efecto contrario con la tasa de codificación de las otras regiones (B, C y D), al comparar el desempeño de los receptores al utilizar la configuración C2 y la configuración C3 se pudo observar el efecto de la codificación utilizada en dichas regiones. Este efecto fue que en condiciones estáticas no tiene gran influencia en el desempeño de los receptores, pero a medida que los receptores comienzan a estar en movimiento y a generar una mayor frecuencia Doppler, el efecto de la tasa de codificación utilizada en dichas regiones se vuelve más notorio. Sin embargo, en todos los casos el desempeño de los receptores cambió mucho entre usar la configuración C1 o la configuración C2, por lo cual no es recomendable usar esta configuración de FEC como modo de transmisión.

En las pruebas se simularon redes SFN de dos transmisores variando la distancia relativa de los transmisores al receptor mediante retardos relativos para diferentes escenarios de recepción:

- Recepción fija en exteriores, la cual representa la recepción de la señal de televisión que se recibe por una antena colgada en el exterior de un edificio en una zona urbana. Sin

importar la configuración utilizada, en este escenario no se presentó ningún inconveniente para tener una buena demodulación de la señal.

- Recepción fija en interiores, la cual representa la recepción de la señal de televisión que se recibe por una antena que se encuentra en el interior de un edificio en una zona urbana. En este escenario de recepción, al usar la configuración C1 (QQQQ RS 48) no se presentó ningún inconveniente para demodular correctamente la señal, sin embargo, para que todos los receptores funcionen de manera correcta al utilizar la configuración C2 (HHHH RS 48) y C3 (HQQQ RS 48), la máxima distancia relativa de los transmisores al receptor debe ser de 15 km.
- Recepción móvil en área rural, la cual representa recepción móvil en una zona rural sin montañas cuando el receptor viaja a una velocidad de 120 km/h. Al usar la configuración C1 (QQQQ RS 48) y la configuración C3 (HQQQ RS 48), para que todos los receptores funcionen de manera correcta, la máxima distancia relativa de los transmisores al receptor debe ser de 17.4 km, mientras que al utilizar la configuración C2 (HHHH RS 48) es de 15 km.
- Recepción móvil en área urbana, la cual representa la recepción móvil de televisión en una zona urbana, cuando el receptor se mueve a una velocidad de 50 km/h. En este entorno de propagación, al utilizar la configuración C1 (QQQQ RS 48) y la configuración C3 (HQQQ RS 48), la máxima distancia relativa permitida de los transmisores al receptor es de 16.5 km y al usar la configuración C2 (HHHH RS 48) es de 15 km.

Se evaluó el umbral de C/N de los receptores en condiciones de multitrajecto dentro de una red SFN de dos transmisores, por ejemplo, caminando dentro de un edificio en una zona urbana, caminando en las calles de una zona urbana, viajando en automóvil en una zona urbana y viajando en automóvil en la Autopista de una zona rural. Ante estas condiciones, nuevamente los receptores SDR (R4 y R5) tuvieron el peor desempeño. Se observó que sólo al utilizar la configuración C1 (QQQQ RS 48) todos los receptores siempre se mantuvieron dentro del umbral recomendado para el estándar ATSC, este valor recomendado es de 14.9 dB, pero a pesar de que este valor es una referencia, se debe recordar que es un valor establecido para el estándar fijo y que además no toma en cuenta el multitrajecto.

5. Conclusiones

En este capítulo se presentan las conclusiones a las que se llegaron después de haber realizado las pruebas de laboratorio. Primero se describen los objetivos logrados con la realización de la tesis y después se describen los trabajos futuros basándose en los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio.

5.1. Objetivos logrados

Con base a los objetivos establecidos en la tesis y la realización de las pruebas de laboratorio, en este trabajo:

- Se seleccionaron los modelos de canal más representativos para la recepción de televisión digital en México utilizando el estándar ATSC-M/H. Estos modelos de canal fueron Brasil A-6 y Brasil D-6 para recepción fija, RA-6 y TU-6 para recepción móvil, y los modelos de canal definidos por el proyecto WING-TV para recepción móvil y portátil que son PI, PO, VU y MR.
- Se seleccionó el equipamiento de las pruebas de laboratorio, el cual constó de un generador de señal digital ATSC-M/H con los requerimientos necesarios para configurar multitrayecto y simular una red SFN, así como de 5 receptores de ATSC-M/H de diferentes marcas y para el caso de que los receptores lo requirieran, se utilizó una pantalla para mostrar la señal recibida.
- Se seleccionaron 5 configuraciones de FEC que permitieron observar los efectos de la codificación Reed Solomon y la codificación SCCC.
- Se diseñaron 14 pruebas de laboratorio, las cuales se dividieron en 4 grupos llamados; "Parámetros básicos de funcionamiento de los receptores", "Evaluación de los receptores en recepción fija", "Evaluación de los receptores en recepción móvil", "Evaluación de los receptores en recepción móvil dentro de una red SFN". Cada una de las pruebas tuvo la finalidad de evaluar la sensibilidad, el umbral de C/N, el efecto que presenta el desplazamiento Doppler o la respuesta al multitrayecto de una red SFN de dos transmisores. Todo esto usando diferentes configuraciones de FEC como modos de transmisión para analizar su efecto.
- Utilizando las 5 configuraciones de FEC, se realizaron comparaciones del desempeño obtenido con los receptores móviles evaluados y el desempeño de receptores fijos evaluados anteriormente por la Facultad de Ingeniería dentro del proyecto REFUTV. Así también se comparó con los valores recomendados para el estándar ATSC en el documento A/74 y A/54.
- Se obtuvieron los parámetros límite del funcionamiento de los receptores dentro de una red SFN de dos transmisores para recepción fija en interiores y exteriores, así también para recepción móvil en zonas rurales y urbanas, utilizando diferentes configuraciones de FEC.
- Se evaluó la tolerancia al ruido de los receptores ante diferentes condiciones de multitrayecto, incluidas condiciones de redes SFN de dos transmisores en recepción móvil y portátil.

5.2. Trabajo Futuro

Se comprobó que ATSC-M/H funciona mejor dentro de una red SFN que ATSC. Recordando que México acaba de vivir el apagón analógico, para cambiar a nuevas tecnologías como lo es ATSC 3.0, requeriría muchos gastos de infraestructura y tecnología que acaba de realizar. Por lo cual se recomienda implementar el estándar ATSC-M/H ya que el costo de implementación sería mucho menor.

A pesar de las diferencias presentadas entre los cinco receptores, todos los receptores evaluados tuvieron un desempeño por encima de los receptores fijos evaluados por la Facultad de Ingeniería dentro del proyecto REFUTV. Pero, realmente hoy en día no existen muchos receptores de ATSC-M/H en el mercado si los comparamos con la cantidad de receptores ATSC que están a la venta. Por esta razón se recomienda mostrar los resultados obtenidos con esta tesis a diferentes fabricantes de receptores para promover su comercialización. Ya que al utilizar este estándar, aumenta claramente en los receptores el rango de sensibilidad, la tolerancia al ruido y la tolerancia al eco estático (una red SFN ideal).

Una cosa importante que deben tener en cuenta los fabricantes de receptores es la prueba de frecuencia Doppler, con esta prueba se pueden obtener los valores límites de frecuencia Doppler que cada receptor fue capaz de tolerar. Se observó que los receptores SDR (R4 y R5), tuvieron el peor desempeño ante condiciones de frecuencia Doppler. Por lo cual no se recomienda fabricar receptores con este ecualizador de canal, ya que al receptor móvil la tolerancia a la frecuencia Doppler es muy importante.

Al observar los resultados obtenidos con respecto a las configuraciones de FEC, se recomienda a todas las radiodifusoras que transmitan la señal de ATSC-M/H utilizando 48 bytes de corrección de errores en la codificación de Reed Solomon, ya que debido a que el número de slots que ocupa una señal ATSC-M/H, y por tanto, el flujo de datos utilizado casi no varían si se utiliza una codificación de Reed Solomon de 48 bytes o de 24 bytes, y se observó que esto es un factor que modifica el desempeño de los receptores en recepción móvil. También se recomienda que los resultados obtenidos en esta tesis sean analizados por las radiodifusoras que pretendan transmitir con el estándar, ya que les podría ayudar a tomar una decisión con respecto a que configuración de FEC podrían utilizar como modo de transmisión, esto debido a que en la tesis se describen los efectos que se tiene al modificar la configuración de FEC en el desempeño de los receptores dependiendo de los entornos en que se propaga la señal. A su vez se recomienda que se amplíe el estudio de los efectos al utilizar más configuraciones de FEC, ya que a pesar de que en esta tesis se tomaron en cuenta las principales configuraciones de FEC, se debe recordar que hay más configuraciones posibles, por ejemplo HHQQ RS 48.

