



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN
INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE LA RECEPCION DE LA SEÑAL DRM
(DIGITAL RADIO MONDIALE) EN ONDA MEDIA EN
BASE A PRUEBAS DE CAMPO REALIZADAS EN
BRASIL.**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

INGENIERÍA ELÉCTRICA – TELECOMUNICACIONES

P R E S E N T A

ENRIQUE CARRILLO VENTURA

TUTOR:

DR. JOSE MARIA MATIAS MARURI

MÉXICO D.F., CIUDAD UNIVERSITARIA, MAYO DE 2012



JURADO ASIGNADO:

Presidente: DR. GUTIÉRREZ CASTREJÓN RAMÓN

Secretario: DR. RANGEL LICEA VICTOR

Vocal: DR. MATÍAS MARURI JOSÉ MARÍA

1^{er}. Suplente: DR. TINOCO MAGAÑA JULIO CÉSAR

2^{do}. Suplente: DR. VICENTE VIVAS ESAÚ

Lugar donde se realizó la tesis:

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

TUTOR DE TESIS:

Dr. José María Matías Maruri

FIRMA

Agradecimientos

Primeramente agradezco a Dios por haberme permitido cumplir una meta más en esta etapa de mi vida, que gracias a él pude brincar todos los obstáculos encontrados a lo largo de mi carrera profesional y en mi vida misma.

A mis padres, por su apoyo incondicional y que sin duda alguna, sin su amor, cariño, ánimo y comprensión no hubiera sido posible alcanzar todos mis logros hasta el día de hoy. GRACIAS padre por enseñarme que en esta vida nada es regalado y por guiarme en el camino de la responsabilidad. GRACIAS madre porque eres un ser maravilloso que siempre está junto a mí y tu amor es el motor para trabajar en mis sueños día a día. Los AMO

A mis hermanas, Claudia, Luz Elvia, Adriana por ser parte de mi vida y apoyarme en todo momento con quienes he compartido momentos maravillosos de mi vida.

A mis sobrinitos, Adrián, Yamili, Karla, Brian de Jesús, Juan Manuel, Erika, Ángel Derek y Luis Enrique por su amor, cariño y respeto.

Agradezco también a mi esposa Gaby, que a la par con mis padres jamás dejo de apoyarme moralmente e insistirme en que todo se puede lograr con confianza ganas y dedicación. GRACIAS también por motivarme a ser mejor día con día a través de ese ser divino que Dios nos mando que es mi hijo Enrique. LOS AMO

Gracias a mis tíos por sus cuidados, consejos y ayuda paralela junto con mis padres, desde la licenciatura hasta la Maestría.

Gracias a mi tutor de tesis, el Dr. José María Matías por su experiencia, confianza y orientación, que sin su apoyo el desarrollo de esta tesis no se hubiera concretado. GRACIAS Dr. Por haberme permitido trabajar con usted durante 2 años y nunca haber dejado de alguna manera el abandono de este trabajo que también es suyo.

A mis amigos, Diego, Ernesto, Jesús y Verónica por su apoyo y estar siempre en los momentos más difíciles de mi vida.

A mis amigos, Alfredo y Mario por haberme permitido su amistad y compartir momentos agradables durante la Maestría y por las molestias que les estuve dando para el seguimiento de mis trámites.

Gracias a la Coordinación de Estudios de Posgrado de la UNAM por el apoyo económico otorgado durante los dos años de Maestría y con ello hacer posible el desarrollo de esta tesis.

Gracias a la UNAM y a sus profesores por la formación académica

Gracias al Ing. José Néstor González de Grupo Iusacell por las facilidades otorgadas en tiempos para la culminación de este proyecto.

Y gracias a todos aquellos que de alguna manera han contribuido otorgándome su apoyo, ánimo y amistad a lo largo de mi vida. GRACIAS

Resumen

Desde hace varios años la tecnología digital ha ido sustituyendo a la tecnología analógica en todos los campos tecnológicos, y en este cambio, el mundo de la radio no es la excepción. En los últimos años se han desarrollado varios estándares de radiodifusión digital terrestre, dentro de los cuáles se encuentra el sistema DRM (Digital Radio Mondiale).

DRM es un sistema de radio digital terrestre que fue aceptado por la UIT para ofrecer servicios en todas las bandas de radiodifusión por debajo de los 174 MHz (Onda larga, onda media, onda corta y banda III de VHF).

Con la digitalización de la radio analógica, se espera que este servicio se convierta en un sistema más competitivo y atractivo, ofreciendo una mejor calidad de audio y la agregación de nuevos servicios de datos, que es lo que lo hace competitivo con los actuales medios digitales. Por otra parte la digitalización confirma los nuevos avances tecnológicos los cuales ofrecen varias ventajas sobre los sistemas analógicos, tales como el mayor aprovechamiento del espectro disponible, reducción de la potencia de transmisión, el uso de técnicas avanzadas para corrección de errores, aplicaciones multimedia como video e imágenes y seguridad de los datos.

Actualmente el Consorcio DRM, el Ministerio de Comunicaciones de Brasil y el organismo de normalización InMetro iniciaron campañas de medidas a finales del año 2009 hasta estos momentos. Por lo que el trabajo de esta tesis consistirá en el análisis de los parámetros que se van midiendo, para que se pueda llegar a un resultado el cual permita describir el desempeño de la señal DRM en onda media que es la banda que nos compete para este estudio.

Esto significa que el desarrollo de la tesis formará parte directa con el Consorcio DRM, pues se determinará si es bueno el desempeño de la señal utilizando este estándar a través de una previa evaluación de datos, esta información se nos hará llegar por gente que está trabajando en las campañas de medidas y que está encargada de recabar la información. La elaboración de esta tesis y el resultado que se obtenga será parte fundamental para la realización de informes oficiales que serán enviados a la Agencia Nacional de Telecomunicaciones, que es una dependencia del gobierno de Brasil encargada de definir si el estándar DRM sea el que se utilice en ese país.

Índice

1	INTRODUCCIÓN	6
1.1	Antecedentes: Estado de la Radio Digital y del Estándar DRM	6
1.2	Motivaciones de la Tesis	7
1.3	Objetivos	8
1.4	Estructura de la Tesis	9
2	ESTADO DEL ARTE.....	10
2.1	Sistemas de Radio Digital Terrestre.....	10
2.1.1	DAB-Eureka-147	10
2.1.2	HD Radio-IBOC	11
2.1.3	ISDB-TSB.....	12
2.2	DRM (Digital Radio Mondiale).....	13
2.2.1	Características Básicas.....	14
2.2.2	Características Técnicas.....	16
2.3	Sistema DRM en la Banda de Onda Media.....	19
2.4	Pruebas del Sistema DRM.....	20
3	REDES DE TRANSMISIÓN Y SISTEMA DE MEDIDAS.....	21
3.1	Descripción de las Redes de Transmisión.....	21
3.1.1	Estación Transmisora Padre Anchieta	21
3.1.2	Estación Transmisora CBN.....	25
3.1.3	Modos de Transmisión DRM Utilizados	28
3.1.4	Estimación de Cobertura AM	28
3.2	Equipamiento de Recepción.....	31
3.2.1	Características de los Equipos	31
3.2.2	Antena de Medidas	32
3.3	Parámetros de Medidas	33
3.4	Procedimiento de Medidas	35
4	METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LOS DATOS	36
4.1	Verificación de la Coherencia de Datos.....	36
4.1.1	Fuentes de Verificación de los Datos.....	36
4.1.2	Criterios para el Descarte de Datos.....	37
4.2	Evaluación de Robustez y Área de Cobertura de la Señal Digital	39
4.3	Evaluación de Compatibilidad con las Señales Analógicas.....	40
5	RESULTADOS.....	41
5.1	Resultados de Recepción y Comparación con los Previstos	41
5.1.1	Fundación Padre Anchieta	41
5.1.2	Radio CBN.....	47
5.2	Umbrales de Recepción.....	52
5.2.1	Modo Day 16 Padre Anchieta.....	52
5.2.2	Modo Day 64 Padre Anchieta.....	52
5.2.3	Modo Night 16 Padre Anchieta	53
5.2.4	Modo Night 64 Padre Anchieta	54
5.2.5	Modo Day 16 CBN	54
5.2.6	Modo Day 64 CBN	55

5.2.7	Modo Night 16 CBN.....	55
5.2.8	Modo Night 64 CBN.....	56
5.2.9	Comparación de Umbrales Diurnos DRM con Umbrales de AM.....	57
5.2.10	Comparación de Umbrales Nocturnos DRM con Umbrales de AM.....	57
5.2.11	Discusión de los umbrales obtenidos.....	58
5.3	Compatibilidad con las Señales Analógicas.....	58
5.3.1	Compatibilidad de la Señal DRM con la Canalización de AM en Onda Media.....	58
5.3.2	Impacto en la Recepción de la Señal Analógica AM Huésped.....	59
5.3.3	Impacto en la Recepción de Señales AM en Canales Adyacentes 1 y 2.....	59
6	CONCLUSIONES.....	62
7	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	63

Figuras

Figura 2.1:	Concepto de transmisión y recepción ISDB-TSB e ISDB-T de banda completa.....	13
Figura 2.2.	Bandas de operación del sistema DRM.....	14
Figura 2.3.	Diagrama de bloques de transmisión del sistema DRM.....	16
Figura 2.4.	Opciones de codificación de audio para los modos de transmisión común de DRM.....	18
Figura 2.5.	Modos de propagación de ondas de radio: onda de superficie y onda ionosférica.....	20
Figura 3.1.	Ubicación del transmisor Padre Anchieta en la ciudad de Sao Paulo.....	22
Figura 3.2.	Esquema del transmisor.....	23
Figura 3.3.	Servidor de contenidos y modulador Digidia.....	24
Figura 3.4.	Sistema de antenas y casa de sintonía.....	24
Figura 3.5.	Ubicación del transmisor CBN en la ciudad de Sao Paulo.....	25
Figura 3.6.	Esquema del transmisor en CBN.....	27
Figura 3.7.	Antena.....	27
Figura 3.8.	Base de la torre y casa de sintonía.....	27
Figura 3.9.1	Contornos protegidos diurno (en azul) y nocturno (en verde).....	29
Figura 3.10.	Contornos protegidos diurno (en azul) y nocturno (en verde).....	30
Figura. 3.11.	Unidad móvil de InMetro.....	31
Figura 3.12.	Equipos de medidas en la unidad móvil.....	31
Figura 3.13.	Esquema de conexiones del equipamiento de recepción.....	32
Figura 3.14.	Antena de recepción montada sobre el mástil.....	33
Figura 4.1.	Nivel de campo medido en el punto R2P5 de la estación CBN. Se observan incrementos anómalos provocados posiblemente por una interferencia.....	37
Figura 4.2.	Receptor AM Toshiba TR949GL, Motobras RM-PF22 y NKS AC-125.....	40
Figura 5.1.	Resultados del AQ en el modo Day 16 mostrados en mapa.....	42

Figura 5.2. Resultados de recepción del modo Day 16 en función de la distancia al transmisor.....	42
Figura 5.3. Resultados del AQ en el modo Day 64 mostrados en mapa.....	43
Figura 5.4. Resultados de recepción del modo Day 16 en función de la distancia al transmisor.....	44
Figura 5.5. Espectro grabado durante la noche mostrando las interferencias de otras estaciones AM.....	45
Figura 5.6. Resultados del AQ en el modo Night 16 mostrados en mapa.....	46
Figura 5.7. Resultados de recepción del modo Night 16 en función de la distancia al transmisor.....	46
Figura 5.8. Resultados del AQ en el modo Night 16 mostrados en mapa.....	47
Figura 5.9. Resultados de recepción del modo Night 16 en función de la distancia al transmisor.....	47
Figura 5.10. Resultados del AQ en el modo Day 16 mostrados en mapa.....	48
Figura 5.11. Resultados de recepción del modo Day 16 en función de la distancia al transmisor.....	48
Figura 5.12. Resultados del AQ en el modo Day 64 mostrados en mapa.....	49
Figura 5.13. Resultados de recepción del modo Day 64 en función de la distancia al transmisor.....	49
Figura 5.14. Espectro grabado durante la noche mostrando las interferencias de otras estaciones AM durante la transmisión de Radio CBN.....	50
Figura 5.15. Resultados del AQ en el modo Night 16 mostrados en mapa.....	51
Figura 5.16. Resultados de recepción del modo Night 16 en función de la distancia al transmisor.....	51
Figura 5.17. Resultados del AQ en el modo Night 64 mostrados en mapa.....	52
Figura 5.18. Resultados de recepción del modo Night 64 en función de la distancia al transmisor.....	52
Figura 5.19. AQ en función del campo eléctrico y la SNR en el modo Day 16.....	53
Figura 5.20. AQ en función del campo eléctrico y la SNR en el modo Day 64.....	54
Figura 5.21. AQ en función del campo eléctrico y la SNR en el modo Night 16.....	54
Figura 5.22. AQ en función del campo eléctrico y la SNR en el modo Night 64.....	55
Figura 5.23. AQ en función del campo eléctrico y la SNR en el modo Day 16.....	55
Figura 5.24. AQ en función del campo eléctrico y la SNR en el modo Day 64.....	56
Figura 5.25. AQ en función del campo eléctrico y la SNR en el modo Night 16.....	57
Figura 5.26. AQ en función del campo eléctrico y la SNR en el modo Night 64.....	57
Figura 5.27. Recepción de la señal AM de Sorocaba interferida por la señal DRM de Padre Anchieta.....	62

Tablas

Tabla 3.1. Características técnicas de operación de la estación Padre Anchieta.....	22
Tabla 3.2. Características principales de la señal DRM emitida en Sao Paulo.....	23
Tabla 3.3. Características técnicas de operación de la estación Radio CBN.....	26
Tabla 3.4. Características principales de la señal DRM emitida por CBN en Sao Paulo..	26
Tabla 3.5. Configuraciones de la señal DRM usadas en las pruebas.....	28
Tabla 3.6. Parámetros de medida.....	34
Tabla 5.1. Comparación de umbrales Diurnos DRM con los previstos para AM.....	58
Tabla 5.2. Comparación de umbrales Nocturnos DRM con los previstos para AM.....	58
Tabla 5.3. Impacto de la señal DRM en la señal AM huésped.....	60
Tabla 5.4. Resultados de recepción de Sorocaba (AM 1210 kHz) interferida por la señal DRM.....	61

Lista de Abreviaturas

AAC	Advanced Audio Coding
AM	Amplitud Modulada
AQ	Audio Quality
ARIB	Association of Radio Industries and Businesses
BBC	British Broadcasting Corporation
BER	Bit Error Rate
BST-OFDM	Band Segmented Transmission-OFDM
CD	Compact Disc
CINR	Carrier to Interference plus Noise Ratio
C/N	Carrier to Noise Ratio
COFDM	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing
Cofetel	Comisión Federal de Telecomunicaciones
DAB	Digital Audio Broadcasting
DRM	Digital Radio Mondiale
DTV	Digital Terrestrial Television
DVB-H	Digital Video Broadcasting-Handheld
DVB-SH	Digital Video Broadcasting to Satellite Handheld
DVB-T	Digital Video Broadcasting-Terrestrial
EBU	European Broadcasting Union
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FAC	Fast Access Channel
FM	Frecuencia Modulada
GPS	Global Positioning System
IBOC	In-Band On-Channel
ISDB-TSB	Integrated Service Digital Broadcasting-Terrestrial Sound Broadcasting
ISI	Inter Symbol Interference
ITS	Institute for Telecommunication Sciences
LOS	Line of Sight
MER	Modulation Error Rate
MFN	Multi Frequency Network
MSC	Main Service Channel
NRSC	National Radio Systems Committee
NTIA	National Telecommunications and Information Administration
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PIRE	Potencia Isotrópica Radiada Efectiva
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
RF	Radio Frequency
RSCI	Receiver Status and Control Interface
SDC	Service Description Channel
SFN	Single Frequency Network
SNR	Signal to Noise Ratio
UHF	Ultra High Frequency
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
UIT-R	Sector Radiocomunicaciones, Unión Internacional de Telecomunicaciones
VHF	Very High Frequency

1 INTRODUCCIÓN

En este primer capítulo se da a conocer de manera general el enfoque que se sigue para el desarrollo de esta tesis, es decir, se presenta el estudio sobre el desempeño y los aspectos relacionados con la propagación de la señal DRM bajo una configuración de transmisión Simultánea, desarrollado en base a las campañas de medidas que se llevaron a cabo en la ciudad de Sao Paulo, Brasil. En este estudio se analiza la calidad del servicio digital en base a una serie de medidas estáticas y móviles realizadas entre Enero y Marzo de 2010, por lo que este trabajo de investigación contendrá como resultados, la calidad de recepción de la señal digital estática y en movimiento, umbrales mínimos de recepción así como las posibles interferencias que causen problemas a la señal DRM y el alcance del área de cobertura. Como primer punto se da los antecedentes de la radio digital en general y del sistema DRM particularmente. Posteriormente se explican las motivaciones y los objetivos que incitaron a este estudio. Finalmente se muestra la forma en que se ha estructurado la tesis.

1.1 Antecedentes: Estado de la Radio Digital y del Estándar DRM

Desde hace varios años la tecnología digital ha ido sustituyendo a la tecnología analógica en todos los campos tecnológicos, y en este cambio, el mundo de la radio no es la excepción. En el campo de la radiodifusión sonora las tecnologías digitales se utilizan desde hace tiempo para la grabación, producción y almacenamiento de programas. Como era lógico de esperar la aplicación de las modulaciones digitales también se empezaron a utilizar a finales de los años 90, y en la actualidad ya hay varios estándares de radio digital.

Hoy en día las actuales emisoras de AM (Onda Media) que durante décadas fueron el principal medio de comunicación masivo electrónico, están siendo superadas por otras tecnologías en términos de calidad técnica. Los oyentes abandonan de forma paulatina esta banda, sobre todo cuando tienen la alternativa de escuchar lo mismo en la banda de FM y por el más reciente competidor, la radio por satélite. Además de que existen los sistemas de radio por internet, y otras formas de escuchar programas sonoros o música, como reproductores multimedia y sistemas más modernos como el iPod. Todos merman la audiencia de AM.

Sin embargo, la radiodifusión sonora en frecuencias inferiores a los 30 MHz sobre la cual opera la radio de AM, tiene la ventaja de dar servicio a grandes áreas de cobertura con un solo transmisor, sin el uso de repetidores o de satélites.

Con la digitalización de la radio analógica, se espera que este servicio se convierta en un sistema más competitivo y atractivo, ofreciendo una mejor calidad de audio y la agregación de nuevos servicios de datos, que es lo que lo hace competitivo con los actuales medios digitales. Por otra parte la digitalización confirma los nuevos avances tecnológicos los cuales ofrecen varias ventajas sobre los sistemas analógicos, tales como el mayor aprovechamiento del espectro disponible, reducción de la potencia de transmisión, el uso de técnicas avanzadas para corrección de errores, aplicaciones multimedia como video e imágenes y seguridad de los datos.

Por esta razón con el objeto de aprovechar las ventajas de las nuevas tecnologías, y ante el avance de las tecnologías digitales, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) especificó en 1992 la recomendación ITUBS-774 la cual indica las características que debían tener las nuevas tecnologías de radio digital terrestre que substituyeran a la radio analógica actual [1]. Esa recomendación se completó en 1998 con las características para frecuencias por debajo de 30 MHz ITUBS-1348 [2].

Enseguida se mencionan brevemente los distintos sistemas de radio digital que existen, mismos que serán descritos más a detalle en el capítulo 2.

- ✓ Sistema Digital **Eureka-147**, conocido comercialmente con el nombre de DAB.
- ✓ Sistema **IBOC** (In-Band / On-Channel), conocido comercialmente como HD Radio.
- ✓ Sistema **ISDB-TSB**.
- ✓ Sistema **DRM** (Digital Radio Mondiale)

1.2 Motivaciones de la Tesis

DRM es un sistema de radio digital terrestre (RDT) que cubre todas las bandas de radiodifusión por debajo de los 174 MHz (Onda larga, onda media, onda corta y banda III de VHF) [2]. Representa claras ventajas (por ejemplo calidad de audio, fiabilidad del servicio y facilidad de uso) [3] para los radiodifusores, oyentes y fabricantes. Además, ofrece fácil acceso a productos de consumo digitales de alta calidad.

Durante los últimos años se han llevado a cabo varios estudios en distintos países europeos con el fin de evaluar la transmisión Simultánea del sistema DRM en la banda de onda media, sin embargo, parte de los resultados disponibles se han basado en medidas de laboratorios pero su gran mayoría datan de las campañas de medidas que se han realizado.

En Brasil se está por migrar de la radio analógica a la radio digital, lo que permite al estándar DRM darse a conocer como un sistema competitivo y que ofrece múltiples ventajas en comparación a otros estándares, debido a esta iniciativa el Consorcio DRM propuso al gobierno de Brasil realizar campañas de medidas del sistema para poder dar a

conocer los parámetros a medir como umbrales de recepción y cobertura de la señal, para con ello demostrar que el estándar funciona, y una vez realizadas estas pruebas sirvan de respaldo para que este estándar sea la opción por dicho país para la migración de la radio analógica a la radiodifusión digital.

Actualmente este proyecto es llevado a cabo por miembros del Consorcio DRM, el Ministerio de Comunicaciones de Brasil y el organismo de normalización InMetro los cuales iniciaron pruebas a finales del año 2009 hasta estos momentos. Por lo que el trabajo de esta tesis consistirá en el análisis de los parámetros que se van midiendo, para que se pueda llegar a un resultado el cual permita describir el desempeño de la señal DRM en onda media que es la banda que nos compete para este estudio.

Esto significa que el desarrollo de la tesis formará parte directa con el Consorcio DRM, pues se determinará si es bueno el desempeño de la señal utilizando este estándar a través de una previa evaluación de datos, estos datos se nos hará llegar por gente que está trabajando en las campañas de medidas y que está encargada de recabar la información. La elaboración de esta tesis y el resultado que se obtenga será parte fundamental para la realización de informes oficiales que serán enviados a la Agencia Nacional de Telecomunicaciones, que es una dependencia del gobierno de Brasil encargada de definir si el estándar DRM sea el que se utilice en ese país.

