



CAPÍTULO V. ANÁLISIS Y METODOLOGÍA EMPLEADA

Para el proyecto de adopción de radio digital en Brasil, dos de los factores fundamentales fueron la organización y el trabajo en equipo. Principalmente colaboraron 2 países: Brasil y México. Cabe mencionar que otros países también estuvieron involucrados como España, que proporcionó parte del software utilizado para procesar los datos; Alemania también colaboró enviando gran parte del equipo utilizado para realizar las pruebas en Brasil, al igual que Canadá, propietario del Transmisor utilizado para las pruebas de Itatiaia; e Italia, el cual dio consejos para realizar la instalación.

5.1 Metodología del trabajo realizado en Brasil

En Brasil, un equipo de trabajo realizó pruebas en la banda de FM para cada una de las campañas que pretendían llevarse a cabo a partir de las radiodifusoras existentes. En esas pruebas se tomaron en cuenta ciertas características para la transmisión: Potencia de transmisión, ganancia y tipo de antena utilizada para la transmisión de DRM+, niveles de protección para los modos de transmisión, entre otras. Algunas consideraciones para la recepción fueron: posición de los puntos para recepción fija, velocidad del vehículo para recepción en movimiento, así como la planeación de las rutas y tipo de antena receptora, etc.

La tecnología de DRM+ permite usar modulaciones con algunos parámetros para adecuar la señal a diferentes usos. Es por ello que en las pruebas realizadas se utilizaron 2 modos de transmisión: 4QAM y 16QAM, los cuales usan el mismo tipo de modulación (COFDM) pero con diferentes parámetros de transmisión como lo son los niveles de protección.

Se considera un modo de transmisión al conjunto de parámetros configurables que definen la modulación de la señal DRM.



La transmisión se realizó en modo combinado utilizando el método “In Air” para combinar las señales de FM y de DRM+. Este método se basa en separar los sistemas de transmisión tanto el de FM como el de DRM+ y usar diferentes antenas. Las dos antenas deben estar en el mismo mástil y tener un patrón de radiación similar para conservar la relación de amplitudes entre las señales analógica y digital.

Otras consideraciones para utilizar el método “In Air” son tener la mayor cantidad de condiciones similares de transmisión en el área de cobertura entre la analógica y digital, y un aislamiento grande entre las antenas.

Para las pruebas de la campaña de Itatiaia, las frecuencias de las señales analógica y digital fueron 95.7 MHz y 95.5 MHz respectivamente, por lo que la separación en frecuencia entre las dos señales era de 200 kHz. Las potencias utilizadas fueron de 500 W para la transmisión de DRM+ (potencia nominal del transmisor 3 kW) y de 19.9 kW para la transmisión analógica de FM (potencia nominal del transmisor 30 kW) y la estación transmisora se ubicó en la Ciudad de Belo Horizonte/Mina Gerais donde el diseño de colocación de las antenas fue para cubrir la dirección Noreste.

La antena para la señal de FM es una SHPX-2AC con una ganancia de 2.13 dBi y para DRM+ se utilizó el modelo MT-FMC2 con ganancia de 1.24 dBi. Ambas son antenas cicloides de 2 elementos, con polarización circular y patrón de radiación omnidireccional.

Para la campaña de UFMG las frecuencias utilizadas para las señales analógica y digital fueron 104.5 MHz y 104.3 MHz respectivamente. Se utilizaron potencias de transmisión de 70 W para la transmisión digital y 1.5 kW para la transmisión analógica.

La antena que se ocupó para FM tenía 2 elementos y su ganancia era de 0 dBi, y la antena para DRM+ sólo tenía un elemento, por lo que la ganancia era menor que la obtenida en FM, resultando de -1.3 dBi; ambas con patrón de radiación omnidireccional.

Para las pruebas de Tv Cultura se utilizó la frecuencia de 103.1 MHz para transmitir la señal de DRM+, y para la señal de FM la frecuencia fue de 103.3 MHz. Las potencias de transmisión de FM y de DRM+ son de 28 kW y 3 kW, respectivamente.

El arreglo de antenas utilizado para FM analógica fue una XTH 6BC con 6 elementos, con una ganancia de 5.19 dBd. El modelo de la antena para DRM+ fue MT FM A-02 la cual tiene 2 elementos, con una ganancia de -0.06 dBd. Ambas antenas son de polarización circular y con un patrón de radiación omnidireccional.

