

Análisis de la Viabilidad Técnica para la Implementación del Estándar DRM de Radiodifusión Sonora en Colombia.



ANEXO 1

**IVÁN DARIO GUERRERO GUERRERO
JHON EDWIN ORDOÑEZ**

Universidad del Cauca

**Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Telecomunicaciones
Grupo I+D Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones – GNTT
Gestión Integrada de Redes, Servicios y Arquitecturas de
Telecomunicaciones
Popayán, Febrero 2011**

TABLA DE CONTENIDO

ANEXO1 – CARACTERISTICAS, PRUEBAS Y REQUERIMIENTOS TECNICOS DEL ESTANDAR DRM.....	1
1. Modulación jerárquica	1
2. Tasas de codificación del sistema.....	1
3. Capacidad de Transmisión	2
4. Relaciones de Señal a Ruido(S/N, Signal to Noise) requeridos en DRM.....	3
5. Tipos de Ocupación del Espectro	6
6. Pruebas Realizadas en México para la Cobertura Local DRM Utilizando la Banda de Radiodifusión de 26 MHz.....	6
7. Pruebas Realizadas en Brasil Utilizando el Sistema DRM en la Banda de 26 MHz para la Radiodifusión Local.....	16
8. Pruebas Realizadas en Madrid con el sistema DRM utilizando la Banda de Onda Media (2007)	22
9. Transmisor de estado sólido- Adema	32
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema Utilizado en la Medición.....	8
Figura 2. Perfil del Terreno.....	10
Figura 3. Puntos de Recepción Fija Utilizando el Modo 18K_B/16/4/0,5.....	11
Figura 4. Valores Obtenidos de SNR y Intensidad de Campo vs Calidad de Audio.....	11
Figura 5. Efecto de la Variabilidad en la Intensidad de Campo	12
Figura 6. Sistema de Medición Utilizado.....	17
Figura 7. Resultados Obtenidos con Respecto a la Intensidad de Campo y Calidad de Audio.....	19
Figura 8. Valores Obtenidos de MER y Calidad de Audio.....	19
Figura 9. Calidad de Audio Durante la Ruta Arqueada	20
Figura 10. Calidad de Audio en la Ruta Radial	21
Figura 11. Tramas de Audio con Error vs Intensidad de Campo.....	22
Figura 12. Tramas de Audio Recibidas con Error vs MER.....	22
Figura 13. Equipo de Medición Utilizado.....	23
Figura 14. Campo Eléctrico vs SNR.....	25
Figura 15. Ruido Presente en las Pruebas en la Zona de Salamanca	26
Figura 16. Variación en la Calidad de Audio Obtenida por el Receptor al Disminuir la Potencia de Transmisión	28
Figura 17. Cobertura Proporcionada por una Potencia DRM de 0,25 KW	31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tasas de Codificación para el MSC con 16-QAM.....	1
Tabla 2. Tasas de Codificación para el MSC con 64-QAM.....	2
Tabla 3. Tasa de Codificación para el FAC con 4-QAM.....	2
Tabla 4. Tasa de Codificación para el SDC con 16-QAM.....	2
Tabla 5. Tasa de Codificación para el SDC con 4-QAM.....	2
Tabla 6. Velocidad de transmisión de Datos para el MSC con Tasa de Codificación, Esquema de Modulación QAM, Ancho de Banda, EEP y SM.....	3
Tabla 7. Relación S/N (dB) en el Modo de Robustez B para Alcanzar una BER de 10^{-4} , con un Ancho de Banda de 5 KHz y 10 KHz , Esquema de Modulación y Nivel de Protección para los Modelos de Canal No. 3 al 6.....	4
Tabla 8. Relación S/N (dB) en el Modo de Robustez C para Alcanzar una BER de 10^{-4} , con un Ancho de Banda de 10 KHz , Esquema de Modulación y Nivel de Protección para los Modelos de Canal No. 3 al 6.....	4
Tabla 9. Relación S/N (dB) en el Modo de Robustez D para Alcanzar una BER de 10^{-4} , con un Ancho de Banda de 10 KHz , Esquema de Modulación y Nivel de Protección para los Modelos de Canal No. 3 al 6.....	5
Tabla 10. Relación S/N (dB) en los Modos DRM para Alcanzar una BER de 10^{-4} , con un Ancho de Banda de 4,5 KHz, a 10 KHz, Esquema de Modulación y Nivel de Protección para el Modelo de Canal No. 1.....	5
Tabla 11. Relación S/N (dB) en los Modos de Robustez A y B para Alcanzar una BER de 10^{-4} , con un Ancho de Banda de 4,5 KHz a 10 KHz, Esquema de Modulación y Nivel de Protección para el Modelo de Canal No. 2.....	6
Tabla 12. Tipos de ocupación del espectro para los diferentes anchos de banda.....	6
Tabla 13. Modos de Transmisión con su Correspondiente Velocidad de Transmisión de Datos.....	7
Tabla 14. Rutas Medidas.....	9
Tabla 15. Relación de los Puntos Medidos con la Intensidad de Campo y el Ruido Obtenidos.....	11
Tabla 16. Resultados obtenidos con los diferentes modos propuestos.....	13
Tabla 17. Distancia, Intensidad de Campo, Variabilidad del Campo y el Ruido en los Diferentes Entornos.....	14
Tabla 18. Efectos del tráfico en la recepción de señales (18K_B/16/4/0,5).....	14
Tabla 19. Distintas Potencias y Coberturas Alcanzadas en la Recepción Móvil.....	15
Tabla 20. Modos de Transmisión con su Correspondiente Velocidad de transmisión de Datos Máxima.....	17
Tabla 21. Número de rutas utilizadas con su correspondiente descripción.....	18
Tabla 22. Modos de Transmisión Utilizado con su Respectiva Velocidad de transmisión de Datos.....	23
Tabla 23. Principales Características de las Zonas medidas.....	24
Tabla 24. Valores de Ruido Radioeléctrico Obtenidos en las Zonas Medidas.....	25
Tabla 25. Principales Características de los Zonas Medidas en Interiores.....	26
Tabla 26. Resultados de los Parámetros más importantes Medidos en las Pruebas.....	27
Tabla 27. Diversas Potencias con sus Respectivas Relaciones.....	28

Tabla 28. Características de las Zonas Medidas para <i>Simulcast</i>	29
Tabla 29. Valores Obtenidos en la Calidad AM con Potencia de 10 KW	30
Tabla 30. Valores Obtenidos en la Calidad DRM con Potencia de 10 KW.....	30
Tabla 31. Puntos que no Cumplieron con la Calidad de Audio Objetiva en DRM	30
Tabla 32. Valores Obtenidos en Recepción móvil Utilizando una Potencia DRM de 0,25 KW	32