1.3 Objetivos

El objetivo principal de esta tesis es estudiar el desempeño de la señal DRM (Digital Radio Mondiale) en onda media basado en las campañas de medidas realizadas en Brasil. Los resultados de este análisis serán la base de los informes de resultados de las pruebas que se presentaran a la Agencia Nacional de Telecomunicaciones de Brasil. Para que este objetivo se cumpla se han de seguir objetivos específicos durante la realización de este estudio.

Objetivos específicos:

- Organización de la base de datos de las medidas obtenidas.
- Implementar nuevas herramientas de software de análisis o adaptar las existentes.
- Comparar los resultados de las distintas campañas de medidas.
- Colaborar en la realización de los informes.

1.4 Estructura de la Tesis

Este trabajo se divide en 6 capítulos y está estructurado de la siguiente manera:

Capítulo 1, “*Introducción*” en este apartado se muestra un resumen de la situación pasada y actual de los sistemas de radiodifusión sonora digital, a su vez, se explican los motivos que impulsaron a realizar el estudio de este trabajo así como los objetivos para lograrlo.

Capítulo 2, “*Estado del Arte*” se muestra el estado actual de la tecnología y los estudios de investigación que se han realizado en los servicios de radiodifusión sonora digital, haciendo más énfasis al sistema DRM. También se mencionan las pruebas de campo realizadas en distintas partes del mundo en la banda de onda media.

Capítulo 3, “*Redes de Transmisión y Sistema de Medidas*” se presentan las características técnicas de las redes de transmisión usadas durante las campañas de medidas. Se explican los distintos modos de transmisión DRM utilizados durante las pruebas así como la estimación de cobertura para AM y DRM. Se concluye con la descripción del equipamiento de recepción y con la explicación de los parámetros de medida usados durante las pruebas.

Capítulo 4, “*Metodología de Evaluación de los Datos*” se explica la metodología utilizada en el análisis de los datos y con ello la evaluación de la robustez de la señal DRM así como el área de cobertura. Se concluye con la evaluación de compatibilidad entre la señal digital y las señales analógicas.

Capítulo 5, “*Resultados*” se muestran los resultados de calidad de recepción obtenidos, tanto de recepción estática como en movimiento. También se determinan los umbrales de recepción para el funcionamiento del sistema, tanto en campo eléctrico como SNR (Signal to Noise Ratio, en español Relación Señal a Ruido). Con estos umbrales se estima el alcance de la señal DRM. Finalmente se muestra la compatibilidad que existe de la señal digital con las analógicas y la comparación de resultados con otras campañas de medidas.

Capítulo 6, “*Conclusiones y Aportaciones de la Tesis*” en esta última sección se presentan las conclusiones y las aportaciones que se han arrojado de esta tesis.

Finalmente se muestran dos secciones más, uno que es el de “*Referencias*” que compete a las citas bibliográficas y el de “*Acrónimos y Abreviaturas*” que dan significado a palabras claves dentro de este documento.

2 ESTADO DEL ARTE

La investigación realizada para esta tesis se enfoca en el estudio de la radiodifusión de señales DRM en onda media (OM). En este capítulo se da a conocer de manera general las tecnologías de radio digital terrestre que existen y el estado actual en que se encuentran, haciendo hincapié principalmente en la tecnología DRM. Como siguiente punto se hace una breve descripción y explicación de la bandas de onda media. En el punto 2.4 se muestran las pruebas realizadas en DRM y las conclusiones que se obtuvieron a partir de estas, describiendo con más detalle las pruebas realizadas en onda media. Y en un último punto se dan a conocer las conclusiones de este primer capítulo.

2.1 Sistemas de Radio Digital Terrestre

La radio digital terrestre es un sistema de radiodifusión de audio, que se distingue por la emisión de señal digital. Esto significa que el sonido es procesado y transmitido como un flujo de datos binarios y lo más importante es que utilizan una modulación digital. La radio digital se clasifica de la siguiente manera de acuerdo al canal de transmisión: la radio digital terrestre, la radio digital vía satélite y la radio por internet.

La radio por satélite, como su nombre lo indica requiere de un satélite como transmisor para conseguir grandes coberturas, con lo que dispone anchos de bandas muy grandes y con ello ofrece gran cantidad de canales a los oyentes. La radio por internet, consiste en la exhibición de contenido auditivo dotado de las características propias del medio radiofónico a través del internet mediante streaming, para su funcionamiento se requiere de una fuente auditiva, un procesador de audio y un repetidor de stream auditivo (servidor).

A continuación se van a describir los principales sistemas de radio digital, en primera instancia tenemos a DAB-Eureka-147, seguido encontramos HD-Radio-IBOC, posteriormente ISDB-TSB y finalmente DRM por ser el estándar que nos atañe para los estudios de esta tesis.

2.1.1 DAB-Eureka-147

Eureka-147, conocido comercialmente con el nombre de DAB (Digital Audio Broadcasting), el cual fue desarrollado en Europa y aceptado por la UIT en 1994 que le denominó “Sistema Digital A”, bajo la recomendación ITUBS-1114 [3] y ITUBO.1130 [17]. En 1995 fue aprobado como estándar por el Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones (ETSI) ETSI-401 [4].

Es un sistema de radiodifusión digital multiservicio confiable desarrollado para aplicaciones de radiodifusión por satélite y terrestre, de tal manera que permitiera la recepción con equipo común económico y fue diseñado para la recepción en vehículos portátiles y fijos utilizando antena receptoras omnidireccionales de baja ganancia situadas a 1.5 m sobre el suelo [17]. Aunque DAB está diseñado para operar en cualquier frecuencia entre 30 MHz y 3 GHz, en la práctica se ha implementado en dos bandas, la banda III de VHF (174MHz - 240MHz) y la banda L de UHF (1452 MHz – 1492MHz) [18].

El sistema DAB utiliza un esquema multicarrier llamado COFDM, una nueva forma de modulación basada en la técnica OFDM. Esta modulación junto con su ancho de banda de 1.5 MHz representan para DAB una mayor robustez frente al efecto de multitrayecto con una amplia difusión de los retrasos entre las señales recibidas. Entre otras características del sistema DAB se encuentran las Redes de Frecuencia Única (SFN) en el que varios transmisores envían la misma señal sobre la misma frecuencia [20], lo que significa que se puede proveer una mayor cobertura con menor potencia de transmisión y un mejor uso del espectro radioeléctrico. Otra de las ventajas que ofrece DAB es la posibilidad de transmitir servicios añadidos de datos.

Actualmente existen diferentes tecnologías de codificación de audio, de tal manera que los codificadores dan calidades de audio similares al MPEG-1 Layer II, con tasas binarias muy bajas, como por ejemplo, el conocido MP3 o el AAC siendo utilizado este último en otros sistemas de radio digital [21].

2.1.2 HD Radio-IBOC

En Estados Unidos de América se desarrolló el sistema IBOC (In-Band / On-Channel), comercialmente llamado HD Radio [8], que fue diseñado para sustituir a las emisiones en onda media y en FM. Es el único sistema aprobado en E.E.U.U. por la FCC para funcionar en las bandas de AM y FM. Esta aceptado por la UIT que le denominó “Sistema Digital C” para la banda de FM [3], y “Sistema IBOC DSB” para onda media [9].

Es un sistema propietario, perteneciente a la empresa *iBiquity Digital Corporation*, formada por la fusión de dos grandes empresas *USA Digital Radio (USADR)* y *Lucent Digital Radio* [22]. Este sistema se diseño a principios de los años 90 con la Empresa USADR, pero la consolidación se llevo a cabo en Octubre de 2002 bajo las mismas normativas emitidas por la FCC. El sistema fue estandarizado por la NRSC (National Radio Systems Committee) en el 2005 [23].

El desarrollo de este sistema fue con el propósito de permitir una evolución fluida de la actual radiodifusión analógica para convertirla totalmente en digital, proporcionando un sonido digital y servicio de datos a receptores móviles, portátiles y fijos de los transmisores de radio terrestres en las bandas de frecuencia media (MF) y de muy alta frecuencia (VHF) [18].

Esto significa que las radiodifusoras pueden seguir transmitiendo en analógico AM y FM simultáneamente con las nuevas señales digitales, de mayor calidad y más robustas, permitiéndoles a ellos y a sus oyentes la migración de analógico a digital manteniendo sus actuales atribuciones de frecuencias. Éste sistema fue diseñado para operar de acuerdo con las máscaras del espectro de emisión de la FCC [24].

2.1.3 ISDB-TSB

Desarrollado en Japón, y siendo parte de un sistema que incluye televisión digital y radiodifusión por cable y satélite [11], el sistema ISDB-TSB fue aprobado como estándar japonés por la *Association of Radio Industries and Businesses* (ARIB) en 1999 y posteriormente incluido en la recomendación BS.1114 de la ITU en 2004 como “Sistema Digital F” [3]. ISDB-TSB es junto con Eureka-147 y IBOC uno de los tres sistemas de radio digital terrestre recomendados por la UIT para frecuencias superiores a 30 MHz. Se diseñó con el objetivo de proporcionar servicios digitales de audio, video y datos, tanto para receptores fijos como móviles.

En lo que respecta a la modulación ISDB-T usa la técnica OFDM, la cual permite resistir el efecto de multitrayecto y da la posibilidad de modular las portadoras con cuatro diferentes métodos: QPSK, DQPSK, 16QAM y 64QAM.

En cuanto al sistema de corrección de errores utiliza codificación convolucional y Reed Solomon, a lo que añade entrelazado temporal y frecuencial. Permittedole al sistema una alta robustez para funcionar con una alta calidad aun en condiciones severas de multitrayecto. La modulación OFDM utilizada en ISDB-T se denomina BST-OFDM (Band Segmented Transmission OFDM) esto se debe a que la señal ISDB-T se basa en segmentos de 6/14 MHz (aproximadamente 429 kHz) de ancho de banda [18], que se pueden agrupar en transmisiones de mayor ancho de banda. La señal de ISDB-TSB se compone de uno o tres segmentos base, mientras que la señal ISDB-T comprende 13 segmentos, tal y como se observa en la figura 2.1.

Si en la señal completa, o en la de tres segmentos se transmite un programa independiente en el segmento central, esta señal puede ser recibida por el receptor de segmento único.

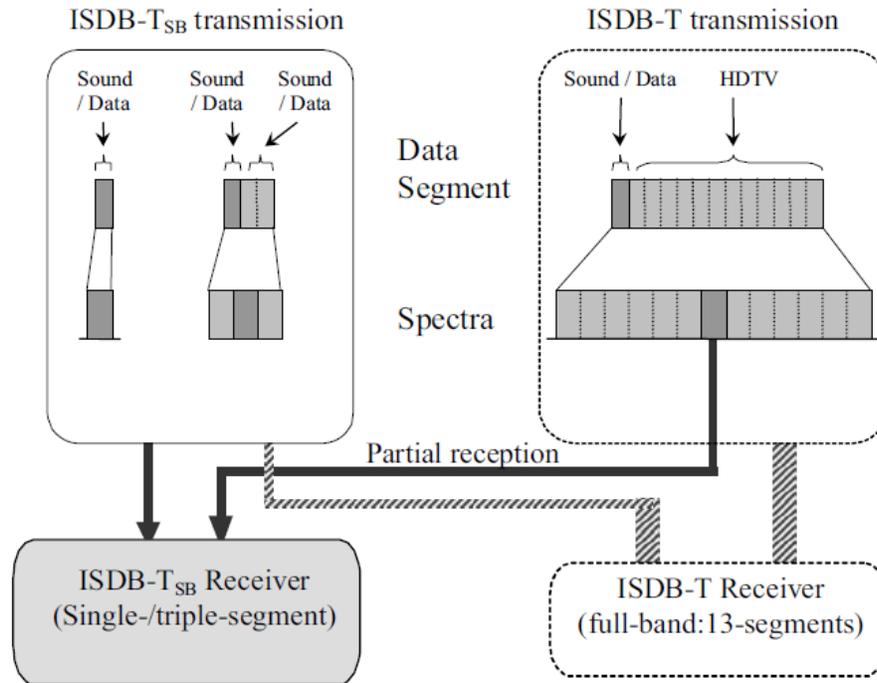


Figura 2.1: Concepto de transmisión y recepción ISDB-TSB e ISDB-T de banda completa

Algunas de las ventajas con la que cuenta este sistema, es la posibilidad crear redes de frecuencia única (SFN), la transmisión de datos y la transmisión de programas en varios idiomas.

2.2 DRM (Digital Radio Mondiale)

Formado en Guangzhou, China en 1998 [12], el Consorcio DRM está compuesto por los principales actores de la radiodifusión sonora, radiodifusores, fabricantes de equipos de transmisión, recepción y de semiconductores, operadores de red, organismos reguladores e institutos de investigación.

El sistema DRM fue estandarizado por el ETSI en 2001 [13], y por el IEC en 2003 [14]. La UIT lo aceptó en 2002 a través de la recomendación UIT-R BS-1514, con las características definidas por el estándar ITUBS-1661 del IEC [15]. Cabe destacar que DRM es el único estándar de radio digital aceptado para las bandas de radiodifusión de onda corta.

El sistema DRM (Digital Radio Mondiale) es diseñado para cubrir todas las bandas de radiodifusión por debajo de los 174 MHz, es decir, entre otras cubre las frecuencias de FM que oficialmente es la banda II de VHF (88-108 MHz) y de AM en onda media (525-1700kHz).

Las formas de propagación en estas bandas son muy distintas, por ejemplo, desde la onda de superficie que es el modo predominante en LF y MF, hasta la propagación por onda ionosférica, típica de HF, pasando por la propagación por línea de vista que se da en la banda de VHF. Esto hace que se requieran modelos de canal distintos para cada caso [13], distintos parámetros de modulación (llamados en DRM modos de transmisión), distintos parámetros de planificación [16], y por supuesto, pruebas de campo específicas para cada caso.

2.2.1 Características Básicas

El sistema DRM (Digital Radio Mondiale) ofrece muchas características y servicios que no son posibles de reproducir en la radiodifusión analógica. Debido a que la banda de onda media tiene propiedades únicas que permiten grandes áreas de cobertura, el Consorcio consideró que era posible explotar estas propiedades utilizando las últimas tecnologías digitales. Posteriormente se toma la decisión de extender el sistema hasta las bandas de FM/VHF, esto significa que DRM utiliza diferentes modos de operación que se dividen en dos grupos, tal y como se observa en la figura 2.2. El primer modo es “DRM30” que fue diseñado específicamente para ser utilizado en las bandas de radiodifusión de AM por debajo de los 30 MHz y el segundo modo “DRM+” que utiliza el espectro de los 30 MHz a la banda III de VHF, centrándose en la banda de radiodifusión de FM (banda II) [12].

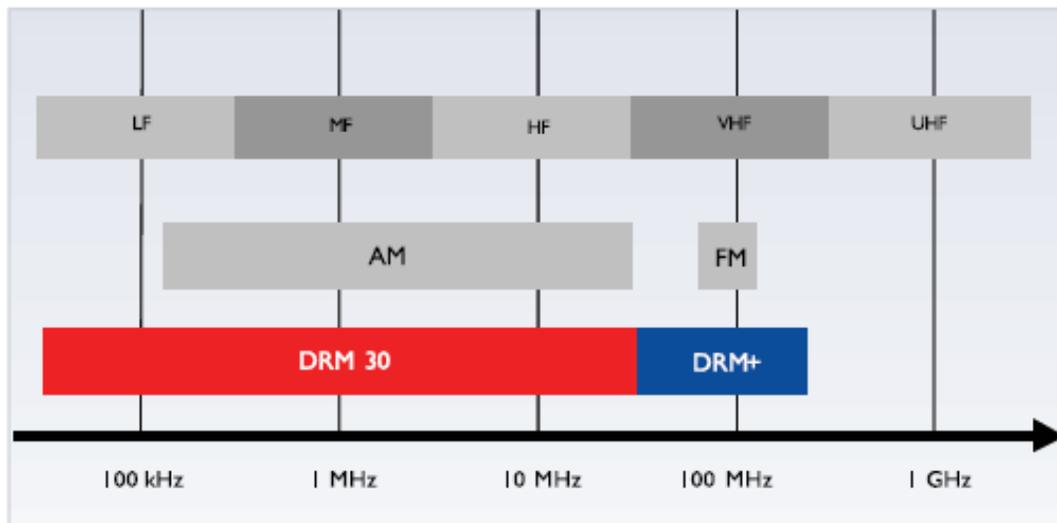


Figura 2.2. Bandas de operación del sistema DRM.

Los objetivos principales del Consorcio DRM al desarrollar esta tecnología fueron [12]:

- Mejorar la calidad de audio y la fiabilidad de recepción.
- Mejorar la eficiencia espectral.
- Permitir nuevos servicios añadidos.
- Asegurar una transición suave desde la radio analógica a la digital.

- Compatibilizar el espectro de las señales analógicas y digitales, así como la de ofrecer características y servicios que mejoren la experiencia de los oyentes que son imposibles de reproducir en la radiodifusión analógica.
- Maximizar la reutilización de las actuales infraestructuras para la radiodifusión digital.

El sistema DRM está diseñado específicamente para permitir que las nuevas señales digitales coexistan con las actuales transmisiones analógicas, para ello se han llevado a cabo una cantidad de trabajos para cuantificar los parámetros de operación que aseguren una mutua compatibilidad entre lo analógico y digital. Además de que los transmisores analógicos adecuados se pueden modificar para conmutar fácilmente entre las emisiones digitales y analógicas, lo que hace al sistema DRM significativamente más barato en su costo de inversión inicial para un organismo de radiodifusión. La introducción de los servicios de DRM30 permite a una emisora ofrecer a los oyentes una calidad de audio mejorada significativamente y una importante robustez de la señal. Como resultado de ello, los organismos de radiodifusión internacional pueden proveer servicios en onda corta (SW) y onda media (MW) con una calidad de sonido semejante a los servicios locales de FM.

En las bandas de VHF, DRM es configurado para ocupar menos espectro que las actuales transmisiones de FM estéreo, además de que se logran grandes beneficios potenciales de una mayor robustez, ahorro en la transmisión de energía y aumentos en las áreas de cobertura.

Otra característica básica del sistema DRM es que permite la selección independiente de los parámetros de modulación, estos son: los códigos de las tasas binarias, las constelaciones y los intervalos de guarda. Permitiendo adaptar lo mejor posible al sistema a los diferentes tipos de propagación existentes en las bandas por debajo de los 174 MHz.

La técnica de modulación utilizada por DRM es la COFDM que ofrece opciones de modulación de 4 QAM, 16 QAM ó 64 QAM. Se utiliza el entrelazado temporal y las técnicas de corrección de errores. Para la fácil ecualización de la señal, se agregan a la señal portadoras pilotos específicas para facilitar la estimación de canal. DRM permite seleccionar tres codificadores de audio los cuales representan diferentes calidades de audio. El MPEG-4 HE-AAC v2 que se incluye dentro de la norma es el principal codificador al presentar una alta calidad para bajas velocidades de tasas binarias, además de incorporar las técnicas de replicación espectral de banda (SBR) y la transmisión en estéreo paramétrico (PS). Los otros dos codificadores son el CELP (Codec Excited Linear Prediction) y el HVXC (Harmonic Vector eXcitation Coding), los cuales presentan velocidades de transmisión muy bajas y solo se pueden utilizar para programas de voz [13].

2.2.2 Características Técnicas

2.2.2.1 Funcionamiento del Sistema

En esta sección se explicaran los diferentes elementos que contribuyen al correcto funcionamiento del sistema DRM. En la figura 2.3 se presenta el flujo general de datos del sistema DRM desde la generación de la información hasta formar la señal a transmitir. En el sistema existen dos clases de información básica a transmitir, la información de los servicios, tanto de audio como de datos, y la información relacionada con el propio sistema.

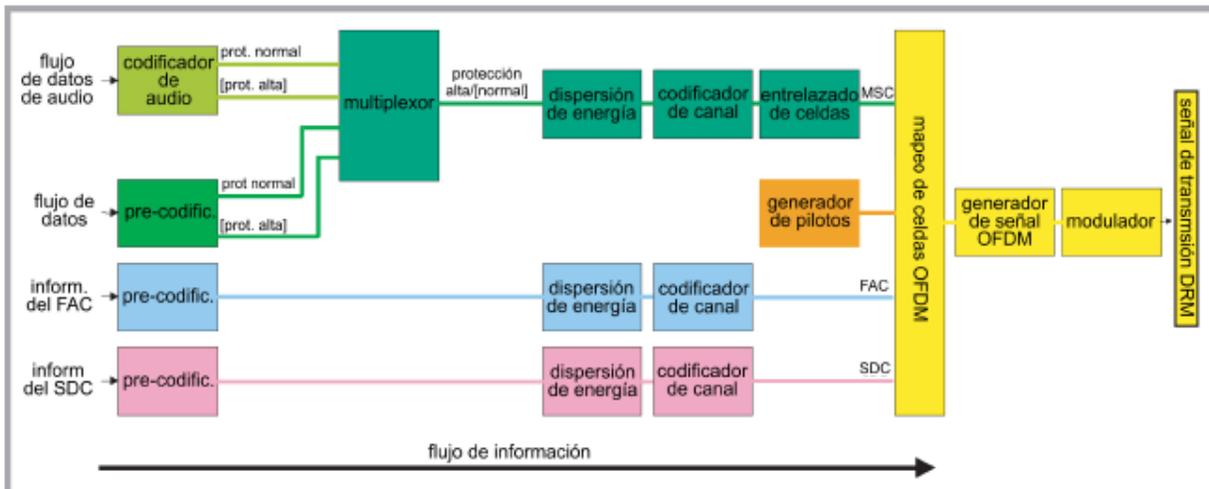


Figura 2.3. Diagrama de bloques de transmisión del sistema DRM.