En las pruebas se simuló redes SFN de dos transmisores variando la distancia relativa de los transmisores al receptor mediante retardos relativos para diferentes escenarios de recepción, en el análisis de resultados se obtuvieron los principales parámetros para el correcto funcionamiento de los receptores ante diferentes situaciones como; recepción fija en exteriores, recepción fija en interiores, recepción móvil en área rural y recepción móvil en área urbana. Pero México tiene una gran diversidad de relieves e infraestructuras, por lo cual se recomienda realizar más pruebas que

evalúen el desempeño de los receptores dentro de redes SFN. Así también, se recomienda la evaluación de los receptores en redes SFN de tres transmisores.

También dentro de esta tesis se evaluó la tolerancia al ruido de los receptores en entornos de propagación móvil y portátil en la zona de traslape de dos transmisores dentro de una red SFN, basados en el proyecto WING-TV, recordando que dicho proyecto fue diseñado para evaluar y diseñar los lineamientos de operación del estándar DVB-H (el estándar televisión digital móvil utilizado en Europa), se propone que más adelante se realice una comparación entre ATSC-M/H y DVB-H, ya que es importante hacer una comparación de cómo funciona el estándar utilizando en México con respecto a otros.

Finalmente todo lo recabado en esta tesis será presentado en un reporte de resultados para CONACYT y la IFT como parte del proyecto REFUTV, realizado por la Facultad de Ingeniería.

Anexo A. Metodología de las pruebas de laboratorio

La metodología utilizada en las pruebas de laboratorio se describe a continuación.

A.1 Sensibilidad

Prueba 1. Sensibilidad del Receptor para diferentes modos de transmisión.

Objetivo: Saber cómo responde la sensibilidad del receptor a diferentes frecuencias y diferentes modos de transmisión.

Requerimientos: Se decidió probar con 5 diferentes modos de transmisión, utilizando las cinco configuraciones de FEC previamente seleccionadas.

Las tres primeras configuraciones se encuentran en el archivo cargado previamente en el equipo R&S SFE llamado "3Ens_RS48.ATSC_C" y las configuraciones 4 y 5 están en el archivo llamado "3Ens_RS48_RS36_RS24.ATSC_C".

Los canales a probar están previamente cargados en la tabla de canales "atsc" que son el canal 2 (54 - 60 MHz), canal 6 (82 - 88 MHz), canal 12 (204 - 210 MHz), canal 18 (494 - 500 MHz) y canal 46 (666 - 668 MHz).

Procedimiento: Verificar que la modulación este configurada en ATSC M/H, ruido y fading apagados.

1.- Seleccionar cada uno de los canales a probar y encontrar la sensibilidad con una resolución de 0.1 dB utilizando la configuración 1.

2.- Anotar los resultados obtenidos en la tabla de Excel que previamente se creó.

3.- Repetir los pasos uno y dos para las otras cuatro configuraciones.

NOTA. Al realizar el análisis de los resultados de esta prueba, no se debe olvidar tomar en cuenta las pérdidas por conectores y cables que previamente ya se han calculado y es de 5.7 dB.

La potencia real que le llega al receptor es $Pr=Pt-L$, donde Pr es la potencia del receptor, Pt es la potencia que entrega el SFE y L son las pérdidas.

A.2 Umbral de C/N

Prueba 2. Relación Portadora a Ruido C/N para diferentes modos de transmisión.

Objetivo: Saber cuál es la mínima relación portadora a ruido que el receptor requiere para reproducir correctamente la señal a diferentes frecuencias y diferentes modos de transmisión.

Requerimientos: Se decidió probar con 5 diferentes modos de transmisión, utilizando las cinco configuraciones de FEC previamente seleccionadas.

Las tres primeras configuraciones se encuentran en el archivo cargado previamente en el equipo R&S SFE llamado "3Ens_RS48.ATSC_C" y las configuraciones 4 y 5 están en el archivo llamado "3Ens_RS48_RS36_RS24.ATSC_C".

Los canales a probar están previamente cargados en la tabla de canales "atsc" que son el canal 2 (54 - 60 MHz), canal 6 (82 - 88 MHz), canal 12 (204 - 210 MHz), canal 18 (494 - 500 MHz) y canal 46 (666 - 668 MHz).

Procedimiento: Verificar que la modulación este configurada en ATSC-M/H, ruido encendido y acoplado a 6 MHz y fading apagado.

1.- Seleccionar cada uno de los canales a probar y encontrar la mínima relación portadora a ruido requerida con una resolución de 0.1 dB utilizando la configuración 1.

2.- Anotar los resultados obtenidos en la tabla de Excel que previamente se creó.

3.- Repetir los pasos uno y dos para las otras cuatro configuraciones.

A.3 Eco estático

Prueba 3. Eco Estático para diferentes modos de transmisión.

Objetivo: Evaluar la respuesta impulsional del canal al mandar la misma señal desde dos transmisores diferentes.

Requerimientos: Se decidió probar con 5 diferentes modos de transmisión, utilizando las cinco configuraciones de FEC previamente seleccionadas.

Las tres primeras configuraciones se encuentran en el archivo cargado previamente en el equipo R&S SFE llamado "3Ens_RS48.ATSC_C" y las configuraciones 4 y 5 están en el archivo llamado "3Ens_RS48_RS36_RS24.ATSC_C".

Procedimiento: Se utilizará un nivel de potencia de -28 dBm, se trabajará en el canal 18 (494 MHz- 500 MHz), se utilizará la opción de multitrayecto (Fading ON), y se trabajara sin ruido (Noise OFF).

Información de configuración de fading.

En el menú de Fading se pueden simular hasta 12 trayectos. Los 12 trayectos están agrupados en 2 grupos de 6 trayectos cada uno, por ejemplo, el trayecto 2-3 es el trayecto 3 del grupo 2.

Cada trayecto tiene su estado de ON y OFF y para cada uno de ellos se puede configurar un perfil de fading, una atenuación y un retardo respecto al trayecto directo. El trayecto que tiene la mayor amplitud se considera el trayecto directo.

Cuando el fading está en ON al menos un trayecto debe estar en ON para garantizar salida en RF.

1. Verificar que la modulación este configurada en ATSC M/H
- 2.- Cargar la configuración 1
3. Encender la opción de FADING y configurar los trayectos de la siguiente manera:
 - Configurar el path de eco con el perfil "Pure Doppler" y con los siguientes valores de parámetros (Se quedan fijos siempre):
 - Speed [m/s] 0.03
 - Frequency Ratio 1.0
 - Doppler Shift [Hz] 0.05 (Verificarlo)
 - Configurar el path del trayecto principal con "Pure Doppler" y en 0 los parámetros de Speed, Frequency Ratio y Doppler Shift.
 - Configurar los Retardos establecidos previamente para una situación de Pre Eco como de Post Eco.

- En cada paso de retardo, establecer el PathLoss del Eco en 10 dB para retardos de 0 us a 50 us y establecer el PathLoss de la señal directa en 20 dB para retardos de 55 usen adelante y disminuirlo
- 4.- Evaluar el TOV en 2 errores por minuto o que la señal ya no se reciba desde el principio y no se recupere.
- 5.- Anota los resultados obtenidos en la tabla de Excel.
- 6.- Repite los pasos del uno al cinco para las cuatro configuraciones restantes.

A.4 Frecuencia Doppler

Prueba 4. Frecuencia Doppler.

Objetivo: Evaluar el desempeño del receptor ante la frecuencia Doppler comparando diferentes modos de transmisión.

Requerimientos: Se decidió probar con 5 diferentes modos de transmisión, utilizando las cinco configuraciones de FEC previamente seleccionadas.

Las tres primeras configuraciones se encuentran en el archivo cargado previamente en el equipo R&S SFE llamado "3Ens_RS48.ATSC_C" y las configuraciones 4 y 5 están en el archivo llamado "3Ens_RS48_RS36_RS24.ATSC_C".

Procedimiento: Se utilizará un nivel de potencia de -28 dBm, se trabajará en el canal 18 (494 MHz- 500 MHz), se utilizará la opción de multitrayecto (Fading ON), y se trabajara con ruido (Noise ON acoplado a 6 MHz).

1. Verificar que la modulación este configurada en ATSC M/H
- 2.- Cargar la configuración 1
3. – Sintonizar canal 18
4. Encender la opción de FADING y configurar de la siguiente manera:
 - Configurar el path 1-1 con el perfil "Rayleigh" y con los siguientes valores de parámetros (Se quedan fijos siempre):

• Path Loss [dB]	0.0
• Delays [us]	0.0
 - Configurar el valor del Speed [km/h] en el path de tal forma que la frecuencia Doppler (DopplerShift) [Hz] Tenga los siguientes valores establecidos previamente.
- 5.- Evaluar el TOV con la relación portadora a ruido en cada una de esas frecuencias Doppler a 2 errores por minuto o que la señal ya no se reciba desde el principio y no se recupere.
- 6.- Anota los resultados obtenidos en la tabla de Excel.
- 7.- Repetir los pasos del uno al cinco para las otras cuatro configuraciones.