ANEXO1 – CARACTERISTICAS, PRUEBAS Y REQUERIMIENTOS TECNICOS DEL ESTANDAR DRM

1. Modulación jerárquica

Los sistemas que se fundamentan en la modulación jerárquica permiten la transmisión en un único flujo de un solo canal, dos flujos distintos de datos catalogados: uno como de alta prioridad y el otro de baja prioridad los cuales se los denomina Parte de Protección Estándar (SPP, *Standard Protected Part*) y Parte Fuertemente Protegida (VSPP, *Strongly Protected Part*), con el propósito de dar a una sector de la información una mejor protección. El sistema es aplicable al canal de servicio principal de DRM utilizando las siguientes estrategias de mapeo [1]:

- Mapeo Estandar (SM, *Standard Mapping*). Define dentro de una trama multiplex dos niveles de protección correspondientes a L1 para la parte de mayor protección y L2 para la de menor protección.
- Mapeo Jerárquico Simétrico (HMsym, *Symmetrical Hierarchical Mapping*). Define el mismo mecanismo que el SM, pero introduciendo el VSPP que representa un flujo de datos más robustos de alta prioridad (LVSP) [1].
- Mapeo Jerárquico Mixto (HMmix, *Mixed Hierarchical Mapping*). Realiza lo mismo que el HMsym con la diferencia de que al partir la información los flujos resultantes son sub-divididos en dos sub-flujos que luego se codifican de manera independiente, logrando darle a este método la catalogación de ser el más robusto del sistema DRM [1].

De los anteriores tres métodos de muestreo solo el SM se aplica a los canales FAC y SDC [1].

2. Tasas de codificación del sistema

El sistema DRM maneja ciertas tasas de codificación para el proceso de codificación multinivel de acuerdo al nivel de protección de cada uno de los canales. Estos niveles de protección se asocian al hecho de codificar flujos independientes a través de codificadores convolucionales que introducen redundancia en la señal. A continuación se dan las diferentes tasas de codificación para cada canal DRM:

- Tasas de codificación para MSC:

Las tasas de codificación utilizadas para la codificación de este canal se designan según la constelación que emplea (16-QAM, 64-QAM) tal como se indican en las tablas 1 y 2, en donde con 16-QAM se proporciona un funcionamiento más robusto que 64-QAM el cual aporta una mayor eficiencia espectral [1].

Tabla 1. Tasas de Codificación para el MSC con 16-QAM [1]

Nivel de Protección	Tasa de Codificación
0	0,5
1	0,62

Tabla 2. Tasas de Codificación para el MSC con 64-QAM [1]

Nivel de protección	Tasa de Codificación
0	0,5
1	0,6
2	0,71
3	0,78

- Tasas de codificación para FAC:

Este canal solo utiliza una tasa de codificación para una constelación de 4-QAM representando una mayor robustez frente a errores [1], tal como se muestra en la tabla 3:

Tabla 3. Tasa de Codificación para el FAC con 4-QAM [1]

Tasa de Codificación	Constelación QAM
0,6	4

- Tasas de codificación para SDC:

La tasa de codificación usada por este canal para su codificación con una constelación de 4-QAM y otra de 16-QAM se indica en la tabla 4 y 5, en donde la constelación de 16-QAM provee una mayor capacidad en comparación con la de 4-QAM que proporciona mejor robustez frente a errores [1].

Tabla 4. Tasa de Codificación para el SDC con 16-QAM [1]

Tasa de Codificación	Constelación QAM
0,5	16

Tabla 5. Tasa de Codificación para el SDC con 4-QAM [1]

Tasa de Codificación	Constelación QAM
0,5	4

Se puede denotar que entre más cercana este a cero la tasa de codificación mayor seguridad habrá, con la salvedad que se tendrá un menor desempeño es decir una menor eficiencia en el proceso de transmisión.

En cuanto a la constelación utilizada entre más alto sea el número de estados mayor capacidad se tendrá pero así mismo habrá una menor robustez frente a errores en la correspondiente transmisión, debido a que existirá una menor característica de protección frente a errores.

3. Capacidad de Transmisión

En las tabla 6 se da la velocidad de transmisión de datos disponible, que depende del ancho de banda de la señal, del modo y la tasa de codificación de corrección de errores.

Tabla 6. Velocidad de transmisión de Datos para el MSC con Tasa de Codificación, Esquema de Modulación QAM, Ancho de Banda, EEP y SM [2]

Modo	MSC/Esq-Modulación	Tasa de codificación	Capacidad útil (Velocidad de transmisión de datos-Kbps)					
			Ancho de banda (KHz)					
			4,5	5	9	10	18	20
A	64	Max=0,5	9,4	10,6	19,7	22,1	40,9	45,8
		Min=0,78	14,7	16,7	30,9	34,8	64,3	72,0
	16	Max=0,5	6,3	7,1	13,1	14,8	27,3	30,6
		Min=0,62	7,8	8,9	16,4	18,5	34,1	38,2
B	64	Max=0,5	7,2	8,3	15,3	17,5	31,8	35,8
		Min=0,78	11,3	13,0	24,1	27,5	50,0	56,1
	16	Max=0,5	4,8	5,5	10,2	11,7	21,2	23,8
		Min=0,62	6,0	6,9	12,8	14,6	26,5	29,8
C	64	Max=0,5	No se utiliza			13,8	No se utiliza	29,0
		Min=0,78				21,6		45,5
	16	Max=0,5				9,2		19,3
		Min=0,62				11,5		24,1
D	64	Max=0,5				9,2		19,5
		Min=0,78				14,4		30,6
	16	Max=0,5				6,1		13,0
		Min=0,62				7,6		16,3

4. Relaciones de Señal a Ruido(S/N, Signal to Noise) requeridos en DRM

Para transmitir un programa de audio digital con una alta calidad a través de DRM, se necesita que la BER sea de 10^{-4} . Según las condiciones de propagación se dan valores de S/N requeridas para alcanzar esta BER que fueron obtenidas por medio de pruebas con equipos desarrollados por DRM y teniendo en cuenta la publicación sobre las especificaciones DRM conocida como TS 101 980.

A continuación se hace referencia a los valores de S/N para la banda de frecuencia SW y MW, materia de investigación, pero antes se conocerá los modelos de transmisión de canal utilizados para evaluar la operación del sistema (BS-1615).

- Modelo de canal No. 1: Representa el comportamiento típico de un canal de transmisión con propagación de onda terrestre durante el día en las bandas LW y MW.
- Modelo de canal No. 2: Representa un modelo de propagación para la banda MW durante la noche incluyendo una onda ionosferica retrasada además de la onda terrestre.
- Modelo de canal No. 3, 4, 5 y 6: Canales con fuerte comportamiento selectivo en tiempo y/o frecuencia. Se adaptan para las bandas SW.
- Modelo de canal No. 5: Canal donde el desvanecimiento rápido en los dos caminos es dominante.