El diagrama del transmisor, el cual está compuesto por el generador de audio, el transmisor analógico, el transmisor digital y las antenas para FM y para DRM+, es el siguiente:

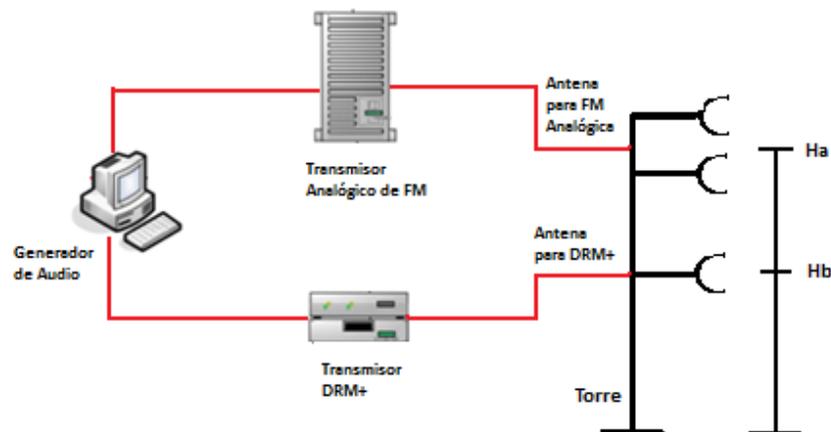


Figura 5.1. Diagrama de bloques del transmisor.

La información codificada resultante es transportada mediante la modulación COFDM por el cual los datos codificados son distribuidos sobre muchas subportadoras de transmisión. Cada subportadora es modulada en QAM donde la información digital está contenida tanto en la amplitud como en la fase de la portadora transmitida.

Cada una de las pruebas en la banda de FM se llevó a cabo en 2 diferentes tipos de rutas: radiales y circulares. Las rutas radiales están diseñadas para evaluar los límites de cobertura



de la transmisión, en otras palabras, el alcance de la señal; y las rutas circulares son diseñadas para evaluar la robustez de la recepción en diferentes entornos.

Por otro lado, las rutas radiales dividen a la ciudad formando una cruz a partir del punto de transmisión, siendo usualmente los puntos cardinales las direcciones de las mismas y quedando las rutas circulares dentro de los cuadrantes que forman las rutas radiales.

Además, cada una de las pruebas se realizó en 2 diferentes tipos de mediciones: recepción fija y recepción en movimiento. Dentro de la recepción fija se realizó una medición de referencia que se hacía antes de empezar con alguna ruta y siempre en el mismo punto a una distancia corta del transmisor.

El propósito de estas mediciones es detectar algún problema con la recepción de señal o con el equipo en general. Así teniendo mediciones del mismo lugar y cerca del transmisor se esperan ciertos comportamientos de la señal y si éstos no son los esperados es que algo falla en el sistema, en el transmisor o en el receptor. Por tanto, los puntos de referencia son medidas de control que sirven para validar otras medidas, pero que no sirven para realizar algún estudio.

Las mediciones en puntos fijos se caracterizan por realizarse, como su nombre lo indica, cuando el vehículo se detiene por completo y toma muestras de la señal transmitida para saber el comportamiento en situaciones donde se quiera tener un receptor que no necesite estar en constante moviendo (casa, oficina, etc.).

Las mediciones en movimiento usualmente se hacen en el trayecto de una ruta que se forma entre dos puntos fijos. Después de hacer una medición fija, cuando el vehículo se pone en movimiento para trasladarse al siguiente punto fijo, se toman mediciones durante el trayecto. Dichas pruebas tienen el propósito de dar una idea de cómo se comportaría la señal en un receptor de radio de un vehículo o en un dispositivo móvil, como un celular en movimiento.



Se utilizaron 2 modos de transmisión, uno robusto basado en una constelación de 4QAM y otro con una capacidad mayor de tasa de bits basado en una constelación de 16QAM; las cuales tienen diferentes niveles de protección.