A.5 Umbral de C/N para recepción fija

Prueba 2. Relación Portadora a Ruido C/N para Brasil A-6 y Brasil D-6.

Objetivo: Saber cuál es la mínima relación portadora a ruido que el receptor requiere para reproducir correctamente la señal con diferentes modos de transmisión, en recepción fija en interiores y exteriores, utilizando los modelos de canal Brasil-A y Brasil-D.

Requerimientos: Se decidió probar con 5 diferentes modos de transmisión, utilizando las cinco configuraciones de FEC previamente seleccionadas.

Las tres primeras configuraciones se encuentran en el archivo cargado previamente en el equipo R&S SFE llamado "3Ens_RS48.ATSC_C" y las configuraciones 4 y 5 están en el archivo llamado "3Ens_RS48_RS36_RS24.ATSC_C".

Los canales a probar están previamente cargados en la tabla de canales "atsc" que son el canal 2 (54 - 60 MHz), canal 6 (82 - 88 MHz), canal 12 (204 - 210 MHz), canal 18 (494 - 500 MHz) y canal 46 (666 - 668 MHz).

Procedimiento: Verificar que la modulación este configurada en ATSC-M/H, ruido encendido y acoplado a 6 MHz y fading off.

1.- Seleccionar cada uno de los modelos de canal (Brasil A-6 y Brasil D-6) respectivamente y encontrar la mínima relación portadora a ruido requerida con una resolución de 0.1 dB utilizando la configuración 1.

2.- Anotar los resultados obtenidos en la tabla de Excel que previamente se creó.

3.- Repetir los pasos uno y dos para las otras cuatro configuraciones.

A.6 Brasil A-6

Prueba 11. Brasil A-6

Objetivo: Simular una red SFN de dos transmisores en recepción fija y ver a qué distancia máxima pueden estar los transmisores así como su relación de potencia relativa, probando el receptor con tres diferentes modos de transmisión.

Requerimiento: "Brasil A" representa recepción fija en exteriores.

Se decidió probar con 3 diferentes modos de transmisión, utilizando las tres primeras configuraciones de FEC previamente seleccionadas.

Las tres configuraciones se encuentran en el archivo cargado previamente en el equipo R&SSFE llamado "3Ens_RS48.ATSC_C".

Procedimiento: Se utilizará un nivel de potencia de -28 dBm, se trabajará en el canal 18 (494 MHz- 500 MHz), se utilizará la opción de multitrayecto (Fading ON), y se trabajara sin ruido (Noise off).

1.- Verificar que la modulación este configurada en ATSC-M/H

2.- Cargar la configuración 1

3.-Sintonizar canal 18

4. - Cargar en el SFE la tabla de Fading previamente configurada llamada "Brasil A"

5.-Configurar los Retardos establecidos previamente para una situación de Pre Eco como de Post Eco.

6. -Evaluar el TOV en la relación de potencia de la señal y los ecos del segundo transmisor.

7.- Anota los resultados obtenidos en la tabla de Excel.

8.- Repetir los pasos del uno al seis para las otras dos configuraciones.

A.7 Brasil D-6

Prueba 12. Brasil D-6

Objetivo: Simular una red SFN de dos transmisores en recepción fija y ver a qué distancia máxima pueden estar los transmisores así como su relación de potencia relativa, probando el receptor con tres diferentes modos de transmisión.

Requerimiento: "Brasil D" representa recepción fija en interiores.

Se decidió probar con 3 diferentes modos de transmisión, utilizando las tres primeras configuraciones de FEC previamente seleccionadas.

Las tres configuraciones se encuentran en el archivo cargado previamente en el equipo R&S SFE llamado "3Ens_RS48.ATSC_C".

Procedimiento: Se utilizará un nivel de potencia de -28 dBm, se trabajará en el canal 18 (494 MHz- 500 MHz), se utilizará la opción de multitrayecto (Fading ON), y se trabajara sin ruido (Noise off).

- 1.- Verificar que la modulación este configurada en ATSC-M/H
- 2.- Cargar la configuración 1
- 3.-Sintonizar canal 18
4. - Cargar en el SFE la tabla de Fading previamente configurada llamada "Brasil D"
- 5.- Configurar los Retardos establecidos previamente para una situación de Pre Eco como de Post Eco.
6. -Evaluar el TOV en la relación de potencia de la señal y los ecos del segundo transmisor.
- 7.- Anota los resultados obtenidos en la tabla de Excel.
- 8.- Repetir los pasos del uno al seis para las otras dos configuraciones.

A.8 Umbral de C/N para recepción móvil

Prueba 2. Relación Portadora a Ruido C/N para RA-6 y TU-6.

Objetivo: Saber cuál es la mínima relación portadora a ruido que el receptor requiere para reproducir correctamente la señal con diferentes modos de transmisión, en recepción móvil en interiores y exteriores, utilizando los modelos de canal RA-6 y TU-6.

Requerimientos: Se decidió probar con 5 diferentes modos de transmisión, utilizando las cinco configuraciones de FEC previamente seleccionadas.

Las tres primeras configuraciones se encuentran en el archivo cargado previamente en el equipo R&S SFE llamado "3Ens_RS48.ATSC_C" y las configuraciones 4 y 5 están en el archivo llamado "3Ens_RS48_RS36_RS24.ATSC_C".

Los canales a probar están previamente cargados en la tabla de canales "atsc" que son el canal 2 (54 - 60 MHz), canal 6 (82 - 88 MHz), canal 12 (204 - 210 MHz), canal 18 (494 - 500 MHz) y canal 46 (666 - 668 MHz).

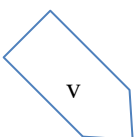
Procedimiento: Verificar que la modulación este configurada en ATSC-M/H, ruido encendido y acoplado a 6 MHz y fading off.

- 1.- Seleccionar cada uno de los modelos de canal (Brasil A-6 y Brasil D-6) respectivamente y encontrar la mínima relación portadora a ruido requerida con una resolución de 0.1 dB utilizando la configuración 1.
- 2.- Anotar los resultados obtenidos en la tabla de Excel que previamente se creó.
- 3.- Repetir los pasos uno y dos para las otras cuatro configuraciones.

A.9 RA-6

Prueba 9. RA-6

Objetivo: Simular una red SFN de dos transmisores en un entorno rural sin montañas y ver a qué distancia máxima pueden estar los transmisores así como su relación de potencia relativa, probando el receptor con tres diferentes modos de transmisión.



Requerimiento: “Rural Area” representa recepción móvil en zonas rurales sin montañas.

Velocidad fija de 120 km/h

Se decidió probar con 3 diferentes modos de transmisión, utilizando las tres primeras configuraciones de FEC previamente seleccionadas.

Las tres configuraciones se encuentran en el archivo cargado previamente en el equipo R&S SFE llamado “3Ens_RS48.ATSC_C”.

Procedimiento: Se utilizará un nivel de potencia de -28 dBm, se trabajará en el canal 18 (494 MHz- 500 MHz), se utilizará la opción de multitrayecto (Fading ON), y se trabajara sin ruido (Noise off).

- 1.- Verificar que la modulación este configurada en ATSC-M/H
- 2.- Cargar la configuración 1
- 3.-Sintonizar canal 18
4. - Cargar en el SFE la tabla de Fadding previamente configurada llamada “RA-6”
- Configurar los paths del primer transmisor con el perfil "RA-6"
 - Speed [km/h] 120
- Configurar los paths del segundo transmisor con el perfil “RA-6”
 - Speed [km/h] 120
- Configurar los Retardos establecidos previamente para una situación de Pre Eco como de Post Eco.
- 5.–Evaluar el TOV en la relación de potencia de la señal y los ecos del segundo transmisor.
- 6.- Anota los resultados obtenidos en la tabla de Excel.
- 7.- Repetir los pasos del uno al seis para las otras dos configuraciones.

A.10 TU-6

Prueba 10. TU-6

Objetivo: Simular una red SFN de dos transmisores en un entorno urbano y ver a qué distancia máxima pueden estar los transmisores así como su relación de potencia relativa, probando el receptor con tres diferentes modos de transmisión.

Requerimiento: “Typical Urban” representa recepción móvil en zonas urbanas sin montañas.

Velocidad fija de 50 km/h

Se decidió probar con 3 diferentes modos de transmisión, utilizando las tres primeras configuraciones de FEC previamente seleccionadas.

Las tres configuraciones se encuentran en el archivo cargado previamente en el equipo R&S SFE llamado “3Ens_RS48.ATSC_C”.

Procedimiento: Se utilizará un nivel de potencia de -28 dBm, se trabajará en el canal 18 (494 MHz- 500 MHz), se utilizará la opción de multitrayecto (Fading ON), y se trabajara sin ruido (Noise off).