- Modelo de canal No. 6: Canal con extremadamente largos caminos de retardos y dispersión Doppler, que es un ejemplo típico para la propagación tropical de Incidencia Vertical Cercana (NVI, Near Vertical Incidence) de onda de cielo.

En las siguientes tablas 7, 8 y 9 se indican los valores de S/N para los modelos de canal No. 3 al 6 (para la banda SW).

En la tabla 7 se muestra los resultados de S/N para el modo de robustez B con un ancho de banda de 5 KHz y 10 KHz.

Tabla 7. Relación S/N (dB) en el Modo de Robustez B para Alcanzar una BER de 10^{-4} , con un Ancho de Banda de 5 KHz y 10 KHz , Esquema de Modulación y Nivel de Protección para los Modelos de Canal No. 3 al 6 [3]

Ancho de banda (KHz)	Esquema de modulación (QAM)	Nivel de protección	Tasa de codificación	Modelo del canal NO.			
				3	4	5	6
5	16	0	0,5	18,3	16,2	14,7	-
		1	0,62	21,1	19,3	18,0	-
	64	0	0,5	23,8	21,5	20,6	-
		1	0,6	25,9	23,7	23,2	-
		2	0,71	29,0 ⁽¹⁾	27,0 ⁽¹⁾	29,4 ⁽¹⁾	-
		3	0,78	31,2 ⁽¹⁾	30,0 ⁽¹⁾	-	-
10	16	0	0,5	18,0	16,0	14,6	-
		1	0,62	20,8	19,0	17,7	-
	64	0	0,5	23,3	21,3	20,1	-
		1	0,6	25,4	23,5	22,7	-
		2	0,71	28,3 ⁽¹⁾	26,8 ⁽¹⁾	27,0 ⁽¹⁾	-
		3	0,78	30,9 ⁽¹⁾	29,7 ⁽¹⁾	-	-

(1) Niveles de protección no recomendados para utilizarlos en condiciones de propagación SW con desvanecimiento severo selectivo en tiempo y frecuencia [3].

En la tabla 8 se plasma los valores obtenidos de S/N para el modo de robustez C con un ancho de banda de 10 KHz.

Tabla 8. Relación S/N (dB) en el Modo de Robustez C para Alcanzar una BER de 10^{-4} , con un Ancho de Banda de 10 KHz , Esquema de Modulación y Nivel de Protección para los Modelos de Canal No. 3 al 6 [3]

Ancho de banda (KHz)	Esquema de modulación (QAM)	Nivel de protección	Tasa de codificación	Modelo del canal NO.			
				3	4	5	6
10	16	0	0,5	18,0	16,5	14,6	-
		1	0,62	20,9	19,1	17,6	-
	64	0	0,5	23,6	21,3	20,2	-
		1	0,6	25,6	23,7	22,3	-
		2	0,71	29,0 ⁽¹⁾	26,8 ⁽¹⁾	26,4 ⁽¹⁾	-
		3	0,78	32,3 ⁽¹⁾	29,6 ⁽¹⁾	33,3 ⁽¹⁾	-

(1) Niveles de protección no recomendados para utilizarlos en condiciones de propagación SW con desvanecimiento severo selectivo en tiempo y frecuencia [3].

La tabla 9 indica que el modo robusto D es aplicable para aquellos canales con retardos de trayecto extremadamente prolongados y dispersión Doppler, tal como se expresó para el modelo de canal NO. 6. Los resultados de S/N fueron para un ancho de banda de 10 KHz.

Tabla 9. Relación S/N (dB) en el Modo de Robustez D para Alcanzar una BER de 10^{-4} , con un Ancho de Banda de 10 KHz, Esquema de Modulación y Nivel de Protección para los Modelos de Canal No. 3 al 6 [3]

Ancho de banda (KHz)	Esquema de modulación (QAM)	Nivel de protección	Tasa de codificación	Modelo del canal NO.			
				3	4	5	6
10	16	0	0,5	18,5	16,9	15,3	16,0
		1	0,62	21,2	19,9	18,3	19,2
	64	0	0,5	24,2	22,2	20,8	22,1
		1	0,6	26,3	24,5	22,9	25,2
		2	0,71	29,2 ⁽¹⁾	27,6 ⁽¹⁾	27,2 ⁽¹⁾	29,3 ⁽¹⁾
		3	0,78	32,1 ⁽¹⁾	31,7 ⁽¹⁾	35,5 ⁽¹⁾	32,5 ⁽¹⁾

(1) Niveles de protección no recomendados para utilizarlos en condiciones de propagación SW con desvanecimiento severo selectivo en tiempo y frecuencia [3].

En las siguientes tablas 10 y 11 se indican los valores de S/N para los modelos de canal No. 1 al 2 (en la banda MW).

La tabla 10 se presenta los resultados de S/N para los modos de robustez DRM con un ancho de banda de 4,5 KHz a 10 KHz.

Tabla 10. Relación S/N (dB) en los Modos DRM para Alcanzar una BER de 10^{-4} , con un Ancho de Banda de 4,5 KHz, a 10 KHz, Esquema de Modulación y Nivel de Protección para el Modelo de Canal No. 1 [3]

Esquema de modulación (QAM)	Nivel de protección	Tasa de codificación	Modo de robustez – Ancho de banda (KHz)					
			A		B		C	D
			4,5	9	5	10	10	10
16	0	0,5	8,8	8,6	9,5	9,3	9,6	10,2
	1	0,62	10,9	10,7	11,5	11,3	11,6	12,1
64	0	0,5	14,3	14,1	14,9	14,7	15,1	15,9
	1	0,6	15,8	15,3	16,2	15,9	16,3	17,2
	2	0,71	17,5	17,1	17,9	17,7	18,1	19,1
	3	0,78	19,2	18,7	19,5	19,3	19,7	21,4

Se considera el modo de robustez A como el más adecuado cuando se utiliza la propagación por onda terrestre ya que permite una velocidad de transmisión de datos más elevada en comparación con los otros modos.

La tabla 11 muestra los valores de S/N recomendados cuando se utiliza el modelo de canal No. 2.