El codificador de la fuente de audio y los pre-codificadores de datos garantizan la adaptación de los flujos de datos entrantes en un formato digital apropiado, su salida puede constar de dos partes que requieren dos niveles de protección, a manera de que los datos más importantes queden protegidos. El multiplexor combina los niveles de protección de los datos y servicios de audio en un formato apropiado. En el bloque de dispersión de energía se proporciona un ordenamiento de los bits para reducir la posibilidad de patrones de regularidad indeseada en la señal DRM transmitida. El siguiente bloque de codificación de canal se encarga de agregar bits de redundancia como medio de protección y corrección de errores, además de definir el mapeo de la información digital en las celdas QAM. El entrelazador de celdas realiza un reordenamiento en la secuencia temporal de los bits a partir de un patrón preestablecido, de forma que la señal se vea menos afectada por el desvanecimiento rápido. El generador de portadoras piloto añade información necesaria que le permite al receptor obtener información del canal de propagación. La función de bloque de mapeo de celdas OFDM es tomar las diferentes celdas provenientes del MSC, FAC, SDC y portadoras pilotos para colocarlas en una rejilla de tiempo-frecuencia [18].

El generador de señal OFDM es utilizado para componer la señal DRM con los parámetros de transmisión requeridos. Por último el modulador convierte la representación digital de la señal OFDM en la señal analógica que será transmitida.

2.2.2.2 Codificación de Audio

Las tasas binarias con la que dispone el sistema DRM son muy variables, esto se debe porque dependen del canal de propagación, del ancho de banda de la señal y del número de servicios que se proveen. Por esta razón el sistema DRM proporciona tres codificadores los cuales operan a diferentes velocidades de transmisión, estos son, AAC (advanced Audio Codec), CELP y HVXC, estos tres codificadores forman parte del estándar MPEG-4 ISO-14496. El codificador AAC es el más utilizado ya que presenta mayor velocidad binaria y por ende ofrece mayor calidad de audio ya que este codificador se combina con la técnica SBR. Esta técnica permite un mayor ancho de banda audible sin aumentar cuantiosamente las tasas binarias.

Como se ha venido mencionando, los otros dos codificadores que se pueden usar en DRM son el CELP y el HVXC, ambos son codificadores de voz, haciendo que AAC sea el único codificador que se utilice para música y sonidos en general. El CELP proporciona una calidad excelente de voz en tasas entre 4 y 8 kbps, en tanto, el HVXC provee una calidad razonable de voz a tasas muy bajas como 2 y 4 kbps. Estos codificadores se pueden utilizar para dividir la capacidad del flujo binario en varios canales de voz transmitidos simultáneamente en diferentes idiomas.

Otra de las técnicas que mejoran la calidad de audio a tasas binarias inferiores es la de estéreo paramétrico, esta técnica consiste en codificar el audio mono con información complementaria, la cual ocupa una pequeña fracción de la capacidad total y que a su vez describe el canal estéreo [29].

La Figura 2.4 proporciona información de los rangos de funcionamiento de los distintos codificadores en conjunto con la capacidad de las tasas binarias de algunos de los modos más comunes de DRM.

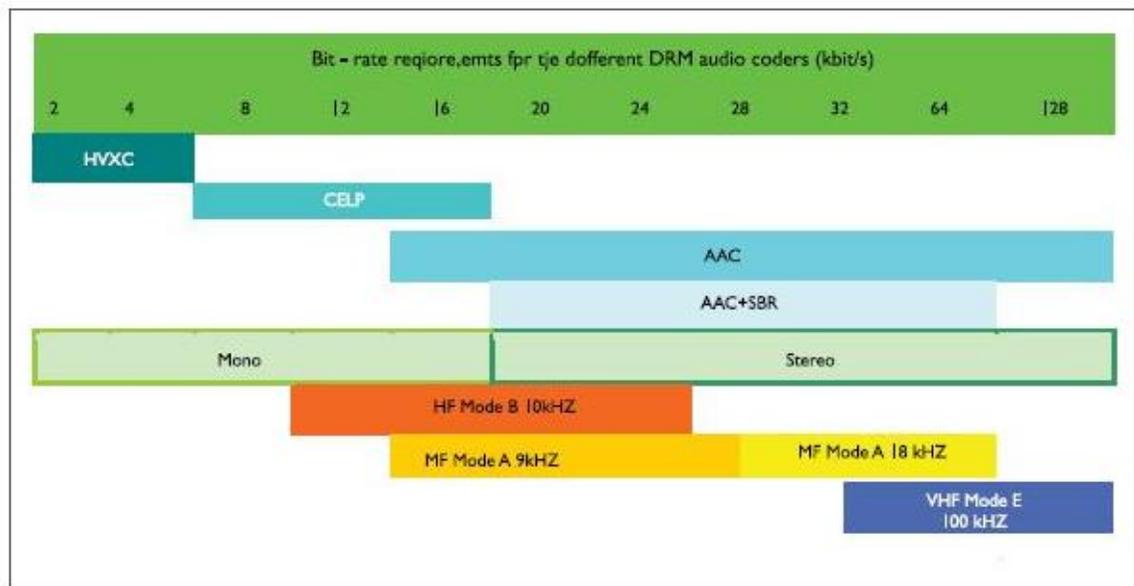


Figura 2.4. Opciones de codificación de audio para los modos de transmisión común de DRM.

2.2.2.3 Integración del Multiplex

El sistema DRM utiliza un multiplex para el envío de los diferentes componentes de la señal a transmitir y para enviar suficiente información al receptor para que se sincronice con la señal. Los datos a transmitir son agrupados en tres canales de datos, estos son: el canal MSC (Main Service Channel); el FAC (Fast Access Channel) y el SDC (Service Description Channel), donde está la información necesaria para que el receptor encuentre y decodifique el programa deseado. Una súper trama de transmisión de DRM está compuesta por estos tres canales.

A continuación se describen estos tres canales:

- El **FAC**. Contiene información para la decodificación de la señal, por lo que es el canal más protegido y el primero en ser decodificado. Para ello, el FAC se modula en 4QAM y no utiliza entrelazado temporal. Un bloque de FAC está presente en cada trama de transmisión, cada 400 ms, y los parámetros que lleva son el ancho de banda de la señal DRM, la modulación usada en los canales SDC y MSC, la longitud del entrelazado, y el número y nombre de los servicios contenidos en el MSC. Este canal siempre se transmite en los primeros 4.5 KHz del ancho de banda de la señal.
- **SDC**. Entre otras cosas, este canal lleva información sobre cómo decodificar los servicios del MSC y otras frecuencias, horarios y regiones donde están disponibles los mismos o servicios relacionados. La periodicidad de la trama SDC es de 1200 ms, correspondiente a una súper-trama, y emplea una modulación menos compleja que la del MSC; así, cuando el MSC usa 64QAM el SDC usa 16QAM y cuando el MSC usa 16QAM el SDC usa 4QAM.
- **MSC**. El canal con la mayor cantidad de datos, puede transportar hasta cuatro servicios, cada uno de los cuales puede ser de audio o datos. El flujo binario para cada servicio es también dividido en tramas de 400 ms de duración y se utilizan 64QAM o 16QAM para modularlas

2.2.2.4 Codificación de Canal y Modulación

El sistema DRM utiliza la técnica de modulación COFDM que es el producto de la combinación de la modulación OFDM con codificación multinivel (MLC) que se basa en una codificación convolucional proporcionando un nivel de protección contra errores [18]. Estos dos principales componentes son complementados con entrelazado temporal y las portadoras piloto para la estimación de canal.

DRM permite variar dos parámetros en la modulación OFDM, la longitud del intervalo de guarda, que es un tiempo cíclico que permite contrarrestar la interferencia entre símbolos debido a la propagación por multitrayecto o retraso. Y la separación de portadoras, de tal manera, que sus señales no interfieran entre sí (son ortogonales).

2.3 Sistema DRM en la Banda de Onda Media

Varias bandas de frecuencias están destinadas a la radiodifusión de radio AM, siendo que hay algunas diferencias de acuerdo a cada parte del mundo y especialmente con la región de la ITU. Los medios de transmisión de las ondas electromagnéticas en las emisiones de AM está constituida por el conjunto atmosfera-superficie terrestre. Las características de propagación de estas ondas electromagnéticas en los medios de transmisión dependen de la frecuencia. Para frecuencias menores a los 30 MHz, las ondas se propagan en dos modos: onda de superficie y onda ionosférica, Figura 2.5.

La onda superficial sigue el contorno de la tierra, va mas allá del horizonte visual pero se atenúa con la distancia debido a la absorción de su energía a través de la tierra. Esa atenuación es en función de la conductividad y permitividad eléctrica del suelo que es por donde viaja la onda. Por ello, se debe usar una polarización vertical para una onda de superficie, pues cualquier componente del campo eléctrico horizontal es rápidamente absorbida por la tierra (que actúa como un corto circuito).

Las ondas ionosféricas son ondas reflejadas por la ionosfera y que regresan a la tierra. Con este modo de propagación es posible cubrir distancias transnacionales y transcontinentales. A la región comprendida entre el límite de alcance de la onda de superficie y la zona de recepción de la onda ionosférica se le llama zona de silencio, porque no hay señal útil en esa región. El ángulo de reflexión y la pérdida de la señal en la reflexión ionosférica dependen de la frecuencia, la hora del día, la estación del año y el nivel de actividad solar.

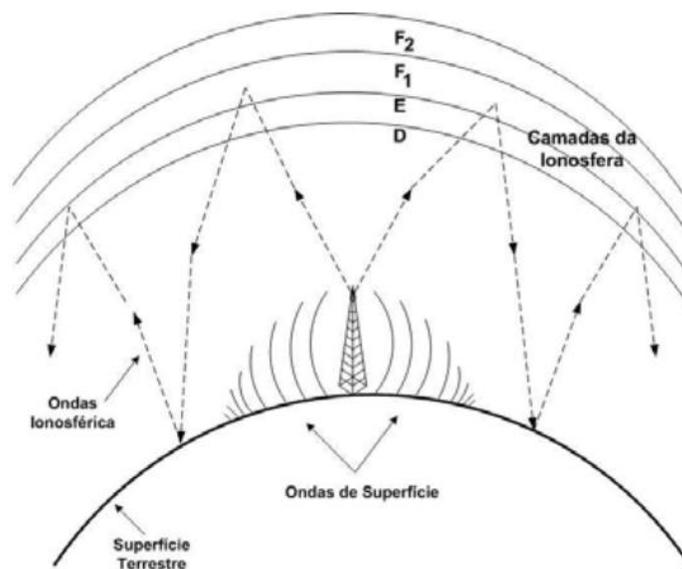


Figura 2.5. Modos de propagación de ondas de radio: onda de superficie y onda ionosférica.

En la banda de onda media, la radiodifusión en periodo diurno depende totalmente de la propagación por onda de superficie. Durante el día, la onda ionosférica en esta banda de frecuencia es absorbida por la capa D de la ionosfera. Por la noche esta capa D desaparece lo que permite que la onda ionosférica pueda llegar a regiones distantes de la emisora, que son coberturas que no se alcanzan con la onda superficial.

Esto significa que durante el día la recepción fija en onda media es razonablemente estable, aunque en recepción móvil sufre degradaciones significativas cuando se pasa por túneles, viaductos, subestaciones y líneas de transmisión de energía eléctrica. Por la noche, el nivel de interferencia puede llegar a ser más alto debido a las ondas ionosféricas de emisoras distantes que utilizan el mismo canal o canal adyacente a la estación a la que se desea recibir.

2.4 Pruebas del Sistema DRM

En el desarrollo de la tecnología DRM se fueron ejecutando pruebas de campo y de laboratorio para ver el funcionamiento del sistema, a continuación se mencionan las pruebas en onda media debido a que es la banda que compete para el estudio de esta tesis.

En el año 2000 se iniciaron las primeras pruebas en onda media para el sistema DRM y dentro de las más recientes se encuentran las pruebas realizadas en México en 2005, en Italia en 2007 y en Brasil llevadas a cabo en 2010.

Todas las pruebas que se han mencionado contribuyeron a que el gobierno de Brasil optara por que se realizaran campañas de medidas en esta banda y con ello poder determinar que estándar adoptar para la migración a la radio digital.

3 REDES DE TRANSMISIÓN Y SISTEMA DE MEDIDAS

Para determinar el desempeño de la señal DRM en onda media en Brasil, se realizaron campañas de medidas en las cuales se realizaron dos transmisiones, una en la frecuencia de 1200 kHz y otra en 780 kHz ambas en la ciudad de Sao Paulo. La primera fue realizada entre Enero y Febrero de 2010 y la segunda en Marzo del mismo año.

En este capítulo se describen las características técnicas de las redes de transmisión, el equipamiento de recepción utilizado en las pruebas, así como los parámetros a medir y el procedimiento que se llevó a cabo para estas medidas.

3.1 Descripción de las Redes de Transmisión

Las redes de transmisión son todos aquellos elementos involucrados para la emisión de la señal DRM y AM. Las características básicas de las redes de transmisión son muy similares en las dos estaciones, debido a que los transmisores que se utilizaron fueron prácticamente los mismos pero con distintas potencias, utilizan el mismo excitador, la misma potencia de transmisión en emisiones diurnas pero difieren en la potencia de transmisión nocturna. De igual forma, las bandas de operación son distintas, es por eso que se describen las características de cada red de forma separada.

3.1.1 Estación Transmisora Padre Anchieta

3.1.1.1 Ubicación

La primera prueba de transmisión en onda media se realizó desde la estación transmisora que tiene la emisora Fundação Padre Anchieta en Guarapiranga, esta se encuentra ubicada a 17 km al suroeste del centro de la ciudad de Sao Paulo, junto al lago de Guarapiranga. La figura 3.1 muestra la ubicación del transmisor en el mapa de Sao Paulo.

Emisora: Fundación Padre Anchieta

Coordenadas: 23°40'35"S y 46°42'52"W

Frecuencia	1210 kHz
Potencia digital ajustada de día	3.15 kW
Potencia digital ajustada de noche	1.26 kW
Relación de potencia AM/DRM	12 dB
Tasa de bits	Entre 14.5 kbps y 26.5 kbps, dependiendo del modo DRM utilizado
Se utilizo la técnica “Spectral Shaping”	

Tabla 3.2. Características principales de la señal DRM emitida en Sao Paulo.

Cabe mencionar que durante las pruebas se usó audio analógico, el procesador que se utilizó es el modelo 9100B del fabricante ORBAN.

3.1.1.3 Transmisor

El transmisor que se usó está compuesto por dos transmisores modelo 3DX-50 del fabricante Harris Corporation cuyas salidas se unen a un acoplador. La potencia de cada 3DX-50 es de 50 kW dando como resultado una potencia total de 100 kW. Sin embargo, durante las pruebas sólo se usó uno de estos transmisores. La figura 3.2 muestra un esquemático del transmisor.

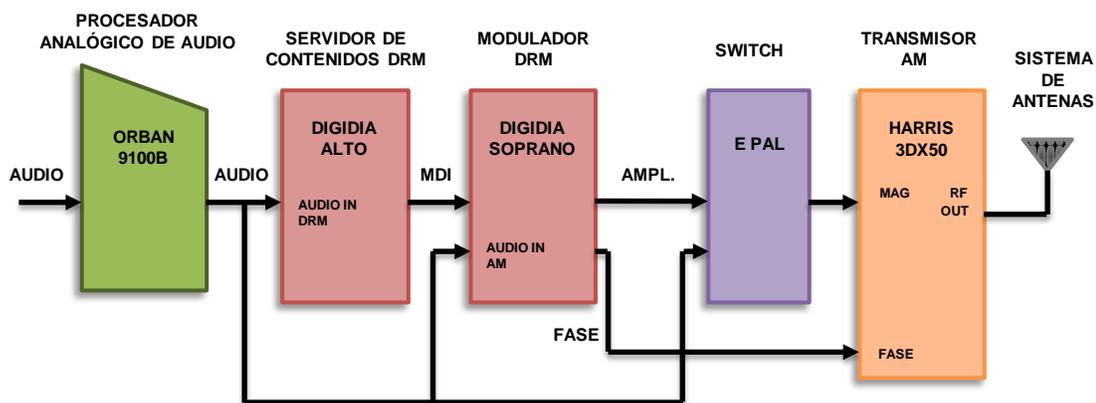


Figura 3.2. Esquema del transmisor.

Un servidor de contenidos y un modulador DRM (figura 3.3) fueron instalados para hacer posible la generación de la señal DRM simultánea. El servidor de contenidos es el equipo en que se codifican los audios a transmitir y mediante el cual se programan los parámetros de transmisión. Mientras que el modulador es el equipo que genera la señal necesaria que conectada al transmisor hace que éste, a su vez genere la señal deseada. Por otro lado, al estar el modulador DRM conectado a uno de los dos transmisores 3DX-50 éste hace que la potencia máxima de transmisión sea de 50 kW, potencia utilizada durante las pruebas.

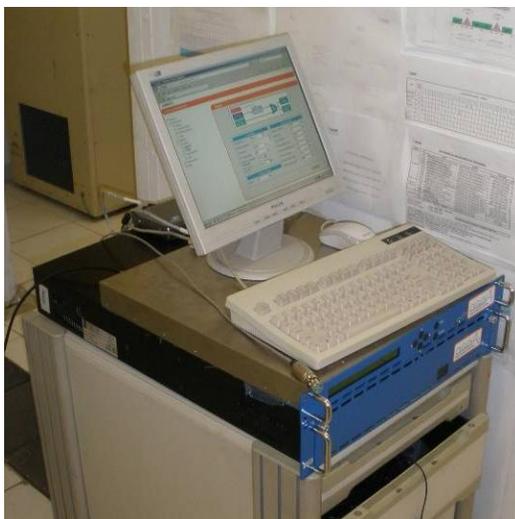


Figura 3.3. Servidor de contenidos y modulador Digidia.

3.1.1.4 Sistema Radiante

El sistema de radiante consta de dos torres activas de 70 m de altura conectados por fasores, este conjunto constituye un sistema de antena direccional. Es importante señalar que durante las pruebas solo se utilizó una torre activa con diagrama omnidireccional con una potencia de 50 kW. La figura 3.4 muestra el sistema de antenas, las cuales se encuentran dentro de un plano superficial húmedo, esto hace que haya alta conductividad en el terreno y con ello aumenta la eficiencia de la antena.



Figura 3.4. Sistema de antenas y casa de sintonía.

3.1.2 Estación Transmisora CBN

3.1.2.1 Ubicación

La segunda campaña de medidas se realizó en las instalaciones de la estación transmisora que Radio Excélsior tiene en Vila Guaicará, Sao Paulo. Esta estación se encuentra ubicada a 12 km al sureste del centro de la ciudad de Sao Paulo. La figura 3.5 muestra la ubicación del transmisor en el mapa de Sao Paulo.

Emisora: Radio Excélsior CBN

Coordenadas: 23°36'20,96"S y 46°32'20,22"W

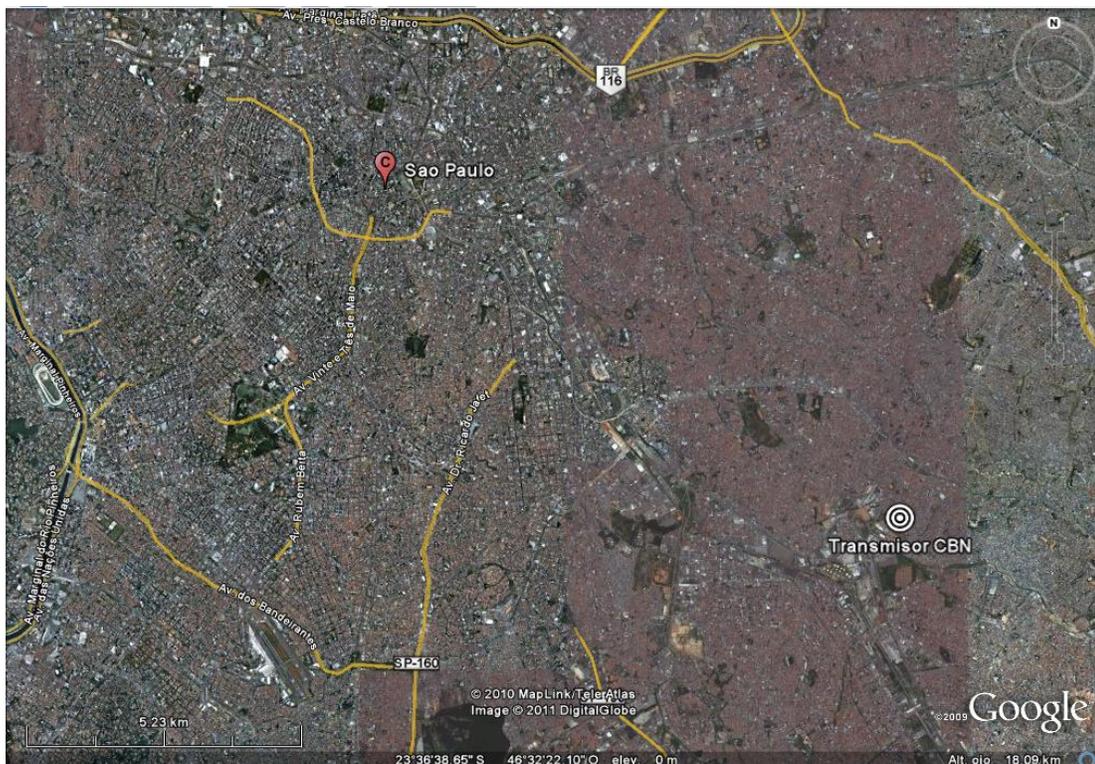


Figura 3.5. Ubicación del transmisor CBN en la ciudad de Sao Paulo.

3.1.2.2 Características Técnicas de la Transmisión

Las características técnicas de esta estación transmisora difieren en ciertos parámetros con la estación de TV Cultura, como por ejemplo la frecuencia de operación, la potencia de transmisión nocturna, entre otras cosas. Es por eso que se decidió realizar la descripción por separado. Radio CBN trabaja a una frecuencia de 780 kHz, comparte su sistema radiante con la emisora Radio Globo, ambas pertenecientes al Sistema Globo Radio, la frecuencia de operación de Radio Globo es de 1100 kHz. La tabla 3.3 muestra

las características principales de la estación para la emisión de las pruebas, en tanto, la tabla 3.4 presenta las características más importantes para la emisión de la señal DRM.