- 1.- Verificar que la modulación este configurada en ATSC-M/H
- 2.- Cargar la configuración 1
- 3.-Sintonizar canal 18

4. - Cargar en el SFE la tabla de Fading previamente configurada llamada "TU-6"
- Configurar los paths del primer transmisor con el perfil "TU-6"
 - Speed [km/h] 50
- Configurar los paths del segundo transmisor con el perfil "TU-6"
 - Speed [km/h] 50
- Configurar los Retardos establecidos previamente para una situación de Pre Eco como de Post Eco.
5. -Evaluar el TOV en la relación de potencia de la señal y los ecos del segundo transmisor.
- 6.- Anota los resultados obtenidos en la tabla de Excel.
- 7.- Repetir los pasos del uno al seis para las otras dos configuraciones.

A.11 Pedestrian Indoor

Prueba 5. Pedestrian Indoor

Objetivo: Probar el desempeño del receptor con tres diferentes Configuraciones de FEC ante el entorno que se simula el modelo de canal Pedestrian Indoor en una red SFN.

Requerimientos:

En este caso se simula un entorno Portátil en interiores.

Se decidió probar con 3 diferentes modos de transmisión, utilizando las tres primeras configuraciones de FEC previamente seleccionadas.

Las tres configuraciones se encuentran en el archivo cargado previamente en el equipo R&S SFE llamado "3Ens_RS48.ATSC_C".

Procedimiento: Se utilizará un nivel de potencia de -28 dBm, se trabajará en el canal 18 (494 MHz- 500 MHz), se utilizará la opción de multitrayecto (Fading ON), y se trabajara con ruido (Noise ON acoplado a 6 MHz).

- 1.- Verificar que la modulación este configurada en ATSC M/H
- 2.- Cargar la configuración 1
- 3.-Sintonizar canal 18
4. - Cargar en el SFE la tabla de Fading previamente configurada llamada "PI"
- 5.- Configurar el valor del Speed [km/h] en todos los paths de tal forma que la velocidad, tenga los siguientes valores establecidos previamente.
- 6.- Evaluar el TOV con la relación portadora a ruido en cada una de esas Velocidades a 2 errores por minuto o que la señal ya no se reciba desde el principio y no se recupere.
- 7.- Anota los resultados obtenidos en la tabla de Excel.
- 8.- Repite los pasos del uno al cinco para las otras configuraciones.

A.12 Pedestrian Outdoor

Prueba 6. Pedestrian Outdoor

Objetivo: Probar el desempeño del receptor con tres diferentes Configuraciones de FEC ante el entorno que se simula el modelo de canal Pedestrian Outdoor en una red SFN.

Requerimientos:

En este caso se simula un entorno Portátil en exteriores.

Se decidió probar con 3 diferentes modos de transmisión, utilizando las tres primeras configuraciones de FEC previamente seleccionadas.

Las tres configuraciones se encuentran en el archivo cargado previamente en el equipo R&S SFE llamado “3Ens_RS48.ATSC_C”.

Procedimiento: Se utilizará un nivel de potencia de -28 dBm, se trabajará en el canal 18 (494 MHz- 500 MHz), se utilizará la opción de multitrayecto (Fading ON), y se trabajara con ruido (Noise ON acoplado a 6 MHz).

- 1.- Verificar que la modulación este configurada en ATSC M/H
- 2.- Cargar la configuración 1
- 3.-Sintonizar canal 18

4. - Cargar en el SFE la tabla de Fading previamente configurada llamada “PO”
- 5.- Configurar el valor del Speed [km/h] en todos los paths de tal forma que la velocidad, tenga los siguientes valores establecidos previamente.
- 6.- Evaluar el TOV con la relación portadora a ruido en cada una de esas velocidades a 2 errores por minuto o que la señal ya no se reciba desde el principio y no se recupere.
- 7.- Anota los resultados obtenidos en la tabla de Excel.
- 8.- Repite los pasos del uno al cinco para las otras configuraciones.

A.13 Vehicular Urban

Prueba 7. Vehicular Urban

Objetivo: Probar el desempeño del receptor con tres diferentes Configuraciones de FEC ante el entorno que se simula el modelo de canal Vehicular Urban en una red SFN.

Requerimientos:

En este caso se simula un entorno móvil en una zona urbana.

Se decidió probar con 3 diferentes modos de transmisión, utilizando las tres primeras configuraciones de FEC previamente seleccionadas.

Las tres configuraciones se encuentran en el archivo cargado previamente en el equipo R&S SFE llamado “3Ens_RS48.ATSC_C”.

Procedimiento: Se utilizará un nivel de potencia de -28 dBm, se trabajará en el canal 18 (494 MHz- 500 MHz), se utilizará la opción de multitrayecto (Fading ON), y se trabajara con ruido (Noise ON acoplado a 6 MHz).

- 1.- Verificar que la modulación este configurada en ATSC-M/H
- 2.- Cargar la configuración 1
- 3.-Sintonizar canal 18

4. - Cargar en el SFE la tabla de Fading previamente configurada llamada “VU”
- 5.- Configurar el valor del Speed [km/h] en todos los paths de tal forma que la velocidad, tenga los siguientes valores establecidos previamente.
- 6.- Evaluar el TOV con la relación portadora a ruido en cada una de esas velocidades a 2 errores por minuto o que la señal ya no se reciba desde el principio y no se recupere.
- 7.- Anota los resultados obtenidos en la tabla de Excel.
- 8.- Repite los pasos del uno al cinco para las otras configuraciones.

A.14 Motorway Rural

Prueba 8. Motorway Rural

Objetivo: Probar el desempeño del receptor con tres diferentes Configuraciones de FEC ante el entorno que se simula el modelo de canal Motorway Rural en una red SFN.

Requerimientos:

En este caso se simula un entorno móvil en una zona rural.

Se decidió probar con 3 diferentes modos de transmisión, utilizando las tres primeras configuraciones de FEC previamente seleccionadas.

Las tres configuraciones se encuentran en el archivo cargado previamente en el equipo R&S SFE llamado “3Ens_RS48.ATSC_C”.

Procedimiento: Se utilizará un nivel de potencia de -28 dBm, se trabajará en el canal 18 (494 MHz- 500 MHz), se utilizará la opción de multitrayecto (Fading ON), y se trabajara con ruido (Noise ON acoplado a 6 MHz).

- 1.- Verificar que la modulación este configurada en ATSC-M/H
- 2.- Cargar la configuración 1
- 3.-Sintonizar canal 18

4. - Cargar en el SFE la tabla de Fading previamente configurada llamada “MR”
- 5.- Configurar el valor del Speed [km/h] en todos los paths de tal forma que la velocidad, tenga los valores establecidos previamente.
- 6.- Evaluar el TOV con la relación portadora a ruido en cada una de esas velocidades a 2 errores por minuto o que la señal ya no se reciba desde el principio y no se recupere.
- 7.- Anota los resultados obtenidos en la tabla de Excel.
- 8.- Repite los pasos del uno al cinco para las otras configuraciones.

Anexo B. Productos obtenidos de la Tesis

Uno de los productos de esta tesis es un informe técnico de los resultados de las pruebas de laboratorio, este informe está en proceso y se entregará a CONACYT y a la IFT como reporte del proyecto REFUTV.

Otro producto de esta tesis es una publicación para un congreso de nivel internacional, el cual se realizó del 23 al 25 de marzo del presente año en Toulouse, Francia.

Título: Laboratory tests of ATSC M/H commercial receivers

Autores: F. G. Ortíz, C. López, M. A. Hernández, A. Miranda, J. M. Matías

Congreso: 2016 Wireless Days (WD)

Lugar: Toulouse, Francia

Publicado por: IEEE

DOI: 10.1109/WD.2016.7461503

Laboratory tests of ATSC M/H commercial receivers

F. G. Ortíz, C. López, M. A. Hernández, A. Miranda, J. M. Matias
 Facultad de Ingeniería. Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería
 Universidad Nacional Autónoma de México
 Mexico City, Mexico
 ortzgmez.florunam@gmail.com, marherflor@gmail.com

Abstract— In Mexico, the adopted standard for Digital Terrestrial Television is ATSC (A/53), which uses 8-VSB modulation. In addition, ATSC M/H (A/153) is the standard for Mobile and Handheld Television, which also uses 8-VSB but with several improvements in channel coding. Mexico recently lived the analog to digital television transition, for this reason the performance of some ATSC M/H commercial receivers was studied in this work. The objective of these laboratory tests was to evaluate the performance of the receivers for different FEC configurations and different Doppler frequencies, following the ATSC A/174 Recommendation issued in 2011. Also, the degradation of C/N threshold for some typical mobile reception channel models and SFN conditions was evaluated.

Keywords— ATSC M/H; FEC configurations; SFN; laboratory tests.

I. INTRODUCTION

Mexico adopted the ATSC (Advanced Television Systems Committee) standard for Digital Terrestrial Television in 2004 [1] and the transition of analog to digital television was completed on December 31st, 2015 [2]. Since its implementation, the improvements of the A/53 standard such as the A/72 or the A/153 standards may be used.