Los parámetros de los modos de transmisión y de codificación de audio usados en cada una de las campañas de mediciones fueron los que se muestran en las siguientes tablas:

Nombre	Modo de Robustez OFDM	Ancho de banda	Mod. MSC	Mod. SDC	MSC Code Rate	SDC Code Rate	Tasa de bits usada (kbps)	Tasa de bits máxima (kbps)	Audio
4QAM	E	100 kHz	4-QAM	4-QAM	0.5	0.5	70,1	74	Stereo
16QAM	E	100 kHz	16-QAM	4-QAM	0.62	0.5	90,1	186	5.1

Tabla 5.1. Modos de transmisión utilizados en la campaña de UFMG

Nombre	Modo de Robustez OFDM	Ancho de banda	Modulación MSC	Modulación SDC	MSC Code Rate	SDC Code Rate	Tasa de bits (kbps)	Audio
4QAM	E	100 kHz	4-QAM	4-QAM	0.33	0.25	49.7	Stereo
16QAM	E	100 kHz	16-QAM	4-QAM	0.5	0.25	103	Stereo

Tabla 5.2. Modos de transmisión utilizados en la campaña de Itatiaia

Nombre	Modo de Robustez OFDM	Ancho de banda	Modulación MSC	Modulación SDC	MSC Code Rate	SDC Code Rate	Tasa de bits (kbps)	Audio
4QAM	E	100 kHz	4-QAM	4-QAM	0.25	0.25	49.7	Stereo
16QAM	E	100 kHz	16-QAM	4-QAM	0.41	0.5	149.1	5.1

Tabla 5.3. Modos de transmisión utilizados en la campaña de Tv Cultura

Esas configuraciones fueron elegidas dependiendo del área de cobertura que se deseaba obtener y para que la calidad de audio fuera equivalente o mejor a la que actualmente se tiene con FM en Brasil. Esa variedad de configuraciones permite además adaptar la señal a diferentes condiciones de propagación, las cuales pueden variar en función del tiempo dependiendo de la banda de frecuencia o del entorno de propagación.



Los modos de transmisión para Tv Cultura son más robustos que los seleccionados para Itatiaia y para UFMG, debido al difícil entorno de propagación en Sao Paulo.

Cuanto más robusta sea la configuración, menor será la tasa de bits disponible para la transmisión de audio y de datos, consecuentemente será menor la calidad de audio transmitida.

En el caso particular de la campaña de UFMG se utilizaron 2 antenas para recepción: una antena monopolo Kathrein y una antena bicónica. La antena bicónica se usó como referencia y para calibrar la antena monopolo. Para Itatiaia y Tv Cultura sólo se utilizó la antena monopolo.

En cada punto de medición se midió la señal recibida a través de la antena receptora conectada al analizador de espectros y al receptor de DRM+. Esta conexión se realizó alternadamente para las campañas de UFMG y Tv Cultura mediante un conmutador (switch); para la campaña de Itatiaia se utilizó un divisor de potencia (splitter).

De esa recepción se obtuvo el espectro de la señal híbrida, la cual consiste de una señal de FM analógica y una señal digital de DRM+ donde ambas tienen el mismo programa de audio.

También se obtuvo el valor de AQ, de SNR, la duración del recorrido, así como la posición (coordenadas del punto) proporcionada por el Sistema GPS, archivos de audio con una muestra de las mediciones tomadas, fotografías del lugar donde se hizo la medición, impresiones de pantalla tanto del aditamento al sistema de medición como de la pantalla del receptor de DRM, para observar las constelaciones de la señal recibida, y una bitácora con observaciones del lugar y de la medición.

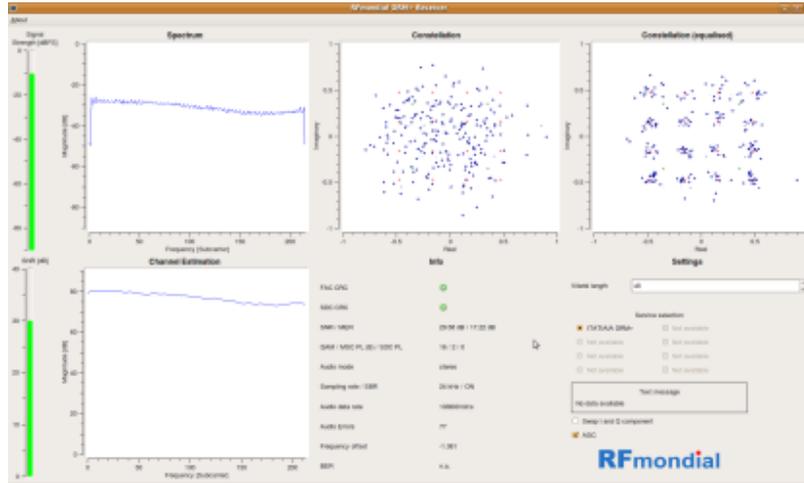


Figura 5.2 Ejemplo de una pantalla del receptor DRM

Los equipos utilizados para la recepción son: antena para DRM+, antena para FM, Analizador de espectros, receptor DRM+, receptor FM y GPS, básicamente.