Tabla 11. Relación S/N (dB) en los Modos de Robustez A y B para Alcanzar una BER de 10^{-4} , con un Ancho de Banda de 4,5 KHz a 10 KHz, Esquema de Modulación y Nivel de Protección para el Modelo de Canal No. 2 [3]

Esquema de modulación (QAM)	Nivel de protección	Tasa de codificación	Modo de robustez – Ancho de banda (KHz)			
			A		B	
			4,5	9	5	10
16	0	0,5	9,8	9,4	10,3	10,2
	1	0,62	12,7	12,5	13,2	13,1
64	0	0,5	15,2	14,9	15,8	15,6
	1	0,6	16,6	16,3	17,3	16,9
	2	0,71	19,7	19,2	20,4	19,7
	3	0,78	22,9	22,0	22,8	22,3

5. Tipos de Ocupación del Espectro

En los diversos modos de robustez, el ancho de banda de la señal puede variar en función de la banda y de la aplicación requerida. En la tabla 12 se observa los tipos de ocupación del espectro.

Tabla 12. Tipos de ocupación del espectro para los diferentes anchos de banda [3]

Modo de Robustez	Tipos de ocupación del espectro			
	0	1	2	3
A	4,208	4,708	8,542	9,542
B	4,266	4,828	8,578	9,703
C	-	-	-	9,477
D	-	-	-	9,536
Ancho de banda nominal (KHz)	4,5	5	9	10

Los anchos de banda de la última fila corresponden a los tipos de ocupación del espectro, y los demás valores de las filas son los valores exactos de la señal para los diferentes modos de robustez.

6. Pruebas Realizadas en México para la Cobertura Local DRM Utilizando la Banda de Radiodifusión de 26 MHz

En seguida se presenta a nivel general uno de los primeros estudios de campo logrados en México (en el año 2005) utilizando el sistema DRM, empleando la banda de 26 MHz para la radiodifusión local. Su principal objetivo fue probar que al utilizar esta banda se puede cubrir un área local de forma similar a la radiodifusión de FM. El mecanismo de propagación utilizado para este fin fue la troposfera [4].

Para tener una visión global de este estudio se lo clasifica con los siguientes ítems y sus correspondientes características:

- Objetivos
 - Obtener la mínima intensidad de campo y la relación de S/N para alcanzar una correcta recepción.

- Obtener la potencia necesaria para cubrir ciudad de México.
- Mirar la influencia de diferentes entornos en la recepción de la señal DRM.
- Sistema de transmisión experimental
 - El centro de transmisión fue localizado en Santa Fe, en una zona montañosa a 16 Km del centro de la ciudad, ubicado a 300 m sobre la altura promedio de esta [4].
 - La frecuencia de referencia de la señal fue de 25,620 MHz [4].
 - El transmisor DRM fue situado a las afuera de la ciudad con una potencia promedio de 200 W [4].
 - Se utilizó una antena denominada Yagi-Uda de polarización vertical con tres elementos directivos, instalada en una torre que apunta al centro de la ciudad a unos 45° al noroeste del centro de transmisión [4].
 - El ancho de banda fue de 18 KHz debido al sistema adquirido [4].
 - La ganancia de la antena fue de 7dBi. Su lóbulo principal era lo suficientemente amplio como para garantizar que la variación de ganancia en el área de medición fuera insignificante [4].
- Modos de transmisión DRM
 - Se utilizaron los modos de transmisión A y B ya que estos demuestran robustez frente al dispersión Doppler presente en el área de cobertura bajo prueba. Por lo tanto como se muestra en la tabla 13 se usaron varias combinaciones de parámetros con los modos OFDM.

Tabla 13. Modos de Transmisión con su Correspondiente Velocidad de Transmisión de Datos [4]

Modos de Robustez	Ancho de banda (KHz)	MSC (QAM)	SDC (QAM)	Tasa de codificación	Velocidad de transmisión de datos (Kbps)
A	18	64	16	0,6	48,64
B	18	64	16	0,6	38,18
B	18	16	4	0,5	21,20
B	10	16	4	0,5	11,64

- Los modos A y B con 18 KHz y 10 KHz se eligieron con el fin de analizar el comportamiento de otros parámetros de DRM.
- La velocidad de transmisión de datos proporcionada por el modo B (tercera fila de la tabla 14) de 21,20 Kbps es suficientemente alta para permitir una transmisión de audio con sonido estéreo [4].
- Los modos que presentaron la mayor velocidad de transmisión de datos (Fila uno y dos) utilizaron la clase de codificador de fuente AAC, en cambio el modo que

obtuvo menor velocidad de transmisión de datos uso el esquema de codificador CELP [4].

– El modo más utilizado fue el de la tercera fila de la tabla 14.

➤ Sistema de medición

– Se utilizó una furgoneta modificada totalmente equipada como se indica en la figura 1, constituida por:

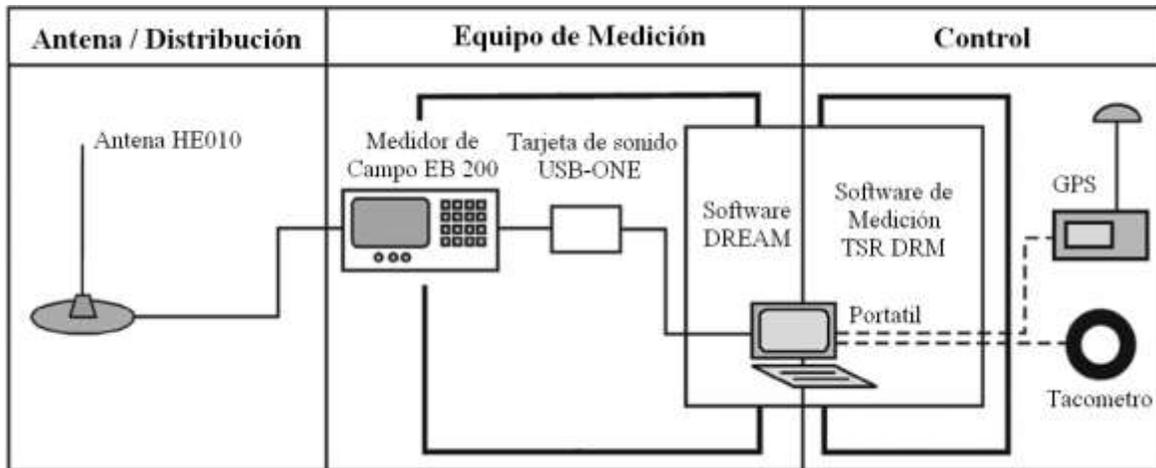


Figura 1. Sistema Utilizado en la Medición [4]

✓ Antena HE010. Antena activa modificada encargada de recibir la señal transmitida [4].

✓ Medidor de campo EB 200. Encargado de realizar dos funciones diferentes [4]:

1. Midió la intensidad de la señal recibida, y como el sistema fue calibrado, la intensidad de campo.

2. Se utilizó para convertir la señal de RF a la señal IQ.

✓ Tarjeta de sonido. Se trata de una tarjeta de sonido profesional de audio, cuya función fue tomar la señal proveniente del medidor de campo y muestrearla [4].