The A/153 standard describes ATSC-M/H (Advanced Television Systems Committee Mobile/Handheld) system [3]. This system is transmitted in a portion of the total bandwidth of the ATSC. It has lower video resolution adapted to mobile and handheld devices; furthermore it has bigger protection for reception in movement. The ATSC-M/H standard is compatible with existing ATSC infrastructure. ATSC-M/H uses H.264 (MPEG-4 AVC) for video compression and HE ACC v2 for audio compression. As ATSC-M/H is transmitted in the physical layer of ATSC, it uses only a part of 19.39 Mbps and it is also modulated on 8-VSB [3].

The ATSC-M/H standard has two Forward Error Correction methods (FEC), the Reed-Solomon Cyclic Redundancy Check (RS-CRC) at the packet layer, and the Serial Concatenated Convolutional Coder (SCCC) at the physical layer. Depending of these methods of FEC, there are various FEC configurations and each one has an important effect on the robustness and bandwidth of the mobile digital television signal [3] [4].

The A/153 standard, in the RS-CRC accepts 24, 36 or 48

This paper was performed within the REFUTV Project. Project supported by the CONACYT's Institutional Fund. Joint project CONACYT-CDTI N°189235 and grant CONACYT/UNAM CVU N° 632027. This work has been possible thanks to the collaboration of EGATEL S.L., Telemática e Innovación a Bordo S.A. de C.V. and the Faculty of Engineering of the UNAM.

correction bytes per information package of 187 payload bytes. This standard has also a turbo encoder that is the combination between the Trellis encoder of $\frac{2}{3}$ used in ATSC and a convolutional encoder (SCCC). It can be configured at a rate of $\frac{1}{2}$ (Half) or $\frac{1}{4}$ (Quarter) in each of the four regions in which the physical layer is divided, designated as Region "A, B, C, and D" [3]. So there are many different combinations of codification, for example, a possible FEC configuration is "HQQQ RS24", that means region A is encoded at $\frac{1}{2}$ rate (Half), regions B, C and D at $\frac{1}{4}$ rate (Quarter) with the SCCC encoder and 24 bytes error correction of Reed-Solomon.

There are few studies about the performance of the standard, nevertheless, in November of 2012, a field trial was made in Toronto in order to assess the potential of ATSC-M/H standard in terms of coverage [4]. The objectives of that study were to assess the impact of FEC configurations on the coverage. This research concluded that FEC configuration has a very important effect on the coverage.

In this paper, three ATSC-M/H commercial receivers were tested to assess their performance using 5 typical FEC configurations in different reception conditions.

In the rest of the paper; the objectives, the equipment and general methodology of the laboratory tests are described. Also, the analysis of the results of each test and the general conclusions are shown.

II. TESTS OBJECTIVES

The general objective of the tests was to evaluate the performance of ATSC-M/H commercial receivers and to study the effects of five FEC configurations under different propagation environments. The specific objectives were the following:

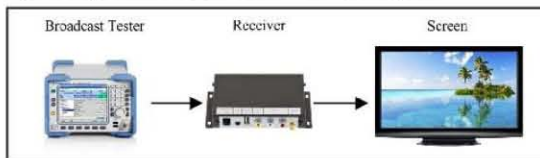
- Evaluate the RS-CRC and SCCC effect on the performance of the receivers.
- Evaluate the degradation of C/N (Carrier to Noise) ratio threshold on different channel models of mobile reception and different FEC configurations.
- Evaluate the effect of a static echo for different FEC configurations on the performance of the receivers.
- Evaluate the performance of receivers simulating a two transmitters SFN (Single Frequency Network).

III. TESTS EQUIPMENT SETUP

The laboratory test setup was basically formed by a broadcast tester, which generated the ATSC-M/H signal, and the ATSC-M/H commercial receiver under test.

Additionally, a screen was needed; the figure 1 shows the diagram of the equipment.

Fig. 1. Diagram of the equipment used in the laboratory tests.



SFE of Rohde & Schwarz was the used broadcast tester, which allows varying the power level and generates signal degradation using AWGN noise or different transmission channel models [5]. Three different commercial receivers were used for the laboratory test. In the Table I the main characteristics of the receivers are shown. The SFE has an output impedance of 50 Ohms, for this reason, for the receivers with an input impedance of 75 Ohms, an impedance matching was used.

TABLE I. RECEIVERS USED IN THE LABORATORY TESTS.

Receiver	Main Characteristics		
	Description	Input Impedance	Cost USD
Receiver 1	USB receiver. It is used on a computer with its software.	75 Ω	\$74.00
Receiver 2	This receiver is designed for use in car with RCA type outputs.	50 Ω	\$169.00
Receiver 3	This receiver is designed for use in car with RCA type outputs.	75 Ω	\$24.00

IV. TESTS METHODOLOGY

In order to find the reception threshold for different FEC configurations and different channel models, the reception was evaluated subjectively using the TOV (Threshold of Visibility). TOV was defined when two errors were seen at a minute of reception evaluation [6], [7]. A power level of -28 dBm was used for the tests except in the sensitivity test because the objective in this case was to find the minimum power level that the receiver can receive. All the tests were performed on TV channel 18 (494 – 500 MHz) [8].

Five FEC configurations were selected to observe the RS-CRC and SCCC effects on the performance of the receivers. The table II shows these five configurations.

TABLE II. FEC CONFIGURATIONS USED IN THE LABORATORY TESTS

FEC Configuration	Description	
	SCCC	RS-CRC
C1	QQQQ	48
C2	HHHH	48
C3	HQQQ	48
C4	QQQQ	24
C5	HHHH	36

The performance of the three ATSC-M/H commercial receivers was evaluated with the following tests:

- Sensitivity
- Carrier to Noise ratio threshold
- Static Path performance (ATSC A/74 Rec.) [9]

- Doppler Freq. performance (ATSC A/174 Rec.) [10]

- Performance in a SFN of two transmitters

V. SENSITIVITY

In this test, the minimum power level of signal which the receiver is able to receive was measured. Taking into account that A/153 standard is an improvement of A/53 standard, it was assumed that an ATSC-M/H receiver should not present errors in the range of -5 dBm to -83 dBm for UHF and VHF bands [9]. The minimum power level of the signal with good reception (sensitivity) was determined by decreasing the power of the RF signal until reaching the TOV.

Despite that there were differences between the sensitivity of each receiver, the three receivers had a similar response for the five FEC configurations. The figure 2 shows that when the C1 configuration was used, all receivers had the higher sensitivity, followed by C4, C3, C2 and C5 configurations. The table III shows the average sensitivity of the receivers for each FEC configurations.

Fig. 2. Sensitivity of the three receivers for the five FEC configurations.

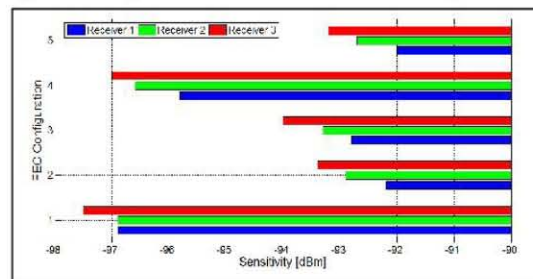


TABLE III. AVERAGE SENSITIVITY OF RECEIVERS FOR EACH CONFIGURATION

FEC Configuration	Average sensitivity [dBm]
C1	-97.10
C2	-92.83
C3	-93.36
C4	-96.46
C5	-92.63

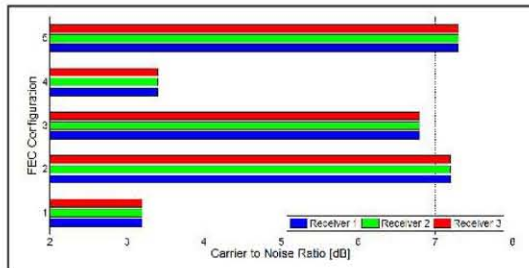
The three receivers showed greater sensitivity than -83 dBm for any FEC configuration. Comparing C1 and C3 configurations, it can be deduced that the protection of region “A” on SCCC codification is the most important factor for sensitivity, this made the sensitivity decrease 3.74 dB between both configurations. It can also be observed that RS-CRC codification has a small effect on the sensitivity. Comparing C1 and C4 (RS 48 and RS 24 respectively), there was a decrease of only 0.64 dB; or comparing C2 and C5 (RS 48 and RS 36 respectively), there was a decrease of only 0.2 dB. Comparing the reception performance of the receivers, Receiver 3 had the better sensitivity, followed by Receiver 2 and finally Receiver 1, for any FEC configuration.

VI. CARRIER TO NOISE RATIO THRESHOLD

The main objective of this test was to determine the performance of the receivers in noise conditions. The C/N ratio threshold was evaluated for two reception conditions: without multipath and within typical mobile channel models.