Frecuencia	780 kHz
Zona de ruido	1
Clase	B
Campo característico	321 mV/m
Potencia de día	50 kW
Potencia nocturna	10 kW
Transmisor	Harris Corporation 3DX-50
Excitador	Servidor de contenidos Digidia, modelo alto Modulador Digidia, modelo soprano
Sistema radiante	Monopolo
Altura de la antena	122 m

Tabla 3.3 Características técnicas de operación de la estación Radio CBN.

Frecuencia	790 kHz
Potencia digital ajustada de día	3.15 kW
Potencia digital ajustada de noche	1.26 kW
Relación de potencia AM/DRM	12 dB
Tasa de bits	Entre 14.5 kbps y 26.5 kbps, dependiendo del modo DRM utilizado
Se utilizo la técnica “Spectral Shaping”	

Tabla 3.4 Características principales de la señal DRM emitida por CBN en Sao Paulo.

3.1.2.3 Transmisor

El sitio transmisor de Radio CBN también está equipado con un transmisor Harris 3DX-50, con 50 kW de potencia. La diferencia con la estación transmisora Padre Anchieta es que CBN solo utiliza un transmisor Harris y como reserva tiene un transmisor NAUTEL, ambos conectados a través de un switch, que a su vez éste, está conectado a un diplexer, debido a que el sistema radiante transmite dos frecuencias diferentes. Como se mencionó anteriormente el sistema radiante es compartido con Radio Globo, el cual opera a una frecuencia de 1100 kHz. El funcionamiento del servidor de contenidos y el modulador DRM fueron descritos en el apartado anterior. La figura 3.6 representa un esquema del transmisor.

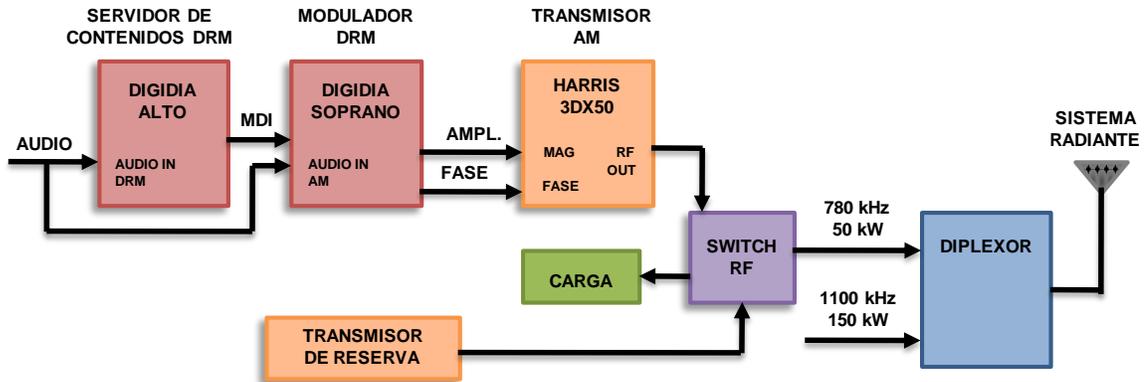


Figura 3.6. Esquema del transmisor en CBN.

3.1.2.4 Sistema Radiante

Este sistema cuenta con un diplexor para su uso con una torre con dos frecuencias, una de 780 kHz con una potencia de 50 kW y la otra de 1100 kHz con una potencia de 150 kW. Utilizando la primera frecuencia para las pruebas de DRM. La antena es un Monopolo con 60 cm de ancho, de forma triangular y a 122 m de altura. La Figura 3.7 muestra la altura de la antena y la Figura 3.8 la base de la torre y la casa de sintonía.



Figura 3.7. Antena.



Figura 3.8. Base de la torre y casa de sintonía.

3.1.3 Modos de Transmisión DRM Utilizados

El sistema DRM es una tecnología flexible debido a que permite una variedad de configuraciones en la señal digital [12]-[13]. Estas distintas configuraciones permiten al radiodifusor adaptar la señal a diferentes condiciones de propagación, que pueden variar en función del tiempo (por ejemplo, día-noche en OM, u hora de transmisión en el caso de OC), en función de la banda de frecuencia y en función del entorno de propagación (p.e. rural o urbano). Estos parámetros variables permiten mejorar la robustez de la señal frente a ruido, interferencias o multitrayecto. Como contrapartida, al aumentar la robustez de un parámetro se reduce la tasa de bits disponible.

Los modos de transmisión DRM utilizados durante las pruebas fueron: el modo de robustez A para la transmisión diurna y el modo B para la transmisión nocturna, en base a la especificación del sistema [13]. A su vez, se definieron dos modos de transmisión para el día y otros dos para la noche, tal y como se detalla en la tabla 3.5. Se escogieron un modo relativamente robusto (16 QAM en la modulación MSC) y otro con una mayor tasa binaria (modulación 64 QAM en el canal MSC), esto se hizo con la finalidad de evaluar la robustez de la señal y la calidad de audio. Los modos de transmisión que se usaron, fueron los mismos tanto para la estación Fundación Padre Anchieta como para CBN.

Nombre	Modo de robustez OFDM	Ancho de Banda	Modulación MSC	Modulación SDC	Tasa de codificación media	Entrelaz.	Tasa de bits (kbps)	Audio
DIA16	A	10 kHz	16-QAM	4-QAM	0,62	Largo	18,4	Estéreo P.
DIA64	A	10 kHz	64-QAM	16-QAM	0,6	Largo	26,5	Estéreo
NOCHE16	B	10 kHz	16-QAM	4-QAM	0,62	Largo	14,5	Mono
NOCHE64	B	10 kHz	64-QAM	16-QAM	0,6	Largo	20,4	Estéreo P.

Tabla 3.5 Configuraciones de la señal DRM usadas en las pruebas.

De esta manera se ha hecho posible una evaluación de dos modos de transmisión durante el periodo diurno y otros dos durante el periodo nocturno, lo que permite conocer con mayor claridad las posibilidades de adaptación de la señal DRM a las inestables condiciones de propagación y a distintos entornos de recepción.

3.1.4 Estimación de Cobertura AM

3.1.4.1 Estimación de Cobertura Analógica Padre Anchieta

La estimación de cobertura analógica se realizó gracias a un software de Anatel que realiza los cálculos en base a la normativa Brasileña [30]. Este software incluye un mapa de conductividades de Brasil.

Los valores usados para el cálculo de cobertura son los siguientes:

- Valores de predicción diurna:
 - Frecuencia de operación: 1200 kHz.
 - Potencia de transmisión: 50 kw.
 - Campo característico: 315 mV/m.
 - Contorno deseado: 2 mV/m.
 - Sistema irradiante: Omnidireccional.

- Valores de predicción nocturna:
 - Frecuencia de operación: 1200 kHz.
 - Potencia de transmisión: 20 kw.
 - Campo característico: 315 mV/m.
 - Contorno deseado: 2.62 mV/m.
 - Sistema irradiante: Omnidireccional.

Los resultados dan un contorno teórico protegido de forma circular, tanto diurno como nocturno. El alcance de la cobertura diurna es de 32 km, mientras que el de la nocturna es de 22 km. En la figura 3.9 se muestran los contornos protegidos diurno y nocturno en una imagen de satélite.

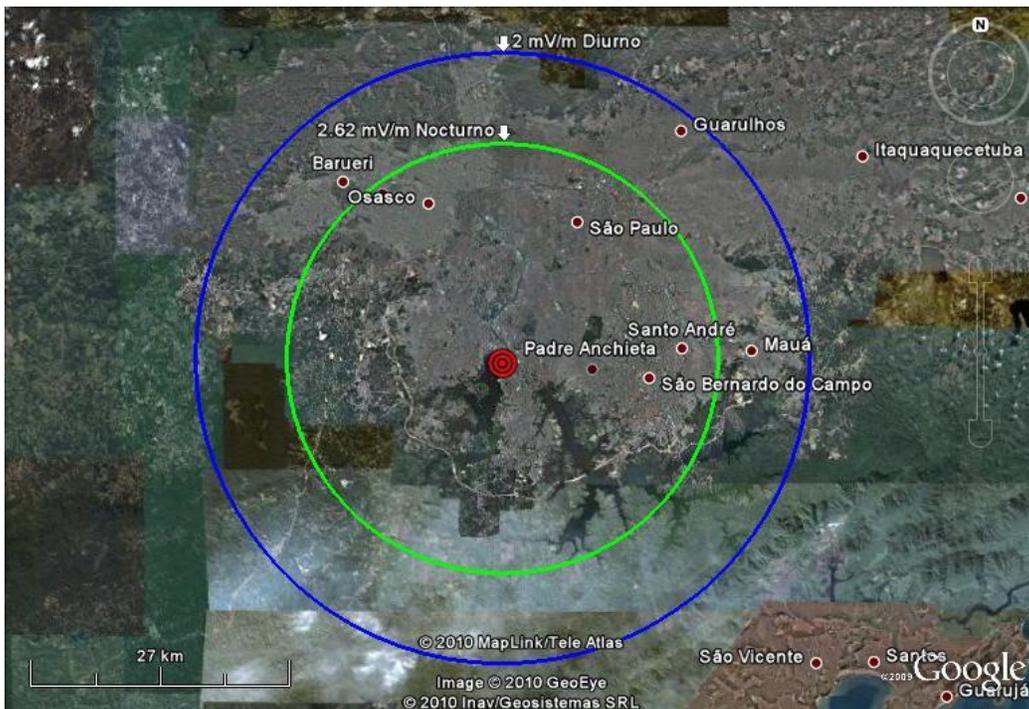


Figura 3.9.1 Contornos protegidos diurno (en azul) y nocturno (en verde).

3.1.4.2 Estimación de Cobertura Analógica CBN

La estimación de cobertura analógica de la estación CBN se realizó bajo los mismos términos que la estación Padre Anchieta.

Los valores usados para el cálculo de cobertura son los siguientes:

- Valores de predicción diurna:
 - Frecuencia de operación: 780 kHz.
 - Potencia de transmisión: 50 kw
 - Campo característico: 321 mV/m.
 - Contorno deseado: 2 mV/m.
 - Sistema irradiante: Omnidireccional.

- Valores de predicción nocturna:
 - Frecuencia de operación: 780 kHz.
 - Potencia de transmisión: 10 kw.
 - Campo característico: 321 mV/m.
 - Contorno deseado: 2.62 mV/m.
 - Sistema irradiante: Omnidireccional.

Los resultados dan un contorno teórico protegido de forma circular, tanto diurno como nocturno, aunque en ciertas zonas la alta conductividad de terreno hace que la circunferencia tienda a perder forma. El alcance de la cobertura diurna es de 45 km, mientras que el de la nocturna es de 27 km. En la figura 3.10 se muestran los contornos protegidos diurno y nocturno en una imagen de satélite.

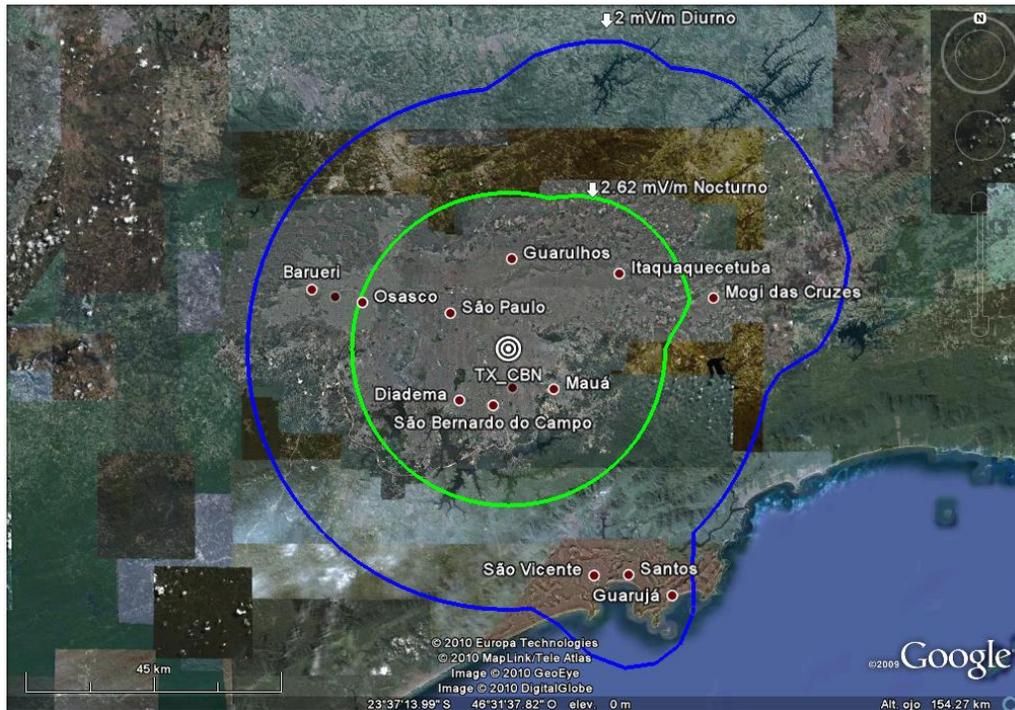


Figura 3.10. Contornos protegidos diurno (en azul) y nocturno (en verde).

3.2 Equipamiento de Recepción

En esta sección se explican las principales características de los equipos utilizados en ambas campañas para las medidas de la señal en recepción.

3.2.1 Características de los Equipos

Para la realización de los registros de medidas de la señal en recepción se utilizó una unidad móvil en la cual se instalaron los equipos de medida. Todos los equipos son profesionales excepto aquellos que requerían ser comerciales por la propia definición de las pruebas. Esta unidad móvil fue facilitada por InMetro figura 3.11 (Instituto Nacional de Metrología, Normalización y Calidad Industrial). La unidad es una VAN (furgoneta) diseñada especialmente para este tipo de medidas radioeléctricas y se equipó con los equipos de medida que se describen en este enseguida figura 3.12.



Figura. 3.11. Unidad móvil de InMetro.



Figura 3.12. Equipos de medidas en la unidad móvil.

Hay dos equipos muy importantes para llevar a cabo las medidas en recepción, uno es el receptor profesional DRM y el otro es el analizador de espectros. El receptor DRM está compuesto por el Fraunhofer Software Radio ejecutándose en una laptop y el front-end AOR7030. El analizador de espectros es un Anritsu MS2724B.

La figura 3.13 muestra un esquema en el que se detalla la configuración de conexión de los equipos. Se puede observar que consta de tres etapas, en la primera etapa se encuentra la antena de recepción que puede ser conectada a través de un switch al analizador de espectros o al receptor DRM, que juntos estos dos equipos componen la segunda etapa que es la de equipamiento de medida, y la tercera etapa que es el sistema de control, está compuesta por tres laptop, una se encarga de por medio de un software a grabar los datos provenientes del analizador de espectros junto con información de posición y hora proporcionada por un GPS, otra laptop controla el receptor DRM y registra los datos, a estos datos se le añade la información de posición generada por un GPS y finalmente la tercera laptop se usa para registrar datos de eventos (Pasos por túneles, bajo cables de alta tensión, plantas de energía, etc.), es decir toda aquella

información adicional que pueda ayudar a comprender los resultados, y que no pueda ser tomada de forma automática.

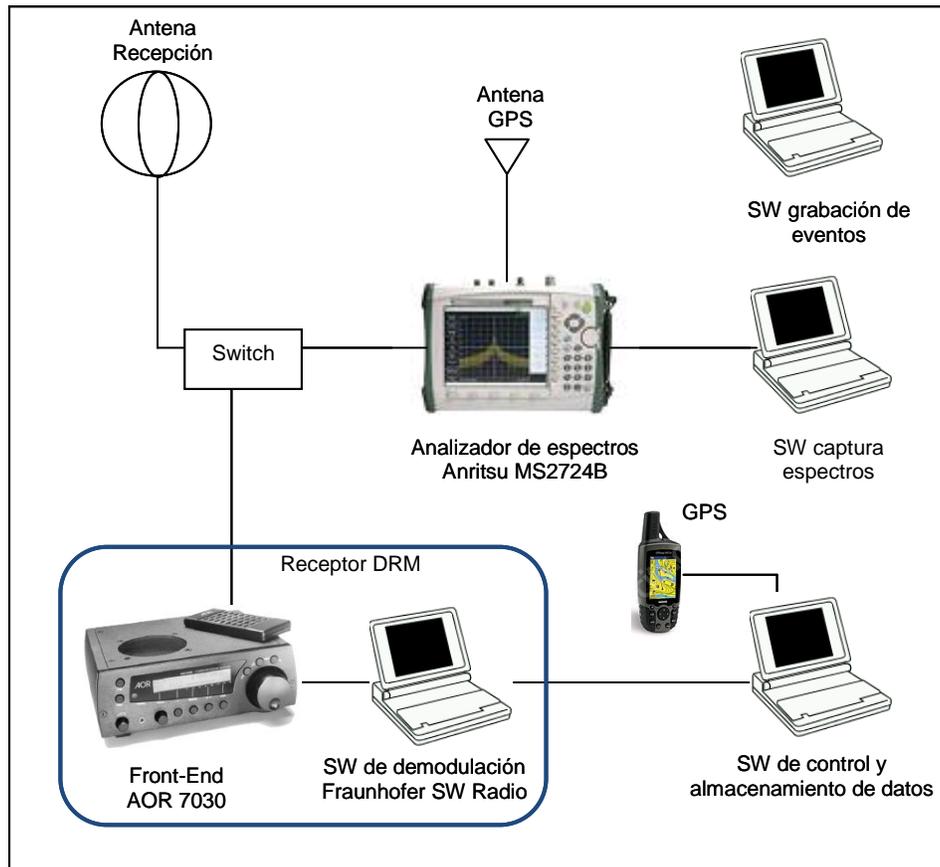


Figura 3.13. Esquema de conexiones del equipamiento de recepción.

3.2.2 Antena de Medidas

La antena de medida utilizada es una antena activa de doble aro con un diagrama de radiación omnidireccional, el modelo de la antena es una L101 y es montada sobre un mástil de la unidad móvil, obsérvese la Figura 3.14. Durante la toma de mediciones nunca se subió el mástil, por lo que la antena siempre estuvo a la misma altura. Esta antena está diseñada para operar en la banda de onda media y tiene un factor k de 17.6 dB (m-1) para una frecuencia de 1 MHz. Esto significa que, para calcular el campo eléctrico basta con sumar -17.6 dB a la potencia de medida en $\text{dB}\mu\text{V}$, tanto en el analizador de espectros como en el receptor DRM.

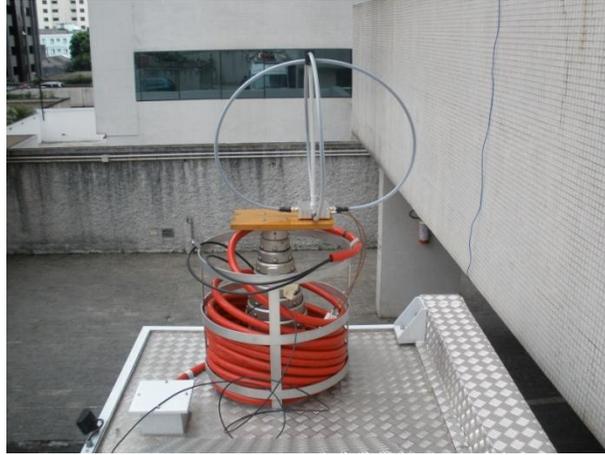


Figura 3.14. Antena de recepción montada sobre el mástil

3.3 Parámetros de Medidas

Enseguida se describen los parámetros usados para caracterizar la recepción de la señal DRM y también las medidas que deben realizarse para obtener dichos parámetros. El equipamiento y el sistema de medidas fueron planeados para obtener una mayor gama de parámetros posibles. Estos parámetros se dividen en tres tipos:

- Los parámetros que dan información de RF y el canal de propagación.
- Los parámetros de banda base.
- Los parámetros auxiliares que ayudan a entender las causas y efectos de diferentes problemas de recepción.

La tabla 3.6 muestra los parámetros de medidas registrados durante las pruebas.

Parámetro	Tipo	Equipo	Intervalo de medida
Intensidad de campo	RF y canal de prop.	Receptor DRM	400 ms
SNR (MER)	RF y canal de prop.		400 ms
Tramas de audio correctas (AQ)	Banda base		400 ms
Dispersión temporal	RF y canal de prop.		400 ms
Dispersión frecuencial	RF y canal de prop.		400 ms
Muestras IQ	Auxiliar		1/12000 s
Datos RSCI	Auxiliar		400 ms
Espectro radioeléctrico	RF y canal de prop.	Analizador de espectros	Medidas estáticas
Posición	Auxiliar	GPS	1 s
Tiempo	Auxiliar		1 s
Velocidad	Auxiliar		1 s

Grabaciones de audio AM	Banda base	Receptores AM	Medidas estáticas
Grabaciones de audio DRM	Banda base	Receptor DRM	Medidas estáticas
Eventos	Auxiliar	Equipo humano	Cada evento
Fotos	Auxiliar	Equipo humano	Medidas estáticas

Tabla 3.6 Parámetros de medida.

Los datos que se estudian deben ser capaces de caracterizar correctamente la calidad de la señal recibida, además de que faciliten la identificación de las causas de los problemas que se presenten durante la recepción.

Los tres parámetros más importantes son la intensidad de campo, la SNR (que en realidad es el MER de la señal DRM), y la tasa de tramas de audio que se reciben correctamente (llamada también Audio Quality o audio AQ). Este último parámetro es el que determina si la transmisión de la señal se recibió correctamente o no. Para que se defina como una correcta recepción es necesario tener un 98% de las tramas correctamente definidas, para lo cual se usa la ecuación (1).

$$\text{AudioQ}(\%) = \frac{\text{Número de tramas de audio correctamente decodificadas}}{\text{Número de tramas de audio transmitidas}} \quad \text{Ecuación (1)}$$

La dispersión temporal y la dispersión espacial, son dos parámetros proporcionados por el receptor DRM que nos permiten conocer cómo es el canal de propagación.