✓ Receptor de software Dream. Se encargó de demodular la señal procedente de la tarjeta de sonido [4].

✓ GPS. Encargado de ubicar geográficamente la posición de las mediciones [4].

✓ Tacómetro. Su función fue el de proporcionar las distancias con precisión, además de suministrar la velocidad instantánea [4].

➤ Metodología de medición

– Se realizaron dos tipos de mediciones:

- ✓ Fija = En esta ubicación las mediciones fueron efectuadas durante 15 minutos [4].
- ✓ Móvil = Se dirigieron a lo largo de la ruta [4].
- Las rutas fueron situadas en cuatro entornos distintos de la ciudad de México, denominados:
 - ✓ Típicamente mexicano = Ambiente urbano con calles anchas y edificios de dos plantas [4].
 - ✓ Densamente urbano = Zona con edificios altos [4].
 - ✓ Abiertamente residencial = Zona con pocos edificios o aéreas abiertas tales como parques [4].
 - ✓ Baja densidad industrial = Área sin industria pesada [4].
- Por cada entorno se definió una ruta como se muestra en la tabla 14 [4].

Se tomo una quinta ruta debido a que en la primera se obtuvo una baja potencia por las obstrucciones del terreno. Esta nueva ruta tenía características similares a la primera.

Tabla 14. Rutas Medidas [4]

Nombre de la ruta	Entorno	Distancia promedio al transmisor (Km)
Ruta 1	Típicamente mexicano	11,5
Ruta 2	Densamente urbano	10
Ruta 3	Industria densamente baja	15
Ruta 4	Residencialmente abierto	9,5 – 17
Ruta 5	Típicamente mexicano	20

➤ Parámetros medidos más importantes

1. Intensidad de campo. Medido por el medidor de campo EB200 [4].
2. Relación S/N. Calculado por el software de recepción Dream [4].
3. Calidad de audio objetiva (AudioQ). Se midió como el porcentaje de tramas correctamente decodificadas. Para obtener una correcta recepción es necesario que el porcentaje de tramas de audio codificadas correctamente sea mayor e igual al 98 % [4], tal como se indica en la ecuación (1.1).

$$AudioQ(\%) = \frac{\text{Número de tramas de audio recibidas sin error}}{\text{Número total de tramas de audio}} * 100 \quad (1.1)$$

- Las mediciones se realizaron teniendo en cuenta todos los posibles factores como: El motor del vehículo encendido/apagado y el computador portátil encendido/apagado.

- El multirrayecto produjo desvanecimiento plano y por lo tanto se obtuvo una gran variación del nivel de la señal.
- Resultados de la recepción fija
 - La antena estaba rodeada de colinas más altas, excepto en la dirección hacia el centro de la ciudad, por lo cual no tuvieron gran influencia en las pruebas.
 - En la figura 2 se puede observar que entre 5 y 10 Km de distancia al transmisor existe una zona de sombra, en donde las elevaciones del terreno obstruyen la línea que va desde la antena de transmisión al receptor. Por tal motivo no se capturaron mediciones en lugares situados entre 5 y 9 Km del transmisor.

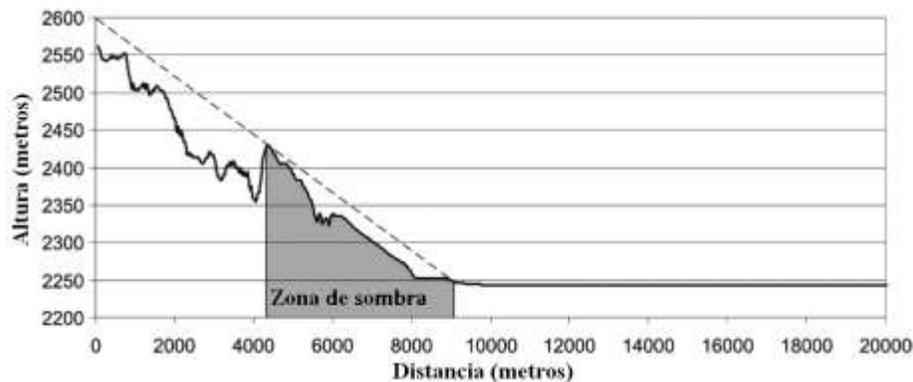


Figura 2. Perfil del Terreno [4]

- Debido a que la potencia de transmisión era baja y los puntos fijos estaban muy lejos del transmisor, la mayoría de las mediciones fueron realizadas utilizando el modo más robusto denominado 18K_B/16/4/0,5 [4]. Por tal razón a continuación se presenta los resultados obtenidos para esta clase de modo.
 - ✓ Modo 18K_B/16/4/0,5
 - Se registraron 24 mediciones obteniéndose una calidad de audio promedio del 98,71%, superior al umbral del 98%. 19 de esos 24 puntos tuvieron una calidad de sonido superior al 98%. De los 5 puntos restantes, tres contaron con un valor entre el 97 y el 98 por ciento. En esos 5 puntos donde no se obtuvo una buena recepción, la principal causa de fracaso fue el nivel de ruido. Por lo cual esto es un factor importante para definir los valores de mínima intensidad de campo como se especifica más adelante [4].
 - En la figura 3 se muestran los 24 puntos medidos. Se puede observar que los puntos R1P2 (punto 2 de la ruta 1) y R1P4 están en la zona de sombra. El punto R5P1 presentó una baja intensidad de la señal recibida puesto que este presentaba la distancia más lejana al transmisor y estaba ubicado justo al lado de un edificio [4].



Figura 3. Puntos de Recepción Fija Utilizando el Modo 18K_B/16/4/0,5

Con los datos registrados, se estableció la relación de S/N y la intensidad decampo de los 24 puntos fijos frente a la calidad de audio recibida, como se muestra en la figura 4. Se puede detallar que para obtener una buena transmisión es suficiente contar con una S/N mínima de 18 dB y una intensidad de campo mínima de 37 dB μ V/m. En el caso de la figura 4 (A) la S/N es superior al valor mínimo en todos los puntos excepto para el R4P7 el cual fue situado al lado del aeropuerto, en una calle con mucho tráfico; en este punto se presentan los niveles de ruidos más altos como lo muestra la tabla 15. En cuanto a la figura B hubo dos puntos (R2P6 y R4P7) que cumplían con la mínima intensidad de campo pero no con el umbral de la calidad de audio, por el alto ruido que presentaban.