The results for the first case are shown in Figure 3. The three receivers had the same C/N threshold for any FEC configuration. Configuration C1 had the best performance with 3.2 dB of C/N ratio threshold followed by C4 with 3.4 dB, but it can be observed that when the RS-CRC encoding is changed from 48 to 24 bytes, a difference of 0.2 dB was obtained. Also comparing C2 and C5, it can be inferred that RS-CRC codification has just some effects for C/N ratio threshold; it can be observed that when the RS-CRC encoding is changed from 48 to 36 bytes, a difference of 0.1 dB was obtained. Comparing C1 and C3, it can be observed that SCCC codification has a big effect on C/N ratio because by changing only the coding of the region "A" from $\frac{1}{2}$ to $\frac{1}{4}$, the C/N ratio threshold decreases 3.6 dB. Finally, it can be observed that C/N ratio threshold has just a decrease of 0.4 dB between C2 and C3 configuration, the difference between them is the SCCC coding in the regions "B, C y D", it can be seen that the used coding in region "A" has a greater effect than the other regions. In the A/54 Recommendation it is established a 14.9 dB C/N ratio threshold for the A/53 standard [11]. It can be observed that the ATSC-M/H receivers have better performance than the recommended for ATSC for the same situation.

Fig. 3. C/N thresholds of the receivers for the five FEC configurations.



A. C/N Ratio in Typical Urban Channel Model

The TU-6 channel model represents mobile reception in urban areas without mountains. It is defined in the COST 207 project as a typical skyline model and it is modeled by six paths with wide dispersion in power and delay, as it is shown in the Table IV [12]. The test evaluated C/N ratio threshold when the receiver moves with a speed of 50 km/h or 120 km/h, which are the typically speeds of this channel mode [12], [13]. The results are resumed in figure 4 and figure 5.

In figure 5, it can be seen how the speed is an important factor for reception in TU-6 because when this condition is changed to 120 km/h, the C/N ratio threshold was also modified. It can be noted that C2 configuration is more affected by the speed than the others configurations, because comparing the figures 4 and 5, its C/N ratio threshold worsened 7 dB. It can be observed that increasing the frequency Doppler, the effects of the RS-CRC are more noticeable. This can be perceived comparing C1 and C4 configurations in figure 5 and figure 4. The C/N threshold

increased 1.5 dB for 50 km/h while it increased 3.5 for 120 km/h. The Doppler frequency produced by both speeds in 18 TV channel is shown in the table V.

In the figure 4 can be observed that all receivers had similar results and it shows that the RS codification has higher influence that when the signal arrived only with noise. Comparing figure 4 and figure 3, it can be observed that all receivers had a degradation of their C/N ratio threshold of at least 7 dB for the five configurations. If C1, C2 and C3 configurations are compared, it can be observed that the SCCC codification influenced the performance of the receivers; changing only the codification of region "A" (C1 to C3), there was a difference of at least 3 dB. If C1 configuration is compared with C4, and C2 with C5, it can be noticed that the RS codification did not had a remarkable influence.

TABLE IV. TU-6 CHANNEL MODEL CONFIGURATION

Relative time (μ s)	Average relative power [dB]
0	-3
0.2	0
0.5	-2
1.6	-6
2.3	8
5	10

TABLE V. DOPPLER FREQUENCY ASSOCIATED TO DIFFERENT SPEED FOR TV CHANNEL 18

Speed (km/h)	Doppler Frequency (Hz)
50	23.03
120	55.26

Fig. 4. C/N thresholds of the receivers for the five FEC configurations, using TU-6 model to 50 km/h.

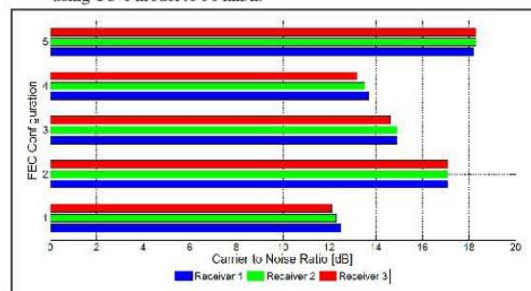
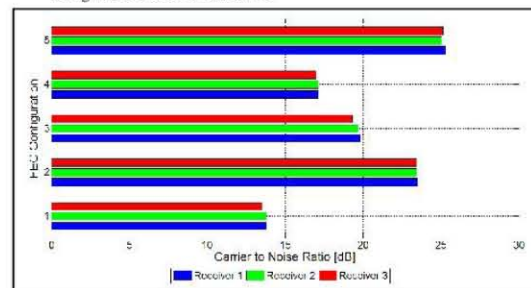


Fig. 5. C/N thresholds of the receivers for the five FEC configurations, using TU-6 model to 120 km/h.



B. C/N Ratio in Rural Area (RA-6) Channel Model

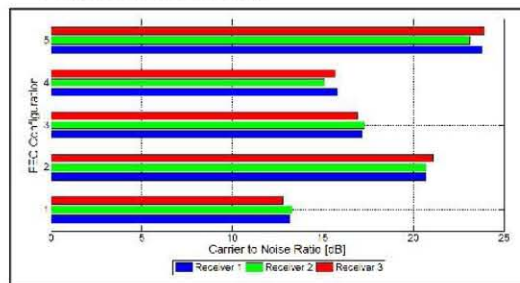
RA-6 channel model represents mobile reception in rural areas without mountains. It is defined by six paths with wide dispersion in relative power but little dispersion in delay [14]. The values of the paths are shown in the table VI. RA-6 model emulates a reception when the receiver moves with a typical speed of 120 km/h [13], [14]. The figure 6 shows the results obtained with this channel model.

It can be observed that the C/N ratio threshold of the three receivers was similar again. If RA-6 and TU-6 with the same speed (120 km/h) are compared, it can be observed that the Typical Urban model is more harmful for the performance of the receivers than the Rural Area model, with a difference between 2 dB to 4 dB. C1 configuration has the best performance in a mobile reception for the channel models and C5 has the worst with a difference of 10 dB. It can be observed a higher effect of RS-CRC codification on reception within typical mobile channel models than a Gaussian channel.

TABLE VI. RA-6 CHANNEL MODEL CONFIGURATION

Relative time (μ s)	Average relative power [dB]
0	0
0.1	-4
0.2	-8.8
0.3	-12
0.4	-16
0.5	-20

Fig. 6. C/N thresholds of the receivers for the five FEC configurations, using RA-6 model to 120 km/h.

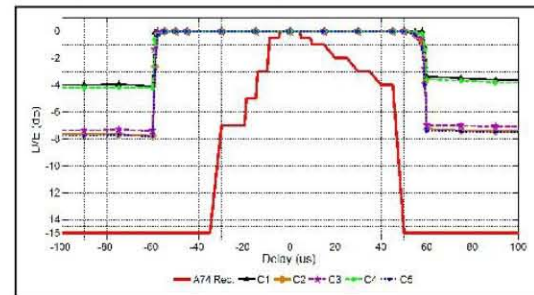


VII. STATIC PATH PERFORMANCE

This test was made to assess the ability of the receivers to receive in static echo conditions, at different delays of echo and amplitudes. A Doppler shift of 0.05 Hz was set to echo so it could exhibit different phase shifts in regard to the reference path [9]. This test is the basic multipath situation and simulates the reception in an ideal SFN (Single Frequency Network). The figure 7 shows the results of the average evaluations of the three receivers for the five FEC configurations. The x-axis shows the delay of the echo with respect to the reference signal (the most powerful one), and the y-axis shows the relative amplitude of the echo in regard to the reference signal (named D/E). It can be observed that all configurations had no problems from -60 μ s to 60 μ s of echo delay. The A/74 Recommendation notes that the D/E always must be above -15 dB with delays up to -40 μ s and greater than 50 μ s, it can be noticed that all configurations satisfy this condition [9]. The RS-CRC codification has low

influence for static conditions, this can be observed by comparing the C1 and C4 configurations, which had a difference of only 0.1 dB. On the other hand, the SCCC codification has higher effects in this reception environment, this can be observed in the difference of 3.5 dB between C1 and C2 configurations. Once again, it can be observed that codification in region "A" had an outstanding influence on the performance of receivers, but the codification of other regions did not have the same influence, this can be observed comparing the results of configurations C2 and C3, they were almost equal.

Fig. 7. Average performance of the receivers for the five FEC configurations in static echo conditions.