Lo que respecta a las muestras IQ y los datos RCSI son de vital importancia, porque son parámetros que nos permiten reproducir los audios de la señal recibida en el laboratorio para un profundo análisis y se reproducen como si se estuviera transmitiendo en tiempo real.

Los espectros grabados permiten realizar estudios sobre las señales interferentes (pasos a desnivel u otras causas de comportamientos extraños de los parámetros de medidas) y ruido, además de cálculos de potencia e intensidad de campo de las señales.

El GPS proporciona información de tiempo, posición y velocidad, que permiten situar las medidas en un mapa para evaluar la recepción de la señal en función del entorno próximo al receptor, así como de la distancia al transmisor y a otras fuentes radioeléctricas (como lo son otras radiodifusoras).

Las grabaciones de audio sirven para evaluar la calidad subjetiva de recepción. También hay otras herramientas adicionales como los eventos registrados y las fotografías, que permiten identificar las posibles causas de problemas en la recepción y el efecto que estas tienen sobre la señal y la calidad de recepción.

3.4 Procedimiento de Medidas

Como se explicó en el apartado anterior las medidas se realizan en una unidad móvil, tanto las medidas estáticas como las medidas en movimiento. Ahora se describirán los tipos de rutas, que son radiales y circulares. Cabe mencionar que el procedimiento de medidas es igual tanto para la estación Padre Anchieta como para la estación CBN, es por eso que se describe el procedimiento de manera generalizada.

Como se mencionó en el párrafo anterior existen dos tipos de rutas de medidas, las radiales y las circulares, siguiendo las recomendaciones de Anatel [30]. Las rutas radiales se trazaron con el objetivo de analizar el alcance del área de cobertura y las rutas circulares para evaluar los efectos en los distintos entornos de recepción y otros factores sobre la señal DRM.

Cada día se realiza una medida en un lugar predicho, esto, con la finalidad de comparar los resultados con los días anteriores y con ello determinar si la transmisión se está realizando de forma correcta y que el equipamiento de recepción este funcionando correctamente. A este lugar se le denomina punto de referencia.

4 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LOS DATOS

En este capítulo se explica la metodología utilizada para el análisis de los datos. Los datos constan de medidas estáticas y móviles que se obtuvieron durante la campaña de medidas en Sao Paulo, Brasil. Una vez realizada esta tarea se continúa con la metodología de evaluación de robustez de la señal y del área de cobertura.

Finalmente se describe la metodología de la evaluación de la compatibilidad entre la señal digital y las señales analógicas. Parte de la metodología está basada en los lineamientos que marca la Agencia Nacional de Telecomunicaciones (ANATEL) [30].

4.1 Verificación de la Coherencia de Datos

En este apartado se explica la metodología utilizada para detectar posibles problemas en las medidas que no correspondan al comportamiento de las señales. Esta tarea se basa en la realización de una verificación de datos y en la aplicación de criterios que se toman en cuenta para determinar descarte de los mismos, si es que es necesario.

4.1.1 Fuentes de Verificación de los Datos

La metodología que se siguió fue la siguiente:

1. **Verificación de las Ocurrencias.** Las ocurrencias son archivos donde el personal que realizó las medidas registró anotaciones *in situ*. Son, por tanto, registros de sucesos en el instante de la medición que son importantes para el análisis de los datos. Sin en tales anotaciones existe alguna indicación de una interferencia, se atiende como tal.
2. **Graficas de nivel de campo, SNR y AQ.** En todas las medidas fijas se dibuja una gráfica con estos tres parámetros, el cual nos permite visualizar si existe un incremento anómalo en el nivel de campo eléctrico y con ello, tras corroborarlo con los datos, determinar si se trata de una interferencia. En la figura 4.1 se muestra un ejemplo de un incremento anormal en la señal medida.

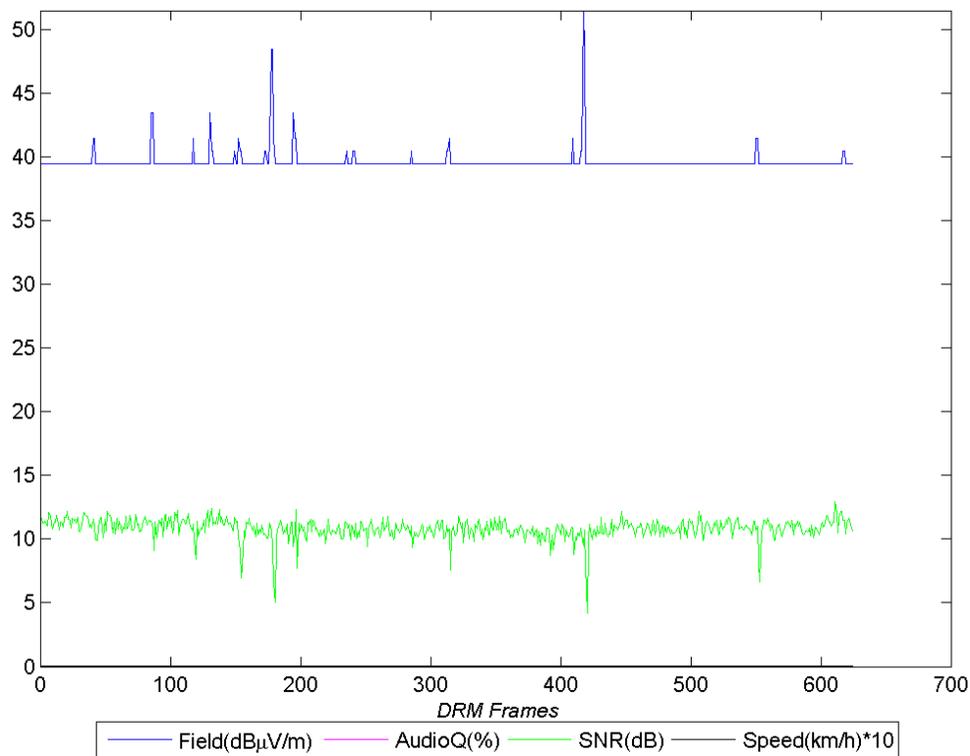


Figura 4.1 Nivel de campo medido en el punto R2P5 de la estación CBN. Se observan incrementos anómalos provocados posiblemente por una interferencia.

3. **Comprobación de los Espectros.** Se tomaron imágenes del analizador de espectros con la finalidad de comprobar que la señal DRM no presenta cambios y si los hay, corroborar si se trata de alguna interferencia.
4. **Reproducción de Archivos IQ12.** El receptor DReaM permite la reproducción de estos archivos en tiempo real y nos proporciona información de la señal muestreada, del espectro ecualizado y del espectro de SNR. Estos dos últimos espectros permiten comprobar posibles interferencias que no se hayan podido clarificar en los pasos anteriores.

4.1.2 Criterios para el Descarte de Datos

Con el objetivo de obtener resultados confiables a partir de las mediciones, se aplican algunos criterios de verificación de datos para descartar aquellos que pudieran originar conclusiones erróneas, por ejemplo, las medidas afectadas por interferencias, por un posible desajuste en los equipos de medición, o porque la señal tenía errores en transmisión.

La metodología que se siguió es la siguiente:

- 1. Comparativa de la intensidad de campo eléctrico entre los dos modos de transmisión utilizados (16 QAM y 64 QAM).** Dentro de la base de datos que se obtiene a través del SW de procesado, se tiene lo que es el campo eléctrico mediano, el cual nos permite detectar problemas producidos por un nivel de señal bajo. Cuando existe una gran diferencia nos da a entender que se requiere un nivel mediano de campo mayor para recibir correctamente el mismo porcentaje de tiempo. Por otra parte, si la variación de la señal es muy rápida puede provocar problemas de recepción debido a que el tiempo de respuesta del ecualizador no sea el adecuado.
- 2. Interferencias.** Cuando es detectada una interferencia con poca duración en determinada ruta, sólo se descarta la parte de la medida afectada por dicha interferencia, en tanto que, si se trata de una interferencia con larga duración queda descartada completamente la ruta medida. Pero si se trata de otra causa, se actúa dependiendo de la causa detectada. Esto quiere decir que existen factores que sólo pueden causar daño al campo eléctrico más no a la calidad de recepción, y si esto ocurre, la medida queda descartada para fines de estudio de umbral de campo.
- 3. Incongruencia de la SNR en relación al AQ entre los modos de transmisión.** Se trata en que exista un nivel bajo de SNR en cualquiera de los modos de transmisión y que el AQ sea correcto, esto no puede ser posible ya que si el SNR es bajo la recepción debe ser mala.
- 4. Comparativa de mediciones de nivel de campo entre el analizador de espectros y el receptor DRM.** Este análisis trata más que nada en corroborar que las mediciones realizadas entre el analizador de espectros y el receptor profesional DRM correspondan, ya que si existe cierta discrepancia en estas medidas, se puede concluir que se trata de un posible desajuste en los equipos, o defectos en las conexiones y esto nos puede llevar a resultados erróneos, por lo que es una buena para descartar datos.

Los tres parámetros básicos en los que se basan el estudio de la recepción en puntos fijos son el AQ que es el porcentaje de las tramas de audio recibidas correctamente, la intensidad de campo eléctrico y la SNR.

En primera instancia se analizan los resultados de forma global en base al AQ. En el cual un AQ mayor o igual al 98% se considera como buena recepción, un AQ entre mayor o igual al 97% y menor que el 98% se considera como recepción regular y un AQ abajo del 97 % se consideran como mala recepción. Por lo que todas las medidas abajo del 98% se analizan profundamente para tratar de detectar las posibles causas que provoquen los problemas de recepción.

El nivel de ruido es otro factor determinante que puede provocar mala recepción de la señal, ya que al existir un ruido mayor, el campo eléctrico aumentara para conseguir la misma SNR.

Cuando la interferencia o problema detectado son de poca duración solo se descarta la parte de la medida afectada por la interferencia, en tanto que, si son de larga duración se descarta toda la medida. De acuerdo a la metodología seguida para la verificación de la coherencia de los datos, resultaron descartadas algunas mediciones.

4.2 Evaluación de Robustez y Área de Cobertura de la Señal Digital

A continuación se explica cómo se evalúa la robustez y el área de cobertura de la señal digital. Dado que se evalúan los distintos modos de transmisión, es necesario evaluar cada uno de ellos por separado pero siguiendo la misma metodología. Cabe mencionar que el área de cobertura de una señal digital de radiodifusión se determina a partir de un contorno con un campo mínimo utilizable. Dentro de esta área la señal es recibida sin pérdidas y sin interrupciones. La referencia para evaluar la cobertura de la señal digital es la cobertura estimada de AM.

La metodología utilizada para evaluar la robustez y el área de cobertura en los distintos modos de transmisión es la siguiente:

1. **Rutas circulares (internas).** Con estas rutas se evalúa la robustez de la señal DRM en distintos entornos de recepción. Es decir, con esto se buscan los posibles factores anómalos a la señal recibida. Aunque este estudio se deja para líneas futuras, estas rutas son indispensables para determinar los umbrales mínimos de recepción.
2. **Rutas radiales.** Con estas rutas se evalúa el alcance de la señal digital y el límite de cobertura.
3. **Calidad del AQ.** Para evaluar la calidad de recepción se determinan ciertas distancias a partir del transmisor y se va analizando el AQ de la señal, es decir, primero se evalúa a 3 m, luego a 10 m y así progresivamente hasta ver donde la señal ya no es óptima.

4.3 Evaluación de Compatibilidad con las Señales Analógicas

El objetivo de esta evaluación es determinar la compatibilidad de la señal DRM con las señales analógicas, es decir, verificar que durante una transmisión en modo Simulcast no haya interferencia o un comportamiento anómalo de la señal digital con la señal analógica y viceversa. De la misma manera se hace la evaluación con las señales analógicas cercanas al canal de comunicación, esto se realiza siguiendo los lineamientos marcados por ANATEL [30].

Para esta evaluación se sigue una metodología que se menciona a continuación:

4. Transmisión conjunta entre la señal DRM y Analógica, existentes en el mismo canal, y se evalúa mediante los receptores comerciales.
5. Transmisión solo de la señal analógica para registrar grabaciones a través de receptores comerciales.

Los receptores comerciales analógicos utilizados durante las pruebas son de las marcas Toshiba TR949GL, Motobras RM-PF22 y NKS AC-125, con la finalidad de evaluar la calidad subjetiva de los audios recibidos siguiendo los grados de calidad de recomendación de la UIT BS.1248 [31]. Estos receptores son mostrados en la figura 4.2.



Figura 4.2 Receptor AM Toshiba TR949GL, Motobras RM-PF22 y NKS AC-125.

5 RESULTADOS

En este último capítulo se dan a conocer los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en la Ciudad de Sao Paulo Brasil con el sistema de radio digital DRM en la banda de onda media. Primeramente se dan a conocer los resultados de recepción para realizar una comparativa con los valores previstos de acuerdo a la guía de Anatel [30]. Posteriormente se presentan los umbrales mínimos requeridos de Campo Eléctrico y Relación Señal a Ruido (SNR) que necesita la señal DRM para poder recibir correctamente. Esto se realiza para ambas emisoras, tanto para Fundación Padre Anchieta como para Radio CBN, también se hace una comparación de los umbrales obtenidos de DRM con umbrales de AM y a su vez otra comparación con los umbrales previstos para DRM, para posteriormente dar las conclusiones. Finalmente se explica el estudio de la compatibilidad de la señal digital con la señal analógica.

5.1 Resultados de Recepción y Comparación con los Previstos

En este apartado se presentan los resultados de recepción obtenidos después del análisis de datos, una vez que se tienen estos resultados se comparan con los valores previstos por la guía de Anatel [30], organismo regulador de las telecomunicaciones en Brasil.

5.1.1 Fundación Padre Anchieta

5.1.1.1 Modo Day 16

Los resultados de recepción del modo de transmisión Day 16 para la estación Fundación Padre Anchieta son mostrados en la Figura 5.1, en esta imagen se muestra la calidad de audio (AQ) sobre un mapa que a su vez muestra el contorno protegido de AM que nos ayuda a tener una percepción más precisa sobre el área de cobertura que se consigue con la señal DRM en comparación con AM, la calidad de recepción se determinó de la siguiente manera: los puntos en rojo representan un $AQ < 90\%$ el cual indica que el audio recibido es malo, los puntos en amarillo muestran el $90\% \leq AQ < 98\%$ indicando que el audio recibido es regular y los puntos en verde muestran el $AQ \geq 98\%$ indicando que el audio recibido es bueno. En la Figura 5.2 se muestra gráficamente la intensidad del campo eléctrico en función a la distancia al transmisor con el fin de visualizar y determinar la distancia que alcanza la señal DRM y con qué intensidad de campo eléctrico se llega.

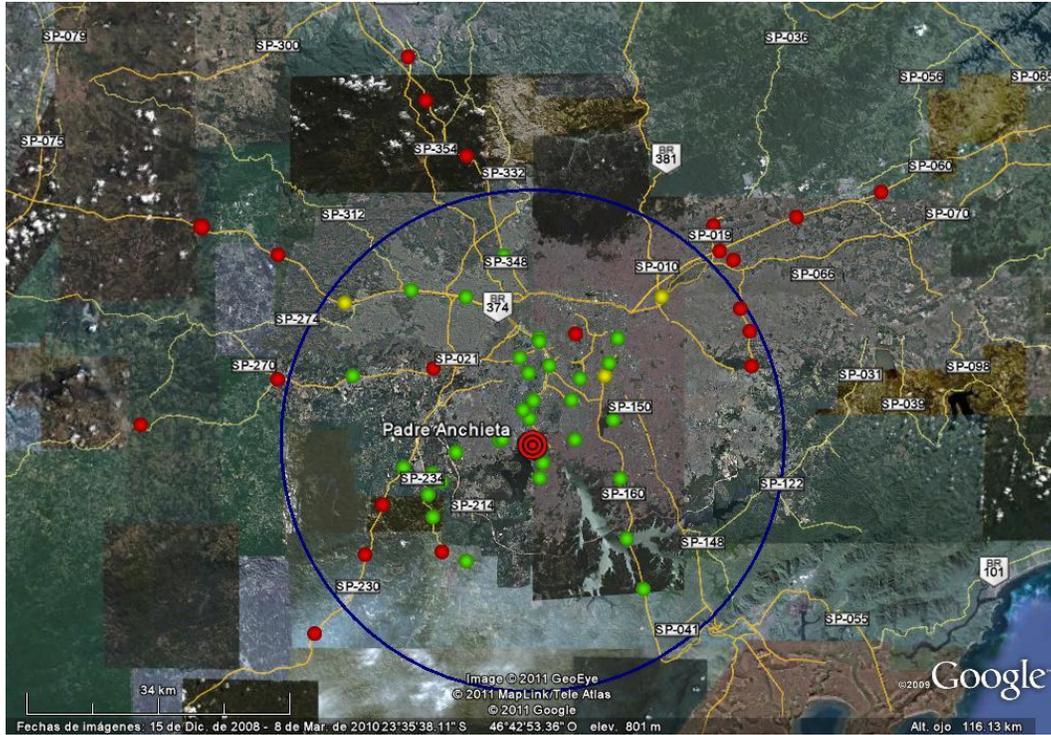


Figura 5.1. Resultados del AQ en el modo Day 16 mostrados en mapa.

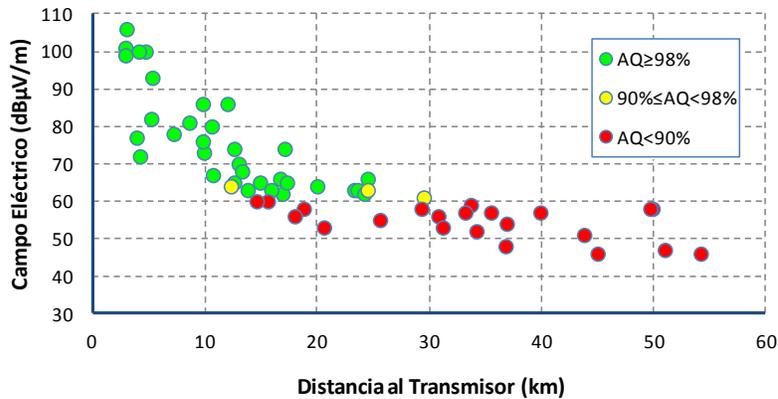


Figura 5.2. Resultados de recepción del modo Day 16 en función de la distancia al transmisor.

Como se observa en la Figura 5.2 la cobertura que se alcanza con la señal digital DRM con el modo de transmisión Day 16 es de 17 km distante al transmisor, tal vez esta no sea una distancia grande pero hay que tomar en cuenta que la potencia con la que se transmite DRM es de 3.15 kW para el día y 1.26 kW para la noche, estas son potencias mucho más pequeñas que las transmitidas por AM que son de 50kW de día y 20 kW de noche.

Otro factor determinante que perjudica al área de cobertura es la degradación que sufre la señal debido a las condiciones de propagación que se presentan en la ciudad de Sao Paulo y los altos niveles de ruido, pues esto provoca que se necesiten altos niveles de

campo eléctrico para recibir correctamente. A pesar de estas limitantes el área de cobertura de DRM es mayor que la cobertura de la señal AM.

5.1.1.2 Modo Day 64

Enseguida se muestran los resultados de recepción con el modo de transmisión Day 64, que se obtuvieron de la misma forma que con el modo Day 16. En la Figura 5.3 se puede observar la calidad de audio (AQ) recibida, se aprecia que el panorama de la calidad de recepción es distinto al modo Day 16, esto se debe a que este modo es menos robusto y por ende más susceptible a ruido y a interferencias.

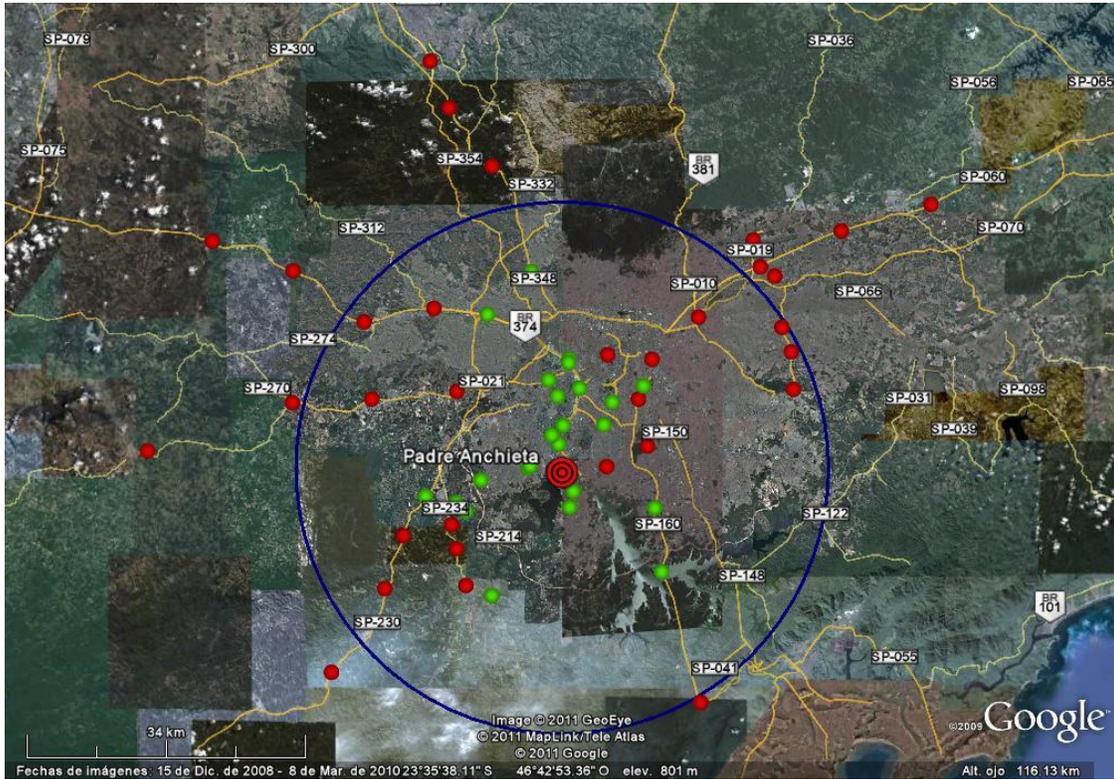


Figura 5.3. Resultados del AQ en el modo Day 64 mostrados en mapa.