Se utilizaron 2 computadoras, en una se grabaron los datos que contienen la calidad de audio, SNR y el espectro de las señales; y en la otra computadora se grabaron los contenidos de audio obtenidos durante las mediciones.

El diagrama de conexión de los equipos utilizados es el siguiente:

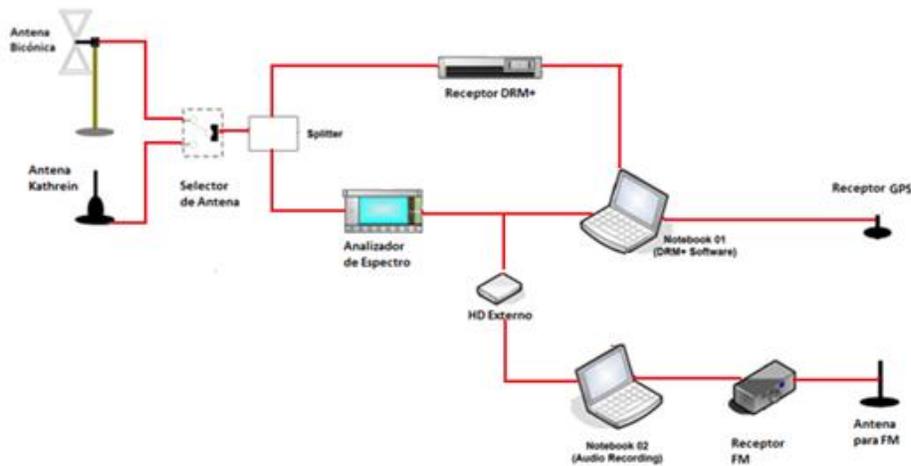


Figura 5.3. Diagrama de bloques del equipamiento de medidas.



5.2 Metodología del trabajo realizado en México

En México, se creó un grupo de trabajo del cual tuvimos la oportunidad de formar parte, coordinado por el Dr. José María Matías que a su vez es responsable del análisis de datos de este proyecto en Brasil. Ese grupo fue el encargado de procesar toda la información enviada desde Brasil con ayuda de herramientas de SW, de analizar los resultados de las mediciones y presentarlos en informes que serían enviados a ANATEL de Brasil y a la UIT.

Ese grupo de trabajo se dividió en equipos más pequeños para desarrollar diferentes partes del proyecto. Uno de los equipos fue el encargado de modificar e integrar programas de SW para obtener los resultados enviados desde Brasil de las pruebas realizadas en cada una de las campañas de mediciones junto con los umbrales de recepción y áreas de cobertura. Además, estaba encargado de analizar las características de la señal híbrida (señales de FM y DRM+) recibida de la transmisión conjunta (analógica y digital simultáneamente) para obtener el Campo Eléctrico.

Otro equipo integró programas de SW para elaborar archivos KML y modificarlos en Google Earth para ubicar cada uno de los puntos que formaban parte de las rutas creadas para la recepción fija y en movimiento, en esos archivos también se puede observar de forma más sencilla el alcance de la señal, es decir, el área de cobertura, y la calidad de audio (AQ), la cual es el porcentaje de tramas de audio correctamente recibidas, así como su nivel de SNR.

Los criterios para clasificar el AQ en la recepción de señal digital son:

- ✓ $AQ \geq 98\%$: Recepción Buena
- ✓ $90\% \leq AQ < 98\%$: Recepción Regular
- ✓ $AQ < 90\%$: Recepción Mala



El procedimiento utilizado será descrito de manera detallada en el siguiente capítulo, en el cual se explicarán todas las actividades que se realizaron, así como las dificultades durante el proceso y las modificaciones en la metodología, incluyendo las decisiones tomadas para solucionar los problemas presentados durante el desarrollo del proyecto.

Cabe destacar que el desarrollo será escrito en orden metodológico para comprender de una manera más sencilla todas las actividades realizadas y para que exista una continuidad en el avance del proyecto. El desarrollo no será escrito en orden cronológico ya que todos los datos de las pruebas no fueron enviados al mismo tiempo y en algunas ocasiones se tuvieron que analizar los resultados de 2 campañas al mismo tiempo.

Además, durante todo el proyecto se realizaron continuas modificaciones a las aplicaciones realizadas en Matlab ya que se tenían problemas al momento de leer la información de los archivos .dump o porque no habíamos considerado algunos errores que podrían existir en nuestra metodología.