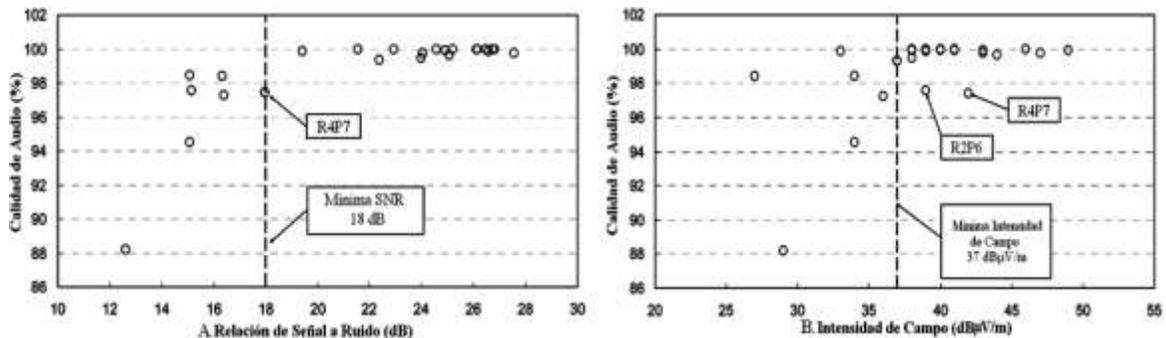


Figura 4. Valores Obtenidos de SNR y Intensidad de Campo vs Calidad de Audio [4]

Tabla 15. Relación de los Puntos Medidos con la Intensidad de Campo y el Ruido Obtenidos [4]

Puntos	Intensidad de campo	Ruido (dB μ V)	Problema
R1P2	34 dB μ V/m	-6	Señal baja y variable
R1P4	36 dB μ V/m	-1	Alto ruido
R2P6	39 dB μ V/m	-0,5	Alto ruido
R4P7	42 dB μ V/m	5,4	Alto ruido

R5P7	29 dB μ V/m	-2,75	Señal baja y alto ruido
-------------	-----------------	-------	-------------------------

- La intensidad de campo teórica necesaria para recibir una señal AM teniendo en cuenta solamente el ruido interno del receptor es 40 dB μ V/m, es decir 3 dB por encima de la mínima intensidad de campo obtenida.
- El mínimo valor C/N para recibir una señal AM es de 36,5 dB, es decir 18,5 dB más que la relación S/N necesaria para DRM.
- En estas pruebas se observó que el tráfico vehicular en la vecindad del punto de medición aumenta la variabilidad de la señal.
- Para evitar los efectos de la propagación multitrayecto y a su vez el desvanecimiento plano que provoca la atenuación de la señal en la recepción, se debe de configurar la red SFN, donde la ubicación de los puntos del desvanecimiento plano de cada transmisor se relaciona.
- El ruido y la variabilidad del campo eléctrico¹ fueron observados como elementos importantes al determinar el comportamiento de la señal DRM. En la figura 5 se ve que la señal con baja intensidad y alta variabilidad puede producir errores en el receptor.

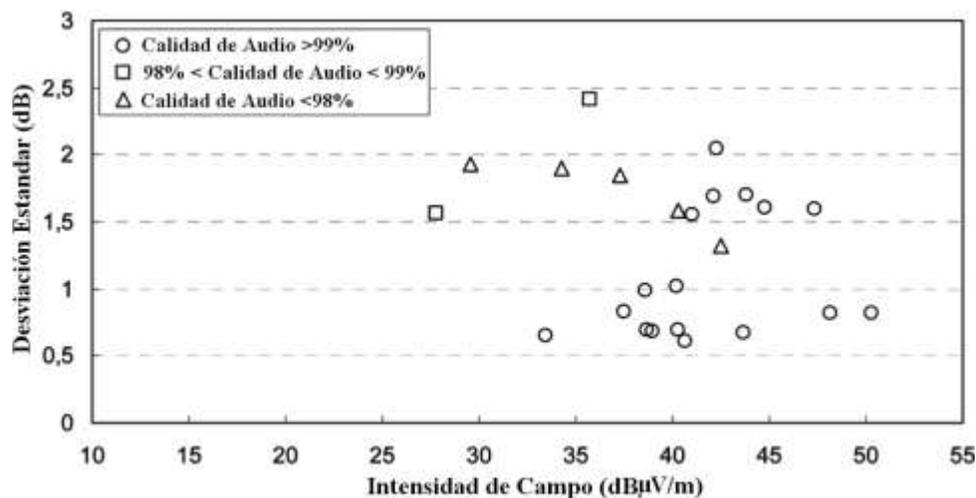


Figura 5. Efecto de la Variabilidad en la Intensidad de Campo [4]

- ✓ Resultados de otros modos de transmisión DRM
- A continuación en la tabla 16 se resumen los resultados obtenidos con los otros modos.

¹ Variabilidad del campo eléctrico. Es el valor medido de la desviación estándar del campo eléctrico medido en cada punto fijo. Esto muestra la variabilidad de la señal.

Tabla 16. Resultados obtenidos con los diferentes modos propuestos [4]

	Clase de Modos			
	18_KB/16/4/0,5	18_KB/64/16/0,6	10_KB/16/4/0,5	18_KA/64/16/0,6
Calidad de audio promedio (%)	98,71	88,24	95,75	93,03
Numero de total de puntos medidos	24	8	7	6
Número de puntos donde la calidad de audio > 98%	19	3	5	2
Relación mínima de S/N (dB)	18	22	16-18	-
Mínima intensidad de campo (dBμV/m)	37	>43	38	-

- Al comparar las clases de modos 18_KB/16/4/0,5 y 10_KB/16/4/0,5 se observa que poseen las mismas configuraciones excepto el ancho de banda utilizado, lo cual permite relacionarlas entre sí y con las recomendaciones de la ITU [3]. Se obtiene que la calidad de audio es superior al 98% para la configuración 18_KB/16/4/0,5, cosa que no sucede para 10_KB/16/4/0,5 por las mediciones móviles; en ambos casos la relación S/N que presentaron se encuentran en el rango de los valores suministrados por la norma que oscilan entre 14,6 dB y 18 dB dependiendo del modo de canal, e igualmente la intensidad de campo que se obtuvo fue mayor que la propuesta. Al comparar los valores de intensidad de campo entre sí se nota un leve aumento en el caso de 10_KB/16/4/0,5 que debería ser inferior al de 18_KB/16/4/0,5, esto sucede porque se realizaron menos mediciones en el primer caso que en el segundo.
- En los modos 18_KA/64/16/0,6 y 18_KB/64/16/0,6, el nivel de intensidad de campo recibido fue insuficiente para abarcar toda la ciudad de México.
- En el modo 18_KB/64/16/0,6, la relación S/N fue de 4 dB mayor que la obtenida en el modo 18_KB/16/4/0,5, ya que esta ultima necesita de menor relación SNR por el tipo de constelación que presenta al estar más contiguos los puntos. En el caso de 18_KB/64/16/0,6 la S/N es inferior a los valores aportados por la tabla 8 que fueron evaluados para una propagación ionosferica y no para la ciudad, por tal razón el valor obtenido fue más bajo.
- ✓ Efectos del medio ambiente en la recepción
- El entorno es un factor clave en la recepción de cualquier servicio de radio, por lo cual se estudio su efecto en el sistema DRM arrojando los valores presentados en la tabla 17.