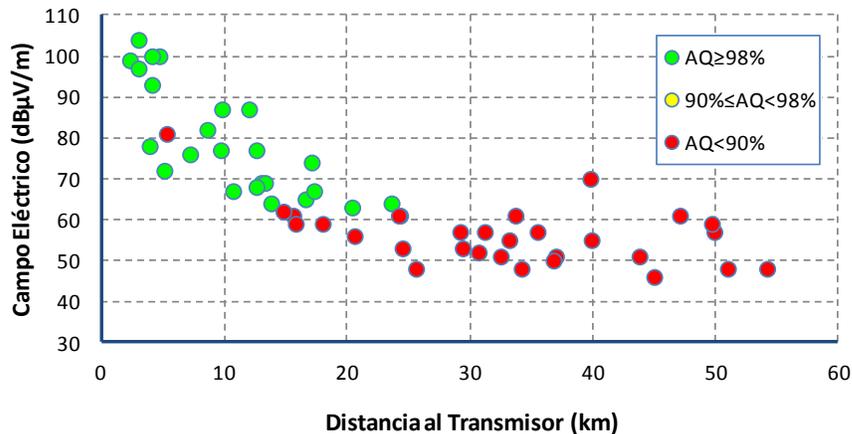


Figura 5.4. Resultados de recepción del modo Day 16 en función de la distancia al transmisor.

La Figura 5.4 muestra los resultados de estas mediciones y como era de esperar, los resultados con el modo Day 64 son ligeramente peores que los del modo Day 16, se pueden ver niveles similares al modo Day 16 a pesar de esto la recepción es peor, aún en los puntos cercanos al umbral de recepción, con estos factores la distancia de cobertura se limita a 14 km aproximadamente.

5.1.1.3 Modo Night 16

Durante la noche la propagación ionosférica hace que las señales en onda media se propaguen más lejanas al transmisor, convirtiéndose no solo en una ventaja para cubrir grandes áreas de cobertura sino también en una fuente de interferencia de otras transmisiones. En la Figura 5.5 se muestra el espectro registrado transmitiéndose únicamente la señal AM (señal DRM apagada). Como se puede observar hay una interferencia en el canal de la señal DRM que hace más difícil la recepción. Todas las grabaciones hechas en diferentes puntos muestran espectros similares. La portadora interferente en 1210 kHz muestra campos medidos de 36 a 49 dB μ V/m en función de la posición de la medida. Evidentemente, esta señal interferente reduce el área de cobertura de la señal DRM.

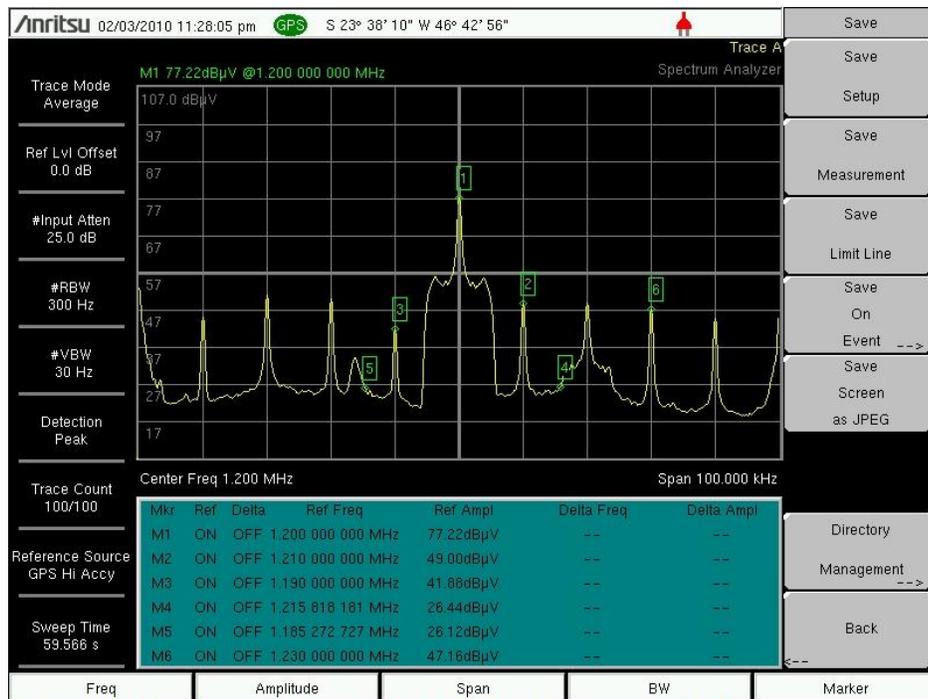


Figura 5.5. Espectro grabado durante la noche mostrando las interferencias de otras estaciones AM.

De cualquier manera, como se muestran en la Figura 5.6 y Figura 5.7 los resultados de recepción con el modo Night 16 no son del todo malos puesto que la cobertura parece ser mayor que durante el día, aunque para asegurar este hecho sería necesario contar con más puntos de medición.

En la Figura 5.6 también se muestra la calidad de recepción sobre un mapa junto con el contorno protegido de AM que se calculó para el modo nocturno, para de esa forma tener una mayor precisión en el alcance de cobertura que se consigue por la noche.

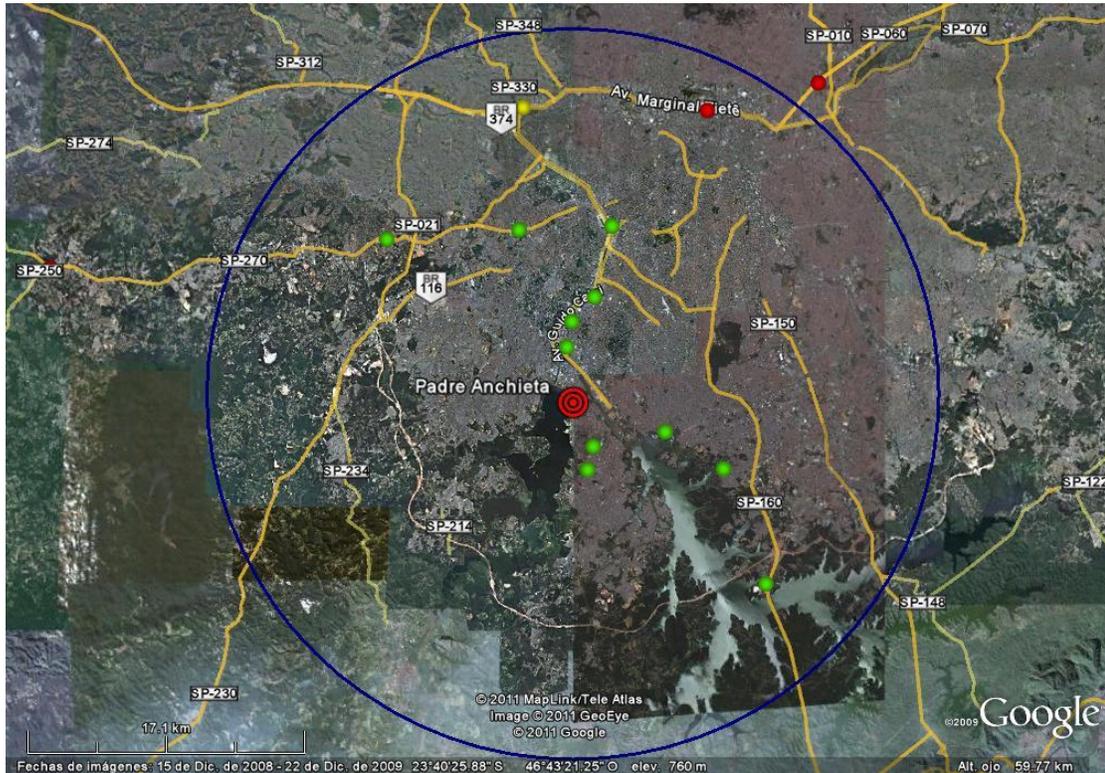


Figura 5.6. Resultados del AQ en el modo Night 16 mostrados en mapa.

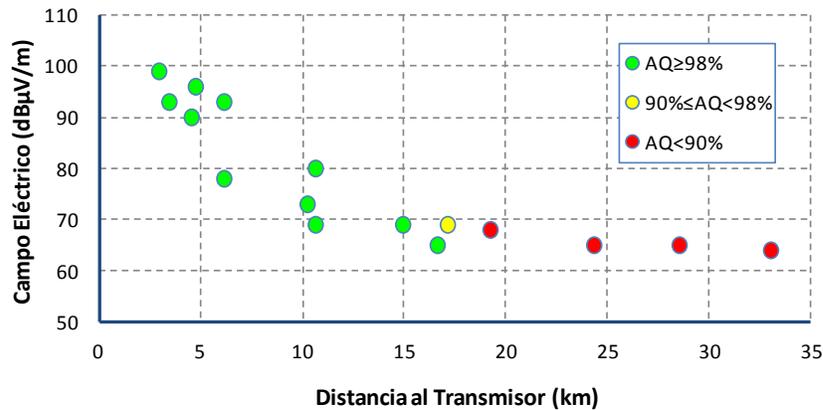


Figura 5.7. Resultados de recepción del modo Night 16 en función de la distancia al transmisor.

Estos resultados de Night 16 son mejores que los resultados de AM, aun si la señal de AM no sufre interferencias de otras estaciones de radio. Se observa que la distancia de cobertura es de 16 km. Esto es posible probablemente porque el ruido de noche sea menor y haga más sencilla la recepción, aunque esto no se puede asegurar ya que no se hicieron medidas de ruido.

5.1.1.4 Modo Night 64

Los resultados del modo Night 64 muestran una menor cobertura que en el caso anterior, en este caso las interferencias son la causa para disminuir la cobertura hasta solo 10 km de distancia al transmisor. Está claro que bajo estas condiciones se necesitan altos umbrales de recepción y la razón es porque la robustez que presenta este modo no es suficiente para contrarrestar las interferencias de otras estaciones de radio. Las Figuras 5.8 y 5.9 muestran los resultados del modo Night 64.

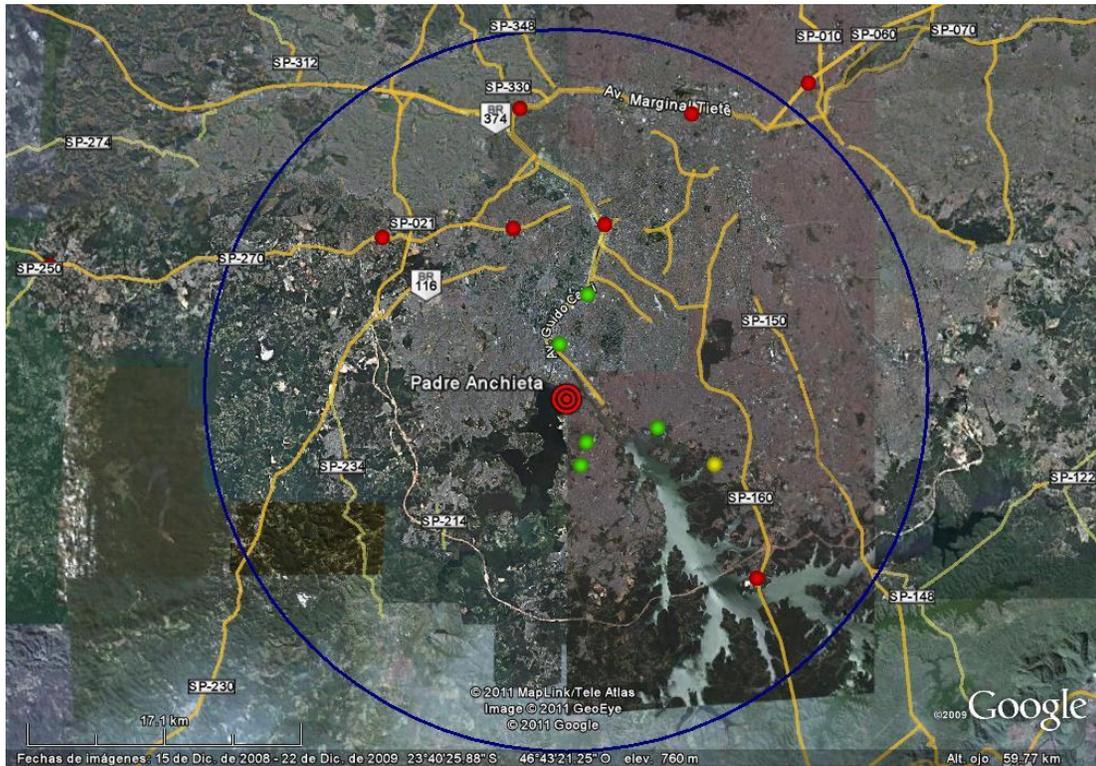


Figura 5.8. Resultados del AQ en el modo Night 16 mostrados en mapa.

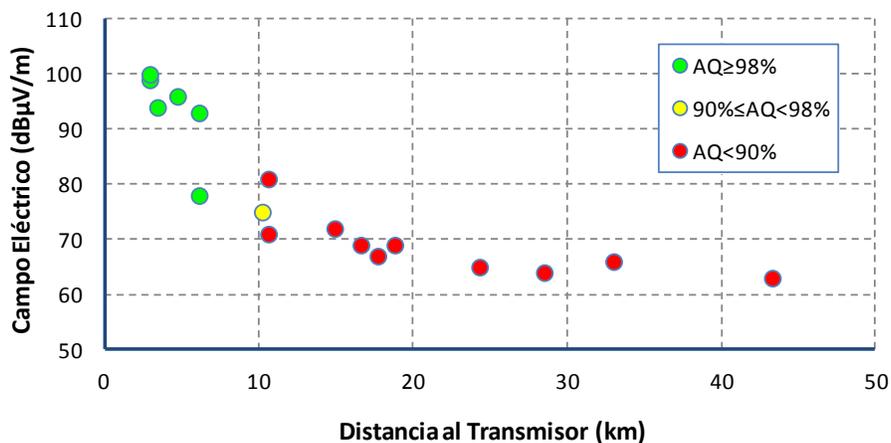


Figura 5.9. Resultados de recepción del modo Night 16 en función de la distancia al transmisor.

5.1.2 Radio CBN

5.1.2.1 Modo Day 16

Durante estas campañas las rutas planeadas para las pruebas son un poco distintas a las de la primera campaña que fue la de Fundación Padre Anchieta. De la misma manera se muestran los resultados de recepción sobre un mapa mismo en el que se muestra el contorno protegido calculado para AM, con el mismo objetivo de tomarlo como referencia para poder determinar el alcance de cobertura de la señal DRM. La Figura 5.10 muestra las imágenes correspondientes a los resultados, los puntos en rojo muestran el $AQ < 90\%$ que representa una calidad de audio mala, los puntos en verde muestran un $AQ \geq 98\%$ representando buena calidad de audio recibido.



Figura 5.10. Resultados del AQ en el modo Day 16 mostrados en mapa.

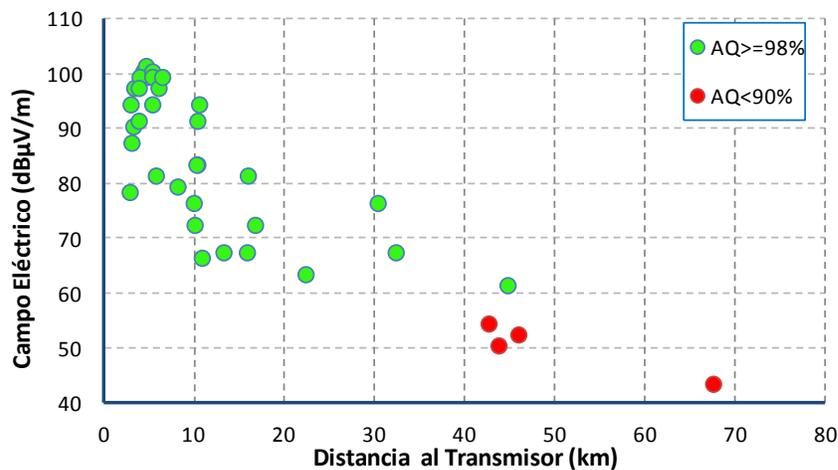


Figura 5.11. Resultados de recepción del modo Day 16 en función de la distancia al transmisor

En la Figura 5.11 se contrastan el campo eléctrico en función a la distancia, con el objetivo de determinar la distancia que alcanza la señal DRM. Se puede observar que con el modo de transmisión Day 16 se obtiene un alcance de 32 km distante al transmisor, un área de cobertura muy buena para DRM en comparación con la de AM.

5.1.2.2 Modo Day 64

Los resultados de recepción del modo Day 64 son mostrados en la Figura 5.12. Se puede observar que los resultados son similares a los del modo Day 16 a pesar de que este modo de transmisión es menos robusto. Cabe mencionar que en esta campaña son menos rutas medidas en comparación a las rutas de Fundación Padre Anchieta, a parte las mediciones pueden variar dependiendo del horario y la ubicación en la que se haya realizado. El contorno protegido es el mismo para ambos modos diurnos (línea azul que se muestra sobre la Figura 5.12).

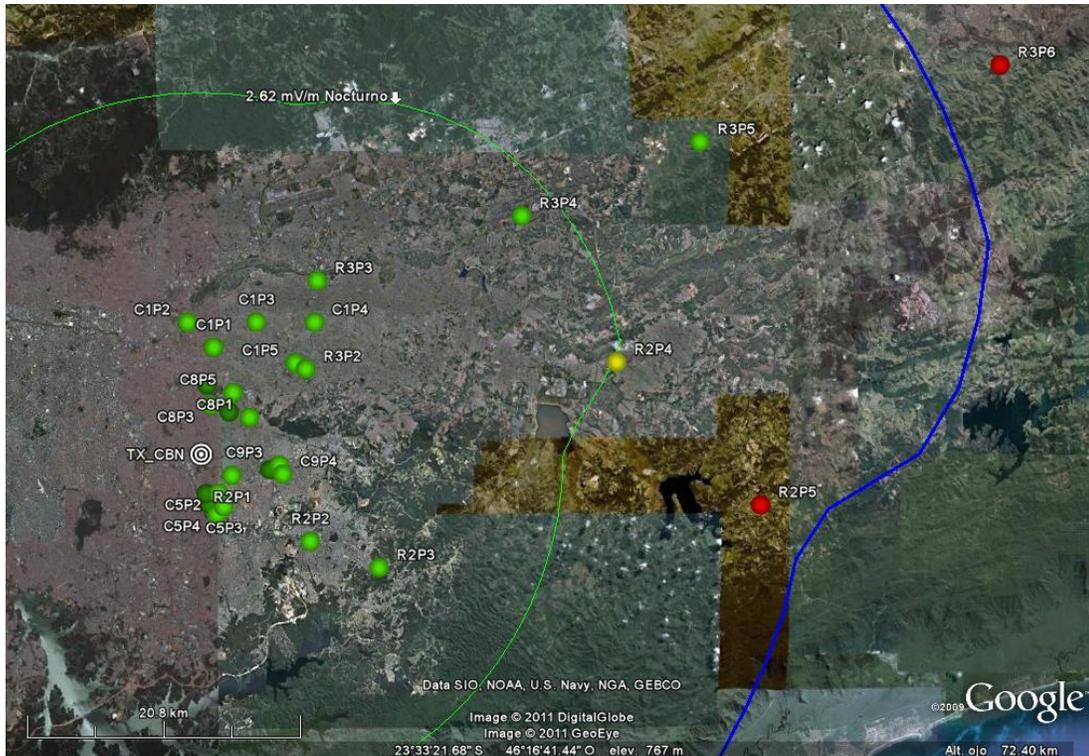


Figura 5.12. Resultados del AQ en el modo Day 64 mostrados en mapa.

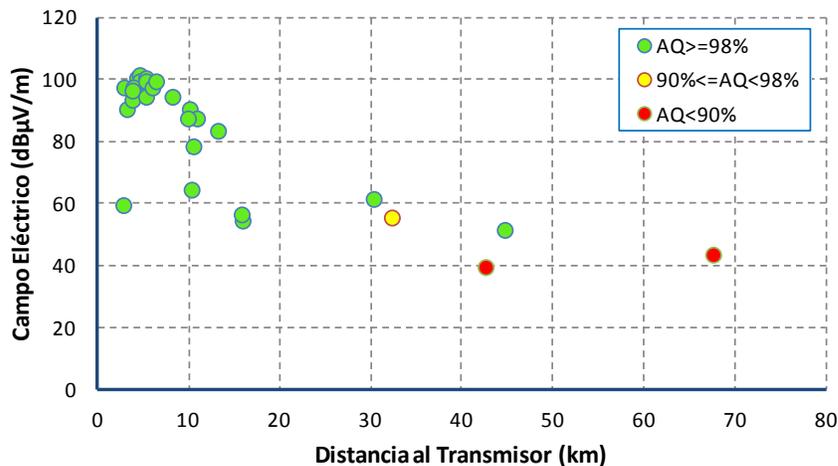


Figura 5.13. Resultados de recepción del modo Day 64 en función de la distancia al transmisor.

En la Figura 5.13 donde se muestra el campo eléctrico en función a la distancia al transmisor, se puede apreciar que la distancia de cobertura es de 30 km, sin tomar en cuenta el punto amarillo de lo contrario se tendría la misma distancia que con el modo Day 16. Una explicación del porque de la similitud entre ambos modos es por la alta variabilidad de campo eléctrico que presentaban unas rutas y puntos medidos, de ahí se tomo la decisión de descartar estos puntos y no tomarlos en cuenta para estos cálculos, es decir, para poder tener un cálculo más preciso era necesario el registro de mas mediciones y con ello observar la diferencia entre un modo y otro. Aparentemente en esta campaña no se ven presentes los factores que dañan la señal digital por lo mismo de la poca existencia de datos. Probablemente también se deba a que en esos días la presencia del ruido no era tan alta, arrojándonos buenos niveles de señal.