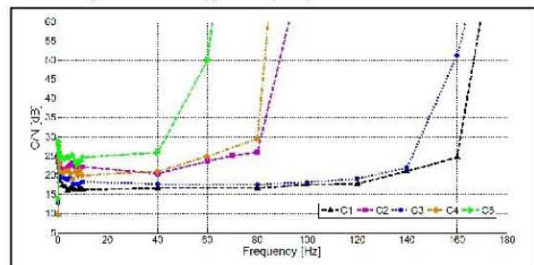


VIII. DOPPLER FREQUENCY

According to the A/174 Recommendation, to evaluate the receiver performance against Doppler frequency is very important because ATSC-M/H is for mobile reception. For this test, only a path with Rayleigh distribution was used [10]. The figure 8 shows the average results of the receivers. Comparing the C1 and C4 configurations (RS 48 and RS 24 respectively), it can be observed that RS-CRC codification is very important for mobile reception because the C1 configuration supports until 160 Hz of Doppler frequency for a good reception while C4 configuration supports only 80 Hz, this is also observed comparing C2 and C5 configurations (RS 48 and RS 36 respectively) because the C2 configuration supports until 80 Hz of Doppler frequency for a good reception while C5 configuration supports only 60 Hz.

Comparing C1 and C3 configurations, it can be observed that the difference was negligible, it can be seen that the region "A" of SCCC codification is not very important. But the effect is higher when all the SCCC codification was changed in all regions, this can be observed in the difference between C1 and C2 configurations. C1 and C3 stand the double of Doppler Frequency than the C2 configuration can do.

Fig. 8. Average performance of the receivers using the five FEC configurations for Doppler Frequency



IX. PERFORMANCE IN A SFN OF TWO TRANSMITTERS

The WING-TV project defined four channel models that simulate different reception conditions in the overlap zone of a two transmitter SFN: Pedestrian Indoor (PI 3 km/h) and Pedestrian Outdoor (PO 3 km/h), which describe the slow movement of a portable indoor and outdoor reception. Vehicular Urban (VU 30 km/h) environment corresponds to measurements obtained in the center of Turku, Finland; the vehicle speed is 30 km/h, where the layout of regular street grid is surrounded by buildings of 5 floors. Finally, the Motorway Rural (MR 100 km/h) environment is characterized by four-lane highways and a moderate amount of trees, few close to the highway, traffic buildings is moderate and the speed limit is 100 km/h [15]. Those models were used for DVB-H Implementation Guidelines, and all of them are defined with twelve paths [16]. The table VII shows the configurations of channel for each situation.

This test evaluated the C/N threshold in the four situations of the WING-TV project for the three receivers. In the previous section it was observed that the RS codification is very important for a better mobile reception, for this reason, only C1, C2 and C3 were used for this test.

As seen in figures 9 and 10, a PO environment was more aggressive for the performance of receivers than a PI environment. Especially using C2 and C3 configurations, it was obtained a difference of 3 dB in C/N ratio threshold. In these tests it showed that an important factor for the performance of receivers was the speed. The MR environment having a higher speed than the VU environment obtained similar effects, even though the VU environment is more aggressive. This can be identified in the figures 11 and 12.

TABLE VII. CONFIGURATIONS FOR MOBILE CHANNEL MODELS IN A SFN

SFN of two Transmitters							
Pedestrian Indoor (PI) 3 km/h		Pedestrian Outdoor (PO) 3 km/h		Vehicular Urban (VU) 30 km/h		Motorway Rural (MR) 100 km/h	
Relative time (µs)	Average relative power [dB]	Relative time (µs)	Average relative power [dB]	Relative time (µs)	Average relative power [dB]	Relative time (µs)	Average relative power [dB]
0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	6.4	0.2	1.5	0.3	0.5	0.5	1.3
0.2	10.4	0.6	3.8	0.8	1	1	3.4
0.4	13	1	7.3	1.6	4.1	1.8	6.8
0.6	13.3	1.4	9.8	2.6	8.8	2.5	10.2
0.8	13.7	1.8	13.3	3.3	12.6	3.1	12.9
1	16.2	2.3	15.9	4.8	18.6	3.9	16.3
1.6	15.2	3.4	20.6	5.8	21.6	4.8	19.5
8.1	14.9	4.5	19	7.2	24.6	5.5	21.7
8.8	16.2	5	17.7	10.8	20.7	6.4	23.3
9	11.1	5.3	18	11.8	18.2	7	24.2
9.2	11.2	5.7	19.3	12.6	19.4	9	25.8

It can be inferred that C1 configuration remained the similar performance in the receivers for all propagation environments with a value about 12 dB of C/N ratio threshold. C1 configuration can be considered the best

configuration because it had higher stability and it was always below at A/54 Recommendation (14.9 dB) [11].

Fig. 9. C/N thresholds of the receivers for three FEC configurations, using Pedestrian Indoor model (3 km/h)

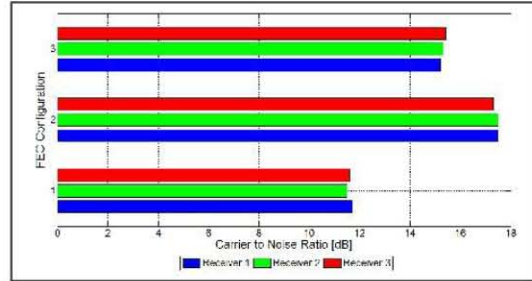


Fig. 10. C/N thresholds of the receivers for three FEC configurations, using Pedestrian Outdoor model (3 km/h)

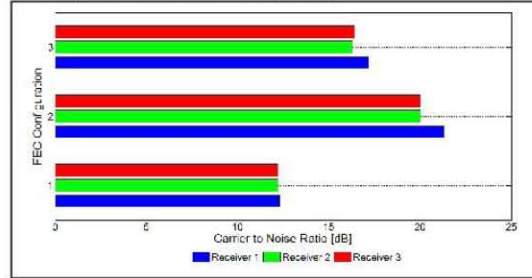


Fig. 11. C/N thresholds of the receivers for three FEC configurations, using Vehicular Urban model (30 km/h)

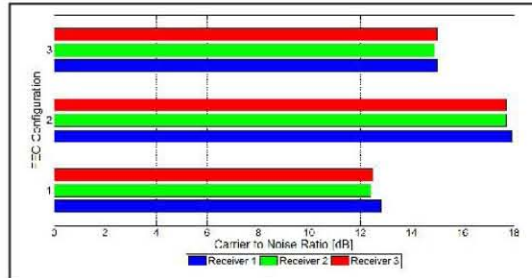
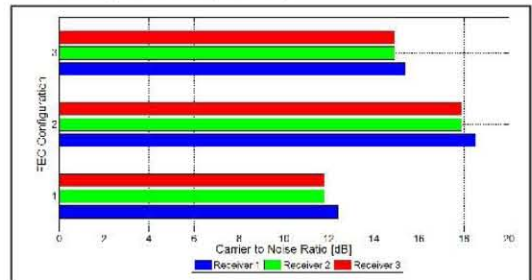


Fig. 12. C/N thresholds of the receivers for three FEC configurations, using Motorway Rural model (100 km/h)



X. CONCLUSIONS

Laboratory tests for commercial ATSC-M/H receivers were done. Three different receivers were evaluated. One conclusion is that the receivers showed almost equal performances.

For the sensitivity test, the C/N ratio threshold in AWGN channel test and the static path test, the RS-CRC codification was not an important factor for a good reception. This can be observed by comparing the results of "QQQQ RS 48" and "QQQQ RS 24" FEC configurations, obtaining a maximum difference of 0.8 dB in the TOV. On the other hand, the SCCC codification was very important in this tests; this can be observed by comparing the results for the "QQQQ RS 48" and "HHHH RS 48" FEC configurations, obtaining a difference about 4 dB in the TOV.

The RS-CRC codification was very important for a good reception when the reception was on mobile or handheld environments, such as TU-6 and RA-6 channel models, and Doppler Frequency environments. This can be observed comparing "QQQQ RS 48" and "QQQQ RS 24" FEC configurations again. For these cases the difference between these configurations was more than 3 dB in TOV, and the first one supported until the double Doppler frequency than the second one.

In the static reception tests, the SCCC codification of the Region "A" had an important effect on the performance of receivers. Switching between "QQQQ RS 48" and "HQQQ RS 48", a difference about 4 dB in the TOV was obtained. Nevertheless in the mobile and portable reception tests the both FEC configurations had a similar performance in the receivers. So, it is recommended to use the "HQQQ RS" configuration as it has a good protection occupying a narrower bandwidth than the "QQQQ RS 48".

Finally, for static echo test, ATSC-M/H had a better performance than the A/74 Recommendation, but in a SFN on mobile reception, only the "QQQQ RS 48" configuration was better than the other configurations because its C/N ratio threshold always was less than 14.9 dB, as it is recommended in A/54 [11].