Tabla 17. Distancia, Intensidad de Campo, Variabilidad del Campo y el Ruido en los Diferentes Entornos [4]

Entorno	Distancia promedio al transmisor (Km)	Intensidad de campo (dB μ V/m)	Variabilidad del campo (dB)	Ruido (dB μ V/m)
Típicamente mexicano	11,5	37	1,55	-4,6
Densamente urbano	10	39,5	1,44	-4,9
Industria densamente baja	15	35	1,27	-8,2
Residencialmente abierto	9,5-17	40,5	1,15	-10
Típicamente mexicano	20	37	1,04	-6,6

En la tabla 17 se observa que la distancia no está relacionada con los valores de la intensidad de campo, debido a que las pérdidas se deben a otros factores, tales como la obstrucción presentada por los edificios.

- ✓ Efectos del tráfico
 - Considerado como otro factor elemental.
 - Una fuente importante de ruido eléctrico fueron los motores de los automóviles.
 - Para mirar cómo afecta el tráfico en la calidad de la recepción se tomaron los datos obtenidos del modo más protegido, tal como se muestra en la tabla 18.

Tabla 18. Efectos del tráfico en la recepción de señales (18K B/16/4/0,5) [4]

	Localizaciones		Total
	Con tráfico	Sin tráfico	
Calidad promedio de audio (%)	98,18	99,60	98,71
Número de puntos donde la calidad de audio > 98%	10	9	19
Número de puntos medidos en total	15	9	24
Mínima relación de S/N (dB)	18	< 15	18
Mínima intensidad de campo (dB μ V/m)	37	-	37

Comparando los puntos con y sin tráfico, estos últimos presentan mejores características de recepción y necesitan menores niveles de intensidad de campo para obtener una buena calidad de audio.

➤ Resultados de la recepción móvil

- Las mediciones móviles se realizaron en las mismas zonas que las mediciones fijas. Además de las anteriores 5 rutas, se adiciona una sin mediciones estáticas. Las pruebas que se le realizaron fueron hechas utilizando el modo 10K_B/16/4/0,5 [4].
- Todos los errores en la recepción hasta una distancia de 16 Km del transmisor fueron causados por los túneles. Sin embargo en algunas mediciones se alcanzó una señal libre de error [4].
- De 16-20 Km del transmisor los errores fueron causados por los niveles bajos de la señal [4].
- A 25 Km del transmisor, la recepción era mala debido a las interferencias provenientes del aeropuerto [4].
- De 30-45 Km del transmisor, hubo escasos errores en la recepción, la razón es que la carretera de Texcoco esta en el entorno abierto [4].
- El efecto de la propagación multitrayecto fue menor en la ciudad [4].
- Todas las tramas de transmisión con niveles de S/N > 20 dB fueron recibidas a la perfección [4].
- Las tramas con relación $18 < S/N < 20$ dB, fueron recibidas con una calidad de audio del 98,6 % [4].
- Se concluyo que para una recepción móvil con el modo 10K_B/16/4/0,5 el umbral de recepción de S/N es de 18 dB [4].
- ✓ Diferentes potencias y coberturas logradas por una señal DRM
 - Dentro de las pruebas realizadas utilizando una potencia de 200 W [4], fueron tenidas en cuenta las variaciones producidas al aumentar la potencia de transmisión en la distancia alcanzada y en el porcentaje de cobertura para la recepción móvil, arrojando como resultados los valores plasmados en la tabla 19.

Tabla 19. Distintas Potencias y Coberturas Alcanzadas en la Recepción Móvil [4]

Nombre de la ruta	Entorno	Potencia de Transmisión (W)		
		200	2 K	6,3 K
Cobertura (%)				
Ruta 1	Típicamente mexicano	29	91	~ 100
Ruta 2	Densamente urbano	23	87	~ 100
Ruta 4	Residencialmente abierto	51	94	~ 100
Ruta 5	Típicamente mexicano	21	87	~ 100

Cobertura Total de la Ciudad (%)	90	93	~ 100
Distancia promedio al transmisor (Km)	Hasta 15	Hasta 42	Más de 42

- Como se detalla en la tabla 19 a medida que se aumenta la potencia se obtiene una mayor distancia al transmisor al igual que el porcentaje de cobertura, permitiendo abarcar lugares en donde una buena recepción de la señal no era alcanzable.

7. Pruebas Realizadas en Brasil Utilizando el Sistema DRM en la Banda de 26 MHz para la Radiodifusión Local

Las pruebas de campo realizadas en la ciudad de Brasilia (Brasil-2006), fueron efectuadas con el fin de encontrar en qué condiciones la señal DRM puede ser bien recibida utilizando la frecuencia de 26 MHz para la radiodifusión local. Se tuvo en cuenta, al igual que en las pruebas de México las diversas rutas (fijas y móviles) como también la influencia del entorno en la recepción. Por consiguiente a continuación se presenta un resumen de las características y datos obtenidos de estas pruebas.

➤ Objetivos

- Obtener la mínima intensidad de campo y un porcentaje de relación de S/N para alcanzar una correcta recepción.
- Obtener el umbral mínimo para alcanzar una calidad de recepción aceptable.

➤ Sistema de transmisión experimental

- El sitio de transmisión fue colocado a 12 Km del centro de Brasilia, en una colina que está a unos 100 m sobre la elevación promedio de la ciudad [5].
- La frecuencia utilizada fue de 25,885 MHz [5].
- El transmisor operó con una potencia promedio de 200 W [5].
- La antena utilizada era un dipolo vertical de 12,5 m, en donde la mayoría de la potencia radiada fue dirigida a la ciudad [5].
- La ganancia máxima de la antena fue alrededor de 7 dBi [5].
- Se uso un ancho de banda de 18 KHz [5].

➤ Modos de transmisión DRM

- Al igual que en las pruebas de México se utilizaron los modos de robustez A y B por las mismas razones anteriormente mencionadas. Como consecuencia se obtuvo los datos suministrados por la tabla 20.