5.1.2.3 Modo Night 16

Como se mencionó en el apartado 5.1.1.3 la propagación de señales en onda media por la noche son más susceptibles interferencias por la presencia de otras estaciones de radio y en esta campaña de medidas de Radio CBN tampoco fue la excepción. La Figura 5.14 muestra otra interferencia presente en la portadora de 1210 kHz durante la transmisión de la señal AM únicamente, esto significa que durante la transmisión en modo simultáneo la señal DRM sufrió degradación en la recepción por esta señal interferente, es decir, esto provoca un incremento en las mediciones de campo eléctrico para la señal DRM provocando umbrales más altos. El valor del campo eléctrico de la portadora interferente es de 37.21 dB μ V/m, este valor se encuentra efectivamente en el rango mencionado en el apartado 5.1.1.3 que va de 36 a 49 dB μ V/m en función de la posición de la medida.

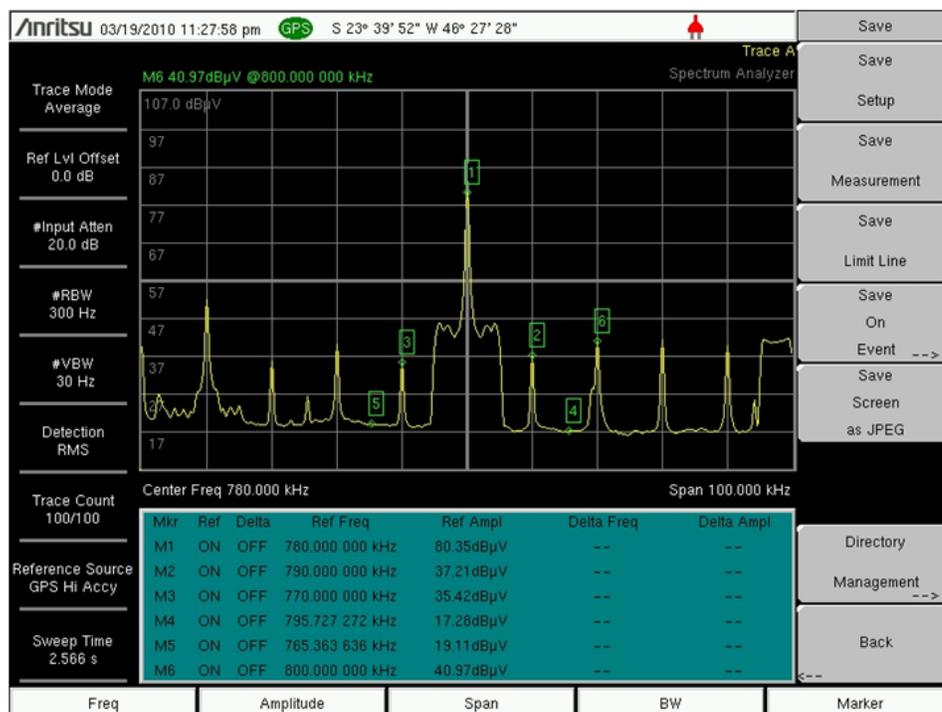


Figura 5.14. Espectro grabado durante la noche mostrando las interferencias de otras estaciones AM durante la transmisión de Radio CBN.

La Figura 5.15 muestra los resultados de recepción de los puntos medidos durante la noche, aquí se puede observar que casi en la totalidad de las medidas la calidad de audio es buena.

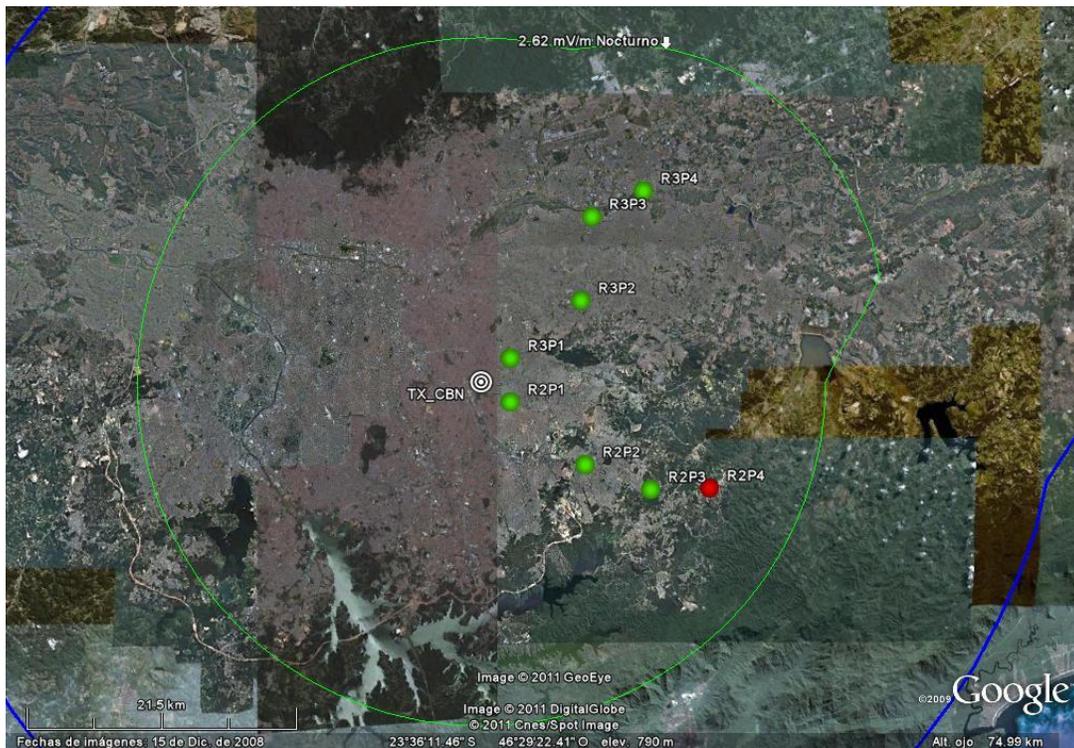


Figura 5.15. Resultados del AQ en el modo Night 16 mostrados en mapa.

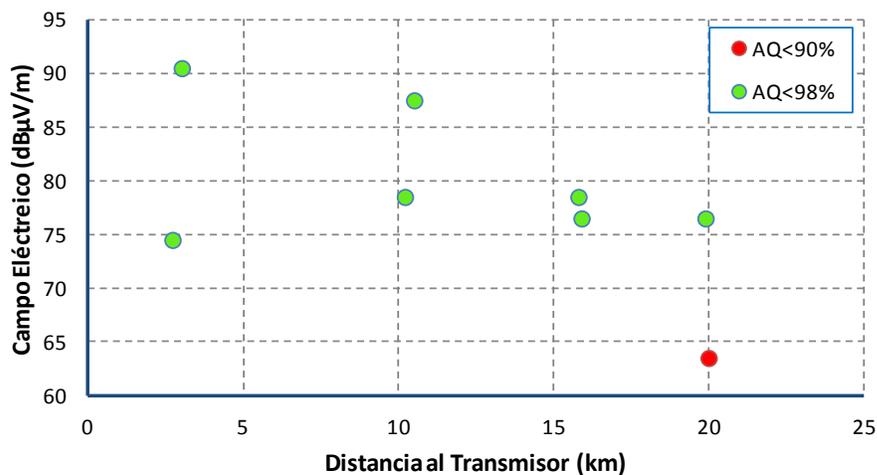


Figura 5.16. Resultados de recepción del modo Night 16 en función de la distancia al transmisor.

De acuerdo a la Figura 5.16 se obtiene una distancia de cobertura de 19 km, tomando nuevamente en cuentas que esta distancia no se puede determinar con exactitud debido a la poca existencia de datos. En este modo también fueron descartadas unas mediciones por la misma problemática de fallas en las conexiones de los equipos y alta variabilidad de campo eléctrico.

5.1.2.4 Modo Night 64

En este modo de Night 64 los resultados de recepción se pueden observar en la Figura 5.17 mostrados sobre un mapa y en el que se refleja que de un total de 12 mediciones, 8 son buenas y 4 son malas. Como complemento se muestra la Figura 5.18 donde a través del campo eléctrico en función de la distancia al transmisor se determina una distancia de cobertura de 10 km.

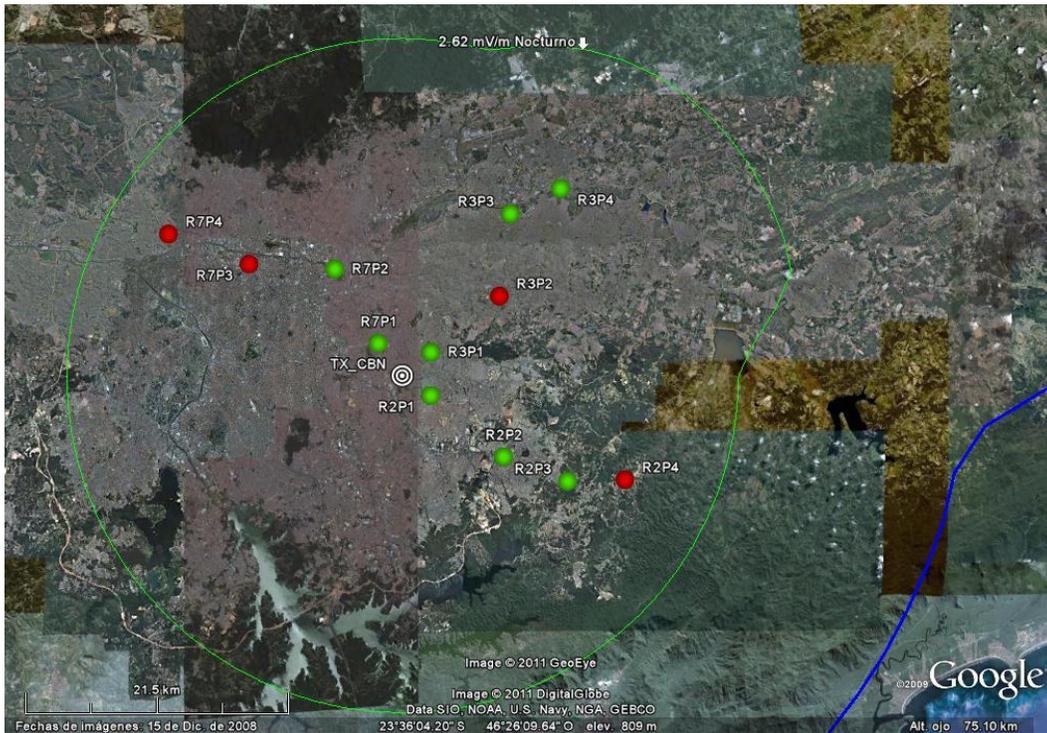


Figura 5.17. Resultados del AQ en el modo Night 64 mostrados en mapa.

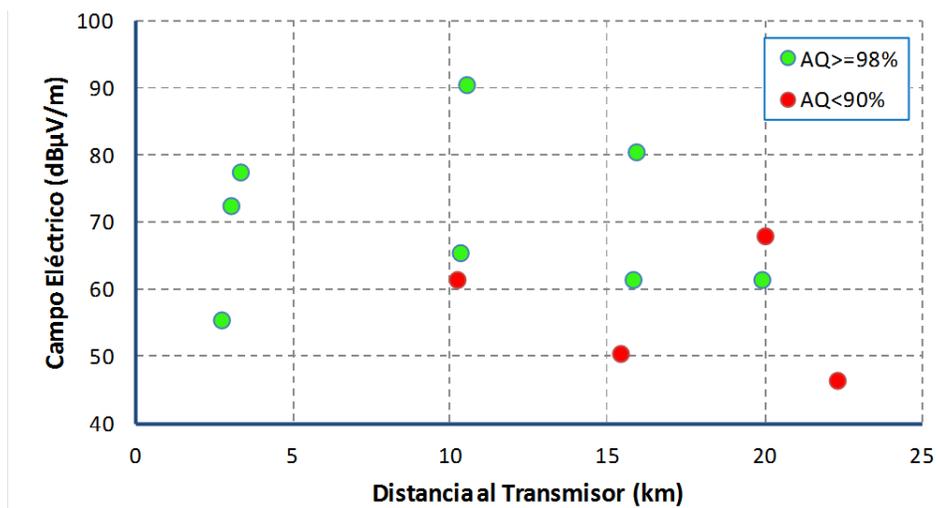


Figura 5.18. Resultados de recepción del modo Night 64 en función de la distancia al transmisor

5.2 Umbrales de Recepción

5.2.1 Modo Day 16 Padre Anchieta

Los umbrales de recepción del campo eléctrico y la SNR son los valores mínimos que requieren tener estos dos parámetros para poder recibir correctamente una señal electromagnética, por lo tanto, para determinar estos valores de la señal digital DRM fue necesario compararlos con la calidad de audio recibido (AQ). En la Figura 5.19 se muestra una grafica del campo eléctrico contra la SNR con el fin de determinar los umbrales requeridos para la recepción DRM en el modo Day 16, lo cual da como resultado un umbral de campo eléctrico de 60 dB μ V/m y un umbral de SNR de 13 dB, se observa que el nivel de campo eléctrico es bajo en relación al previsto para AM que es de 66 dB μ V/m, lo mismo sucede con la SNR es baja en comparación a los 36.5 dB de AM. Esto significa que el modo Day 16 presenta una mayor robustez y con ello mayor cobertura.

La grafica presenta en que niveles se empieza recibir correctamente la señal DRM, por lo que se toma como umbral el cruce de la línea horizontal (campo eléctrico) y vertical (SNR).

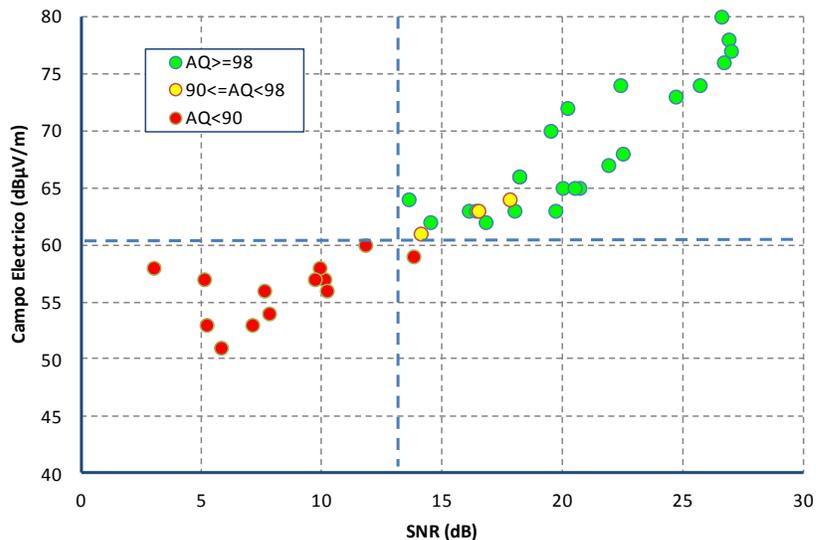


Figura 5.19. AQ en función del campo eléctrico y la SNR en el modo Day 16.

5.2.2 Modo Day 64 Padre Anchieta

Los umbrales de recepción para el modo DRM Day 64 se determinaron de la misma manera que en el modo Day 16. En la Figura 5.20 se indican los umbrales de recepción, y de acuerdo a los resultados se puede ver que el umbral de campo eléctrico es de 63 dB μ V/m y el umbral de SNR es de 18 dB. Sao Paulo es una ciudad enorme con alta densidad de población, además de que cuenta con cientos de edificios muy altos, lo que

5.2.4 Modo Night 64 Padre Anchieta

Por último se dan conocer los umbrales de recepción del modo DRM Night 64, estos valores se indican en la figura 5.22. Lo cual tenemos un umbral para el campo eléctrico de 76 dBuV/m y un umbral de SNR de 18 dB, se observa que el umbral obtenido de campo eléctrico es muy alto con respecto a los demás esto se debe nuevamente a las interferencias que se presentan durante la noche y con la obtención de este umbral podemos decir que este modo no puede con las interferencias. Igualmente estos valores se determinaron de manera apreciativa por la poca existencia de datos.

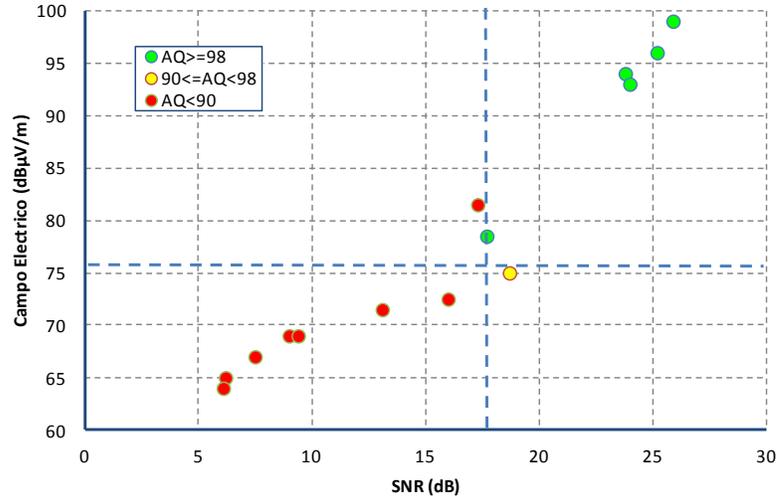


Figura 5.22. AQ en función del campo eléctrico y la SNR en el modo Night 64.

5.2.5 Modo Day 16 CBN

Para el cálculo de los umbrales de recepción de la estación CBN se utilizaron los mismos criterios que en la emisora Padre Anchieta. Primeramente se muestran los umbrales para el modo DRM Day 16. En la Figura 5.23 se muestran los niveles de campo eléctrico y la SNR, en base a esto se calcula el umbral de estos dos parámetros, la grafica presenta en que niveles se empieza recibir correctamente la señal DRM, por lo que se toma como umbral el cruce de la línea horizontal (campo eléctrico) y vertical (SNR).

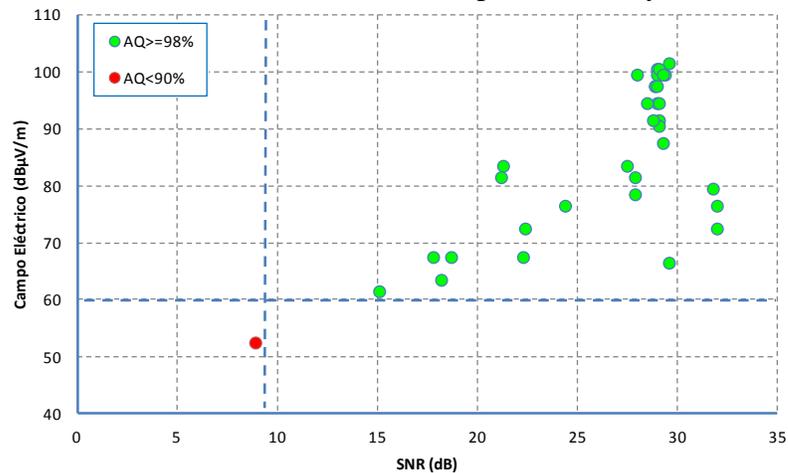


Figura 5.23. AQ en función del campo eléctrico y la SNR en el modo Day 16.

Como se observa en la figura 5.23 el resultado para el umbral de campo eléctrico es de 60 dB μ V/m y el umbral para la SNR es de 9 dB. Son niveles buenos ya que están por debajo a los previstos que son de 66 dB μ V/m en intensidad de campo eléctrico y 36.5 dB en la SNR según la recomendación ITU-R.BS-1514 [9].

5.2.6 Modo Day 64 CBN

Los umbrales de recepción para el modo DRM Day 64 en la estación CBN se determinaron de la misma manera que en el modo Day 16. En la Figura 5.24 se indican los umbrales de recepción, y de acuerdo a los resultados se puede ver que el umbral de campo eléctrico es de 59 dB μ V/m y el umbral de SNR es de 12 dB. Aquí ocurre algo distinto se puede observar que el umbral de campo para este modo es un 1 dB más bajo que en el modo Day 16.

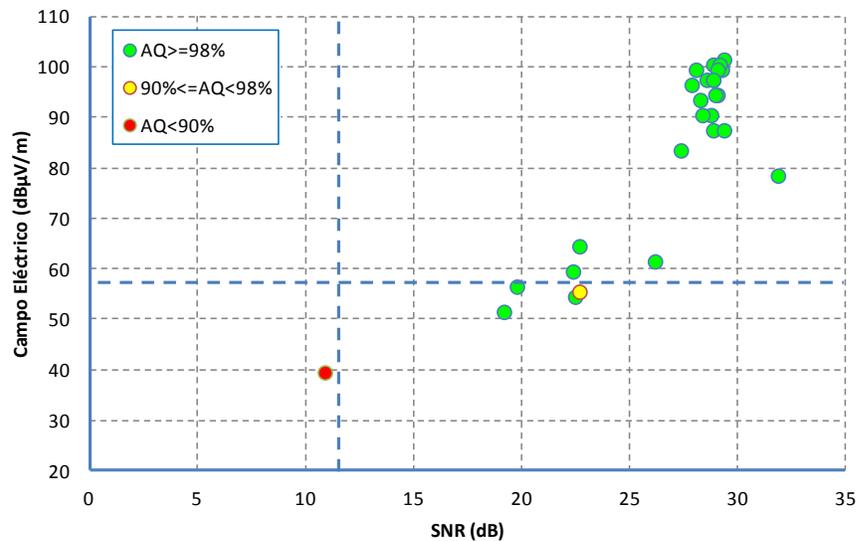


Figura 5.24. AQ en función del campo eléctrico y la SNR en el modo Day 64.

5.2.7 Modo Night 16 CBN

Para el modo DRM Night 16 los umbrales de recepción se indican en la Figura 5.25, por lo tanto de acuerdo a los datos se determinan un umbral de campo eléctrico de 73 dB μ V/m y una SNR de 14 dB. Estos valores son determinados de manera apreciativa debido a la poca existencia de datos registrados. Para tener una mayor precisión en el cálculo de estos umbrales se necesitarían más mediciones en torno a los umbrales.