REFERENCES

- [1] Diario Oficial de la Federación, "Acuerdo por el que se Adopta el Estándar Tecnológico de Televisión Digital Terrestre y se Establece la Política para la Transición a la Televisión Digital Terrestre en México". México, 2 de Julio 2004.
- [2] Diario Oficial de la Federación. "Política para la Transición Digital Terrestre", México, 11 de septiembre de 2014.
- [3] Advanced Television Systems Committee, "A/153: ATSC Mobile DTV Standard, Parts 1-10," Washington, D. C., March 2013.
- [4] CBC Radio-Canada, "Engineering Report ERL2-041: Mobile DTV (ATSC M/H) Field Testing and Measurements", Toronto, November 30, 2012.
- [5] Rohde & Schwarz, "R&S SFE Broadcast Tester. User Manual", Munich, Germany, 2012.
- [6] S.M. Weiss, "Reception Considerations for Distributed Transmission in ATSC Systems", Consumer Electronics, 2005. ICCE. 2005 Digest of Technical Papers. International Conference on, pages 477-478, January 2005.
- [7] Khalil S., Yiyan W., Gilles G., "Performance of the Consumer ATSC- DTV Receivers in the Presence of Single or Double Interference on Adjacent/Taboo Channels", IEEE Transactions on Broadcasting, Vol. 56, No. 1, March, 2010.
- [8] Diario Oficial de la Federación, "Resolución mediante la cual el Pleno de la Comisión Federal de Telecomunicaciones aprueba la publicación íntegra y actualizada del Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias". México, 28 de Febrero de 2012.
- [9] Advanced Television Systems Committee, "ATSC Recommended Practice A/74: Receiver Performance Guidelines", Washington D. C: April 2010.
- [10] Advanced Television Systems Committee, "ATSC Recommended Practice A/174: Mobile Receiver Performance Guidelines", Washington, D. C., 26 September 2011.
- [11] Advanced Television Systems Committee, "A/54A: Guide to Use of the ATSC Digital Television Standard, with Corrigendum No. 1," Washington D. C. December 2006.
- [12] COST 207 (Commission of the European Communities), "Digital land mobile radio communications," 1989.
- [13] 3GPP TR 25.943 V6.0.0 (2004-12), "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Networks; Deployment aspects (Release 6)," Technical Report, Page 6.
- [14] European Telecommunications Standards Institute, "Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Radio Transmission and Reception (3GPP TS 05.05 version 8.20.0 Release 1999),"ETSI TS 100 910 V8.20.0 (2005-11) Technical Specification, Page 74.
- [15] Wing TV, "Services to Wireless, Integrated, Nomadic, GPRS-UMTS & TV handheld terminals" CELTIC Wing Tv Project Report, May 2006.
- [16] European Telecommunications Standards Institute, "Digital Video Broadcasting (DVB); DVB-H Implementation Guidelines ", June 2009.



March 23-25, 2016 - Toulouse, France

**CERTIFICATE OF ATTENDANCE
ATTESTATION DE PRESENCE**

I, the undersigned, Florence FOUCAUD, Conferences Coordinator,

attest of the presence of :

- Flor de Guadalupe ORTÍZ GÓMEZ

*at the congress **Wireless Days** (MARCH 23-25, 2016 - TOULOUSE, FRANCE)*

Toulouse, March 23th, 2016

Florence FOUCAUD

**INSTITUT NATIONAL
POLYTECHNIQUE**
6, allée Emile Monso BP 34038
F - 31029 TOULOUSE CEDEX 4
Téléphone 05 34 32 30 00
Télécopie 05 34 32 31 00

• **INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE** •
ACTIVITES INDUSTRIELLES ET COMMERCIALES
6, allée Emile Monso BP 34038 F. 31029 TOULOUSE Cedex 4 - France
Tél. (0)5 34 32 31 12 - Fax : (0)5 34 32 31 13 - inpact@inp-toulouse.fr

Referencias

[1] A. M. Dhake, "TV and Video Engineering" Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited. New Delhi, India. May, 1999.

[2] Diario Oficial de la Federación, "Acuerdo por el que se Adoptó el Estándar Tecnológico de Televisión Digital Terrestre en México", México, 2 de Julio 2004.

[3] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <http://www.inegi.org.mx/>

[4] Diario Oficial de la Federación "Art IV: Política para la Transición Digital Terrestre", México, Septiembre, 2014.

[5] Advance Television Systems Committee, "ATSC Mobile DTV Standard: A/153 Part 1-10", Washington, D.C., December 2011.

[6] Advanced Television Systems Committee, "ATSC Digital Television Standard Part 1-6", Washington, D. C., diciembre 2015.

[7] David Sparano, "What exactly is 8-VSB anyway?", The Miller Freeman Guide to Digital Television, 1997, 3 ed.

[8] Unión Internacional de Telecomunicaciones, "Recomendación UIT-R BT.1833-2: Radiodifusión de aplicaciones multimedios y de datos para recepción mediante receptores de bolsillo", Ginebra, agosto 2012.

[9] CBC, Radio-Canada, "Engineering Report ER12-041 Mobile DTV (ATSC M/H) Field Testing and Measurements", Toronto, November 30, 2012.

[10] Advanced Television Systems Committee, "Standard A/110: ATSC Standard for Transmitter Synchronization," Washington, D.C., April. 2011.

[11] Xianbin Wang, Yiyang Wu, G. Gagnon, Bin Tian, Kechu Yi, and J.-Y. Chouinard, "A hybrid domain block equalizer for single-carrier modulated systems" Broadcasting, IEEE Transactions on, 54(1):91–99, March 2008.

[12] Yanjie Peng, A.G. Klein, and Xinming Huang, "Hybrid dfsf-bp equalization for atsc dtv receivers", In Circuits and Systems (ISCAS), 2014 IEEE International Symposium on, pages 1712–1715, June 2014.

[13] Susana Loredó, Jesús Pérez, Luis Valle, Rafael Torres, "Modelo de canal específico del entorno para la simulación de sistemas inalámbricos en entornos de interiores: Análisis cuantitativo de error", XV Simposio Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio, Zaragoza, 2000.

[14] J. D. Parsons, "The Mobile Radio Propagation Channel", Second Edition, John Wiley & Sons LTD, GB, 2000

[15] ABERT Mackenzie and SET. General Description of Laboratory Tests, "DTV Field Test Report in Brazil", July, 2000

[16] ETSI TS 100 910 V8.20.0 (2005-11) Technical Specification, "Digital celular telecommunications system (Phase 2+); Radio Transmission and Reception(3GPP TS 05.05 version 8.20.0 Release 1999)" ,Page 74.

[17] 3GPP TR 25.943 V6.0.0 (2004-12), "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Acces Networks; Deployment aspects (Release 6)", Technical Report, Page 6.

[18] COST 207 (Comission of the European Communities), "Digital land mobile radio communications", 1989. Page 141-146.

[19] Wing TV, "Services to Wireless, Integrated, Nomadic, GPRS-UMTS & TV handheld terminals" CELTIC Wing Tv Project Report, May 2006.

[20] European Telecommunications Standards Institute, "Digital Video Broadcasting (DVB); DVB-H Implementation Guidelines ", June 2009.

[21] Advanced Television Systems Committee, "ATSC Recommended Practice A/74: Receiver Performance Guidelines", Washington D. C: April 2010.

[22] Advanced Television Systems Committee, "A/54A: Guide to Use of the ATSC Digital Television Standard, with Corrigendum No. 1," Washington D. C. December 2006.

[23] Advanced Television Systems Committee, "ATSC Recommended Practice A/174: Mobile Receiver Performance Guidelines", Washington, D. C., 26 September 2011.

[24] J. Huerta, M. A. Hernández, J. M. Matías, R.A. Zavaleta, A. Ipiña, "Parametros de desempeño de Receptores ATSC 8-VSB Bajo los lineamientos de la Recomendación A/74 de ATSC", VII Congreso Internacional de Computación y Telecomunicaciones COMTEL 2015, Septiembre del 2015.

[25] Jaime Huerta, "Tesis: Pruebas de laboratorio de Televisión Digital ATSC en redes en Frecuencia Única", Universidad Nacional Autónoma de México, enero 2016.

[26] S.M. Weiss, "Reception Considerations for Distributed Transmission in ATSC Systems", Consumer Electronics, 2005. ICCE. 2005 Digest of Technical Papers. International Conference on, pages 477–478, January 2005.

[27] Khailil S., Yiyen W., Gilles G., "Performance of the Consumer ATSC- DTV Receivers in the Presence of Single or Double Interference on Adjacent/Taboo Channels", IEEE Transactions on Broadcasting, Vol. 56, No. 1, March, 2010.

[28] Rohde & Schwarz, "R&S SFE Broadcast Tester. User Manual", Munich, Germany, 2012.

[29] <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/?e=14&mun=39>

[30]http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Delimitacion_de_las_zonas_metropolitanas_de_Mexico_2010_-_Analisis_de_resultados

DECLARACIÓN

La información presentada en este trabajo se obtuvo de diversas fuentes que se consideran fidedignas y se consignan puntualmente en las referencias. El uso dado a la información es de naturaleza estrictamente de investigación académica y de divulgación, sin fines de lucro o de otra índole. Se ha hecho también el mayor esfuerzo por acreditar debidamente datos, opiniones y contenidos presentados, por lo que cualquier error u omisión en ello, es del todo involuntario.

México, D.F., Mayo de 2016

Flor de Guadalupe Ortíz Gómez