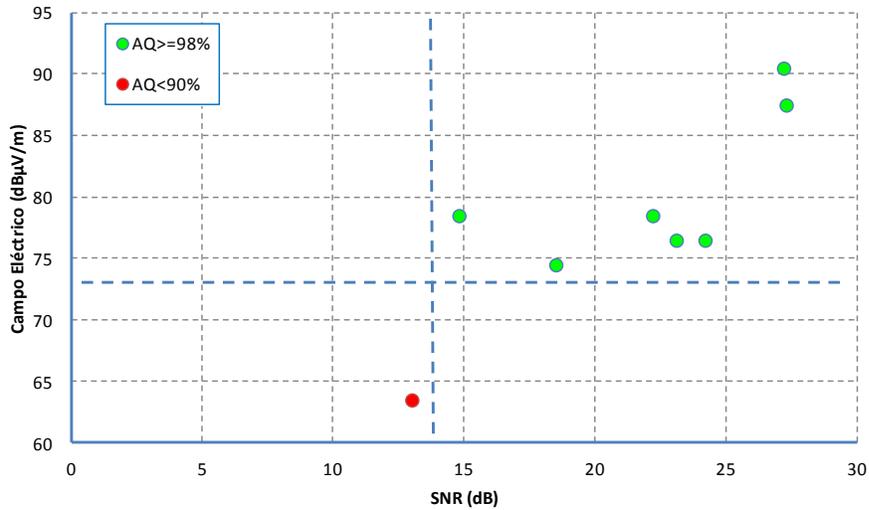


Figura 5.25. AQ en función del campo eléctrico y la SNR en el modo Night 16.

5.2.8 Modo Night 64 CBN

Finalmente se muestran los umbrales de recepción del modo DRM Night 64, estos valores se indican en la Figura 5.26. Lo cual el umbral para el campo eléctrico es de 71 dBµV/m y un umbral de SNR de 17 dB. Igualmente se determinaron de manera apreciativa estos valores por la poca existencia de datos.

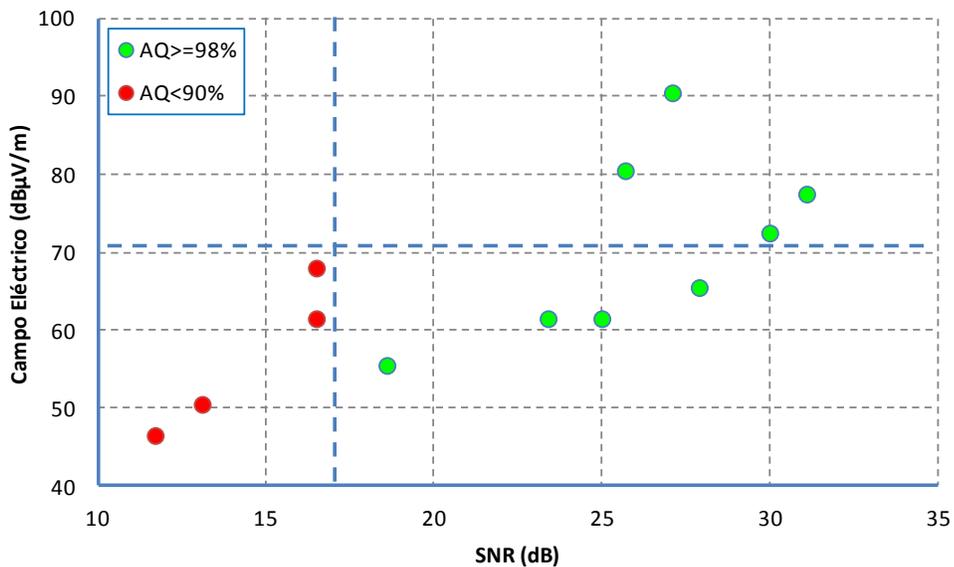


Figura 5.26. AQ en función del campo eléctrico y la SNR en el modo Night 64 B/64/16/L/0.6.

5.2.9 Comparación de Umbrales Diurnos DRM con Umbrales de AM

Los umbrales mínimos previstos para AM en campo eléctrico es de 66 dB μ V/m y la SNR de 36.5 dB según la recomendación ITU-R BS.1615 [16]. En base a estos valores comparamos los umbrales obtenidos con DRM en las dos estaciones transmisoras, Fundación Padre Anchieta y Radio CBN.

Emisora	Modo de Tx DRM	Umbral de campo eléctrico DRM (dB μ V/m)	Umbral de SNR DRM (dB)	Umbral de campo eléctrico AM (dB μ V/m)	Umbral de SNR AM (dB)
Fundación Padre Anchieta	Day 16	60	13	66	36.5
	Day 64	63	18		
Radio CBN	Day 16	60	9		
	Day 64	59	12		

Tabla 5.1. Comparación de umbrales Diurnos DRM con los previstos para AM.

Como se puede observar claramente en la Tabla 5.1 los umbrales de campo eléctrico y SNR de DRM en ambas estaciones se encuentran por debajo de los valores previstos para AM, esto significa, que la señal DRM es más robusta y como resultado de ello, presenta mayor desempeño en la emisión de su señal digital a pesar de las complicadas condiciones de propagación que se presentan en la Ciudad de Sao Paulo. A su vez, podemos apreciar que el umbral de campo eléctrico entre las dos estaciones transmisores en el modo Day 16 resultan ser iguales, no así, con la SNR. Lo mismo sucede con el modo Day 64 sus valores en campo eléctrico son muy similares a excepción de la SNR, esta explicación se dará a detalle en el apartado 5.2.11 que habla sobre la discusión de umbrales.

5.2.10 Comparación de Umbrales Nocturnos DRM con Umbrales de AM

A continuación en la Tabla 5.2 se muestran los umbrales obtenidos de los dos modos nocturnos de la señal DRM de las dos estaciones transmisoras.

Emisora	Modo de Tx DRM	Umbral de campo eléctrico DRM (dB μ V/m)	Umbral de SNR DRM (dB)	Umbral de campo eléctrico AM (dB μ V/m)	Umbral de SNR AM (dB)
Fundación Padre Anchieta	Night 16	69	12	66	36.5
	Night 64	76	18		
Radio CBN	Night 16	73	14		
	Night 64	71	17		

Tabla 5.2. Comparación de umbrales Nocturnos DRM con los previstos para AM.

En esta tabla observamos que los umbrales de campo eléctrico en los modos de transmisión DRM nocturnos, resultan más altos que los previstos en AM, es necesario señalar que los umbrales obtenidos para estos modos no son precisos debido a que no existieron suficientes grabaciones de datos. En relación a la SNR los umbrales obtenidos son muy buenos en comparación a los de AM. Podemos ver que se obtuvieron umbrales de campo eléctrico altos y SNR bajos, esto es una indicación clara de que existe ruido o interferencias

5.2.11 Discusión de los umbrales obtenidos

Se concluye que la diferencia existente en los umbrales de recepción obtenidos de campo eléctrico y SNR para las estaciones Fundación Padre Anchieta y Radio CBN se deben en principio a que las mediciones se realizaron en rutas y días distintos, con ello, el ruido existente pudo haber sido mucho mayor que otros días. Pero finalmente lo importante es que a pesar de estos factores el área de cobertura que se consigue con la señal digital DRM es mejor a la que proporciona AM.

5.3 Compatibilidad con las Señales Analógicas

Como parte de este trabajo otro de los objetivos también fue el de demostrar la compatibilidad de la señal DRM en modo simultaneo bajo el plano básico de distribución de canales existentes, es decir, demostrar la posibilidad de añadir las transmisiones DRM sin perturbar la recepción de las señales AM existentes.

Para esto se ha evaluado el impacto de la señal DRM sobre la señal huésped, y el impacto de la señal DRM sobre señales AM situadas en el mismo canal o canales adyacentes.

Mediante la calidad subjetiva de los audios recibidos con varios receptores AM siguiendo los grados de calidad de recomendación de la UIT BS-1284-1 [32]. Según esa recomendación de la UIT, un valor de 3 se considera como recepción aceptable dentro de la escala de 5 puntos.

5.3.1 Compatibilidad de la Señal DRM con la Canalización de AM en Onda Media

La señal DRM es sumamente versátil, es decir, se puede modificar su potencia, frecuencia, ancho de banda y parámetros de modulación. Esto implica, en cuanto a la señal simultánea y específicamente a Brasil se refiere, que la señal DRM se puede situar tanto a la derecha como a la izquierda de la señal AM, y además su potencia es configurable con respecto a la potencia de la señal AM.

La relación de protección recomendada es de 16 dB, esto significa, que la señal DRM esta 16 dB por debajo de la potencia de la señal AM. En unas pruebas realizadas en

México se demostró que esta relación no afecta en lo absoluto a la recepción de la señal AM huésped [33]. Sin embargo para las pruebas en Brasil se utilizó la técnica denominada “Spectral Shaping”, con lo que la relación de protección se pudo bajar hasta los 12 dB.

En ambos casos, ya sea con una relación de protección de 12 dB o 16 dB, la señal DRM se sitúa por debajo de la máscara de transmisión establecida por Anatel para las emisiones de una señal AM [30], por lo que no debería afectar a la recepción de otras señales AM. Aun así, se realizó este estudio para demostrar si efectivamente era así.

5.3.2 Impacto en la Recepción de la Señal Analógica AM Huésped

Para la evaluación del impacto de la señal DRM sobre la señal AM huésped se realizó de acuerdo a la metodología descrita en el capítulo 4, es decir, se realizaron grabaciones de audio en receptores AM, tanto con la señal Simulcast (emisión de DRM junto con AM) como las señal AM sola (sin emisión de la señal DRM) y se compararon los audios. Se realizaron medidas en varios puntos, pero para este análisis únicamente se tomaron los resultados de los puntos R1P1 y R1P2, por ser los más cercanos al transmisor, y durante el día, evitando así la influencia de señales interferentes provocadas por la propagación ionosférica. El punto R1P1 está a una distancia de 4.6 kilómetros (menor a los 5 km que especifica la guía de Anatel [30], mientras que el punto R1P2 está a 5.4 km.

En estos puntos (como el resto de la campaña de medidas) se realizaron grabaciones con dos receptores, en este caso con receptores de marca Motobras y NKS. Desafortunadamente varias de las grabaciones con el receptor Motobras fueron defectuosas, por lo que solo se analizaron las grabaciones tomadas con el receptor NKS.

Punto	Modo DRM	Receptor	Calidad AM (Sólo AM)	Calidad AM (Simulcast)
R1P1	DIA16	NKS	4	4
R1P2	DIA16	NKS	4	4

Tabla 5.3. Impacto de la señal DRM en la señal AM huésped.

5.3.3 Impacto en la Recepción de Señales AM en Canales Adyacentes 1 y 2

A pesar de que la guía de Anatel para realizar las medidas pedía que se realizara la evaluación del impacto sobre el segundo canal adyacente, no se pudo realizar debido a que no existía ninguna emisora en ese canal suficientemente cercano. Por ello, únicamente se realizaron medidas de impacto sobre el canal adyacente 1. Es importante recalcar que cuando nos referimos a canal adyacente 1 y 2 la referencia es el canal AM huésped. Por ejemplo, cuando se habla de una transmisión en canal 1 adyacente se refiere también a una transmisión en el mismo canal de la señal DRM.

En la localidad de Sorocaba hay una estación de transmisión de AM que transmite su señal en la misma frecuencia que la señal DRM usada en la estación de Padre Anchieta, es decir 1210 kHz. O sea, la estación de Sorocaba transmite en canal adyacente 1°. Esta emisora es Radio Emissora Vanguarda Ltda. Es una estación de clase C está situada a 75,42 km de la estación de Padre Anchieta. En la **¡Error! No se encuentra el origen de a referencia.5.4** se muestran las características más importantes de esta estación.

Las medidas se realizaron en dos puntos fijos especialmente definidos, los puntos PI1 y PI2, y también en el punto de la ruta 4 más cercano a la estación de Sorocaba, con el modo de transmisión DAY 16. Todas las medidas fueron realizadas de día.

Punto	Modo DRM	Distancia al transmisor de Sorocaba (km)	Distancia al transmisor de Padre Anchieta (km)	$P_{\text{Soro}} - P_{\text{DRM}}$ (dB)	Receptor AM	Calidad Audio	Calidad de Audio Promedio
PI2	DIA16	15,02	69,31	-	ChingLing	3	3
					Toshiba	3	
PI1	DIA16	23,04	58,82	22,90	ChingLing	1	1,66
					Toshiba	2	
R4P7	DIA16	32,44	49,40	13,82	ChingLing	1	1

Tabla 5.4. Resultados de recepción de Sorocaba (AM 1210 kHz) interferida por la señal DRM.

Como se puede observar, la recepción es correcta únicamente en el punto PI2, siendo deficiente en el resto. Esto es lógico ya que el punto PI2 es el más cercano a la estación de Sorocaba y el más alejado de la estación de Padre Anchieta. Sin embargo, en un análisis más completo, parece indicar que los audios grabados en el punto PI1 no están correctamente grabados. Sin embargo, y debido a la importancia de este punto, se ha decidido incluirlo los resultados de este punto.

En la Figura 5.27 se muestran los resultados en un mapa, donde se aprecia mejor la distancia relativa a cada emisora. La línea verde indica el contorno protegido de la estación de Sorocaba. Se han representado en rojo los puntos con mala recepción (calificación menor a 3) y en verde el punto con buena recepción (calificación mayor a 3). La línea verde oscura indica el contorno protegido (2mV/m) de la estación de Sorocaba.



Figura 5.27. Recepción de la señal AM de Sorocaba interferida por la señal DRM de Padre Anchieta.

Los resultados de la Tabla 5.2 son coherentes con la relación de protección requerida. Para interferencia cocanal de la señal digital sobre la analógica es necesaria una relación de protección de 36 dB, es decir, la potencia de la señal analógica debe ser 36 dB superior a la digital **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** En la tabla se observa que en todos los puntos con mala recepción la potencia de la señal AM no es suficientemente grande con relación a la potencia de DRM.

El punto PI1 está en el límite del contorno protegido, por lo que era de esperar buena recepción. Sobre el resultado del punto PI1 hay que hacer tres consideraciones. Primero, las grabaciones no parecen ser hechas de forma correcta, con lo cual el resultado no es del todo fiable. Segundo, no se cumple la relación de protección requerida, pero no es debido a la inclusión de la señal DRM ya que esta señal está dentro de la máscara de transmisión de la señal AM. Y tercero, no se han realizado grabaciones con la señal DRM fuera del aire, por lo que no se puede deducir que la mala recepción sea causada por la señal DRM.

Teniendo en cuenta la relación de potencias y la relación de protección requerida estos resultados están dentro de lo esperado.

6 CONCLUSIONES

Este trabajo presenta los resultados obtenidos del estudio de la recepción de la señal DRM en la banda de onda media en base a las campañas de medidas que fueron llevadas a cabo en la ciudad de Sao Paulo Brasil en las emisoras Fundación Padre Anchieta y Radio CBN.

Este proyecto, cuyo objetivo principal es determinar el comportamiento de la señal DRM en onda media muestra un análisis detallado de escritorio de toda la información recabada en campo, que finalmente nos lleva a resultados reales que comparados con los teóricos no se está lejos de la realidad.

Por lo que se concluyen los siguientes puntos:

1. Se realizaron cálculos de los umbrales del campo eléctrico y la SNR, tanto para la estación Padre Anchieta como para Radio CBN con el objetivo de determinar los valores mínimos requeridos por estos parámetros, para poder recibir correctamente la señal DRM.
2. La razón por la cual existen diferencias entre los umbrales obtenidos para Padre Anchieta y Radio CBN, es porque las rutas planeadas fueron distintas y se midieron en diferentes días, por lo que la presencia y el comportamiento del ruido varía a todas horas.
3. Se observó que de acuerdo al contorno protegido calculado para AM en las dos estaciones, al hacer el estudio de cobertura tomando como referencia este contorno, la señal DRM presenta mayor alcance en cobertura, a pesar de las condiciones de propagación y los efectos de ruidos presentes en la ciudad de Sao Paulo Brasil.
4. Algunos resultados obtenidos durante el desarrollo de este trabajo fueron presentados en documentos de carácter oficial que pudieran contribuir en la adopción del Estándar DRM en Brasil
5. Finalmente se puede decir que el comportamiento de la señal DRM es buena aun con la presencia de los factores adversos antes mencionados y es un estándar de radio digital que presenta muchas ventajas, primeramente porque permite ajustar su transmisión en 4 modos distintos y las modulaciones que utiliza presentan mayor robustez.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] UIT. ITU-R BS.774-2. “*Necesidades del servicio relativo a la radiodifusión sonora digital para receptores a bordo de vehículos portátiles y fijos, mediante transmisores terrenales, en la bandas de ondas métricas y decimétricas*”. 1995.

[2] UIT. ITU-R BS.1348-1. “*Requisitos de servicios de la radiodifusión sonora digital para frecuencias inferiores a 30 MHz*”. 2001.

[3] UIT. ITU-R BS.1114-6. “*Sistemas de radiodifusión sonora digital terrenal para receptores en vehículos portátiles y fijos en la gama de frecuencias 30- 3 000 MHz*”. 2007.

[4] ETSI. ETSI EN 300 401 V1.4.1. “*Radio Broadcasting Systems; Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers*”. 2006.

[5] ETSI. ETSI TS 102 428 V1.1.1. “*Digital Audio Broadcasting (DAB); DMB video service; User Application Specification*”. Junio de 2005.

[6] Herrmann Frank, Erismann Larissa Anna and Prosch Markus. “*The Evolution of DAB*”. EBU Technical Review. Julio de 2007.

[7] ETSI. ETSI TS 102 563 V1.1.1. “*Digital Audio Broadcasting (DAB); Transport of Advanced Audio Coding (AAC) Audio*”. Febrero de 2007.

[8] NRSC. NRSC-5-B. “*In-band/on-channel Digital Radio Broadcasting Standard*”. Abril de 2008.

[9] UIT. ITU-R BS.1514-1. “*Sistema para Radiodifusión Sonora Digital en las bandas de radiodifusión por debajo de 30 MHz*”. 2002.

[10] FCC. “*Digital Audio Broadcasting Systems and their impact on the Terrestrial Radio Broadcast Service*”. Order. MM Docketed No. 99-325. FCC DA 10-208. 29 de Enero de 2010.

[11] Makoto Sasaki. “*Trends in Digital Terrestrial Broadcasting*”. NHK STRL, Broadcast Technology no. 16. Otoño 2003.

[12] DRM Consortium. *“A Broadcaster’s Guide”*. Published and Produced by the DRM Consortium, version 1.1. Junio de 2010.

[13] ETSI. **ETSI ES 201 980 V3.1.1**. *“Digital Radio Mondiale(DRM); System Specification”*. Agosto de 2009.

[14] IEC. **P-IEC 62272-1**. *“Digital Radio Mondiale (DRM) – Part 1: System Specification”*. Marzo de 2003.

[15] UIT. **ITU-R BS.1661**. *“Especificaciones de <<señal en el aire>> del sistema digital descrito en el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R BS.1514 para radiodifusión sonora digital en las bandas de radiodifusión por debajo de 30 MHz”*. 2003.

[16] UIT. **ITU-R BS.1615**. *“Parámetros de planificación para la radiodifusión sonora digital en frecuencias inferiores a 30 MHz”*. 2003.

[17] UIT. **ITU-R BO.1130-4**. *“Sistemas de radiodifusión digital por satélite para receptores instalados en vehículos, portátiles y fijos en las bandas atribuidas al servicio de radiodifusión (sonora) por satélite en la gama de frecuencias 1400-2700 MHz”*. 2001.

[18] WBU – Technical Committee. *“Digital Radio Guide”*. Noviembre 2006.

[19] Eureka-147 Project. *“Eureka-147 Digital Audio Broadcasting”*. Agosto de 1997.

[20] Jonathan H. Stott. *“The how and why of COFDM”*. EBU Technical Review No 278. Otoño 1998.

[21] Karlheinz Brandenburg. *“MP3 and AAC Explained”*. AES 17th International Conference on High Quality Audio Coding, agosto 1991.

[22] Lucent Digital Radio. *“Submission To The National Radio System Committee”*. 24 de Enero de 2000.

[23] NRSC. **NRSC-5-B**. *“In-Band/On-Channel Digital Radio Broadcasting Standard”*. Abril de 2008.

[24] HD Radio. *“HD Radio TM AM Transmission System Specifications”*. Rev. D. 24 de Febrero de 2005.

[25] HD Radio. *“HD Radio TM Air Interface Design Description – Layer 1 AM”*. 22 de Marzo de 2005.

[26] Steven A. Johnson. ***“The Structure and generation and robust waveforms for AM In Band On Channel digital broadcasting”***. Disponible en: <http://www.ibequity.com>. Agosto de 2010.

[27] iBiquity Digital Corporation. ***“IBOC AM Transmission Specification”***. Noviembre de 2001.

[28] HD Radio. ***“HD Radio TM Air Interface Design Description – Layer 1 FM”***. 22 de Marzo de 2005.

[29] Stefan Meltzer, Gerald Moser. ***“MPEG-4 HE-AAC v2 — audio coding for today's digital media world. EBU”***. Technical Review N°305. Enero 2006.

[30] ANATEL. ***“Guía para la Evaluación del Sistema de Radio Digital DRM en la banda de Onda Media”***. Octubre 2010. Disponible en <http://www.anatel.gov.br/>.

[31] UIT. ITU-R BS.1248-1. ***“Métodos Generales para la Evaluación Subjetiva de la Calidad del Sonido”***. 2003

[32] UIT. ITU-R BS.1284-1. ***“Métodos generales para la evaluación subjetiva de la calidad de sonido”***. 2003

[33] UIT. ITU-R, Document 6E/403-E, ***“Digital Radio Mondiale (DRM): MW Simulcast Tests in México D.F.”***. Agosto 2006.