Tabla 20. Modos de Transmisión con su Correspondiente Velocidad de transmisión de Datos Máxima [5]

Modos de Robustez	Ancho de banda (KHz)	MSC (QAM)	SDC (QAM)	Tasa de codificación	Velocidad de transmisión de datos (Kbps)
B	18	16	4	0,5	21,2
B	18	64	16	0,6	38,2
A	18	64	16	0,5	40,9

- La mayoría de las pruebas se efectuaron con el modo de la primera fila denominado en las pruebas como B-21 [5] (Modo B con una velocidad de transmisión de datos de 21,2 kbps) ya que presentaba la mayor robustez frente a los tres modos.
- La velocidad de transmisión de datos proporcionada por el modo B-21 fue de 21,2 Kbps, suficiente para la transmisión de audio estéreo con calidad de audio casi de FM. En cambio los modos B-38 y A-41 al ser menos robustos arrojaron una velocidad de transmisión de datos justamente alta para la transmisión de audio estéreo [5].
- Sistema de medición
 - Se utilizó un vehículo totalmente equipado como el indicado en la figura 6.

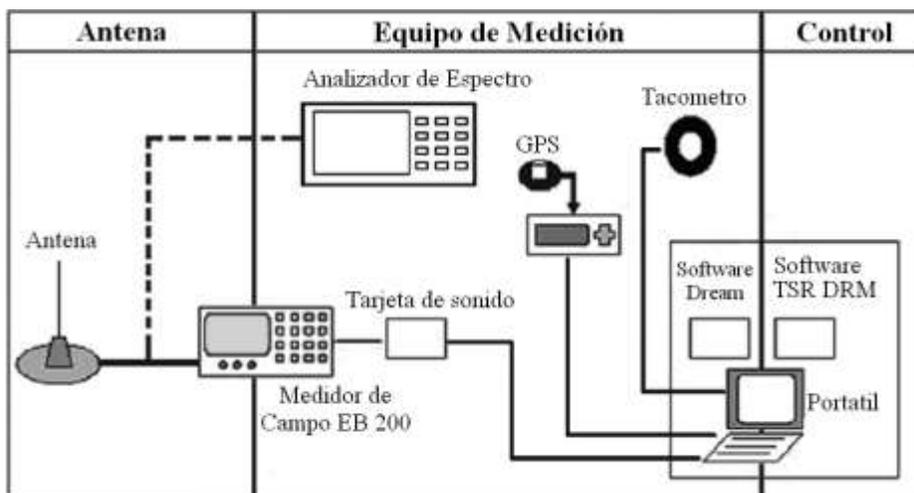


Figura 6. Sistema de Medición Utilizado [5]

- ✓ Antena R&S HE010. Antena activa monopolar corta, encargada de recibir la señal proveniente del transmisor [5].
- ✓ Medidor de campo EB 200 R&S mimipuerto. Encargado de realizar dos funciones diferentes [5]:
 1. Medir la intensidad de la señal recibida.
 2. Se lo utilizó para convertir la señal RF a la señal banda base IQ [5].

- ✓ Tarjeta de sonido SB Audigy 2NX. Tarjeta de sonido profesional de audio, cuya función fue tomar la señal IQ y muestrearla [5].
 - ✓ Receptor de software Dream. Se utilizó una versión modificada de este software para demodular la señal [5].
 - ✓ Software AdHoc. Encargado de controlar el sistema de medición y registro de los datos capturados [5].
 - ✓ GPS. Encargado de ubicar geográficamente la posición de las mediciones [5].
 - ✓ Tacómetro. Su función fue el de medir la velocidad del vehículo [5].
- Metodología de medición
- Se realizaron dos tipos de mediciones:
 - ✓ Fijas. Las mediciones fueron efectuadas durante 4 minutos [5].
 - ✓ Móviles. Se tomaron a lo largo de la ruta [5].
 - Las rutas se situaron en cuatro ambientes distintos de Brasilia, denominados:
 - ✓ Entorno abierto. Zona con pocas edificaciones, teniendo el transmisor una línea de vista con los diferentes puntos de recepción (puntos de medición). Lucía un moderado tráfico local [5].
 - ✓ Entorno industrial. Área de la ciudad con pequeñas empresas portuarias. Presentaba edificios no muy altos con un tráfico pesado [5].
 - ✓ Entorno residencial. Regiones en donde las casas no tenían más de dos pisos. Su tráfico local era bajo [5].
 - ✓ Entorno densamente urbano. Áreas con altos edificios residenciales y comerciales. El tráfico presente suele ser intenso [5].
 - Se planearon 8 rutas como se muestra en la tabla 21.

Tabla 21. Número de rutas utilizadas con su correspondiente descripción [5]

Numero de rutas	Descripción
5	Eran circuitos localizados en diferentes entornos
2	Rutas radiales utilizadas para encontrar los límites de la cobertura del sistema.
1	Ruta arqueada.

- Parámetros medidos más importantes
1. Intensidad de campo. Medido por el medidor EB200 [5].
 2. Tasa de error de modulación-MER. Calculado por el receptor de software Dream [5].

3. Calidad de audio objetiva. Se midió como el porcentaje de tramas correctamente decodificadas. Denominado AudioQ el cual debería ser mayor e igual al 98 % de las tramas correctamente decodificadas [5].

➤ Resultados de la recepción fija

- Se tomaron como referencia los datos obtenidos del modo B-21 [5]. Se registraron un total de 40 mediciones fijas en 34 diferentes localidades [5]. Para ser más exactos se indican en las siguientes figuras 7 y 8 los valores obtenidos.

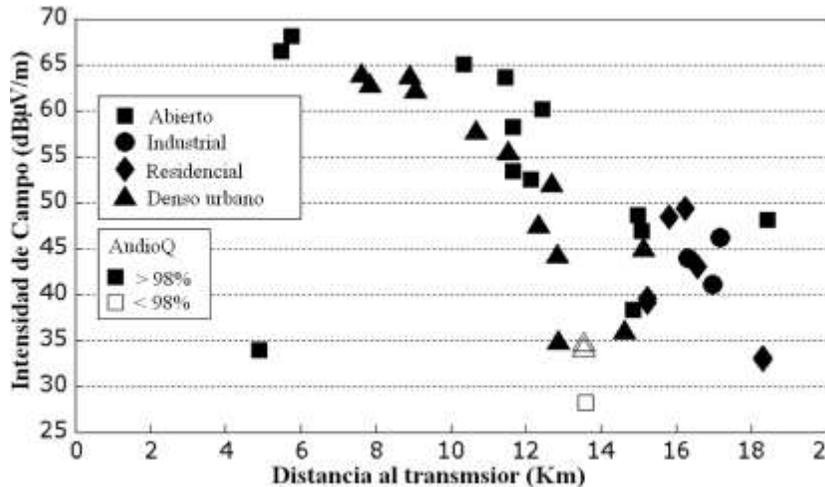


Figura 7. Resultados Obtenidos con Respecto a la Intensidad de Campo y Calidad de Audio [5]

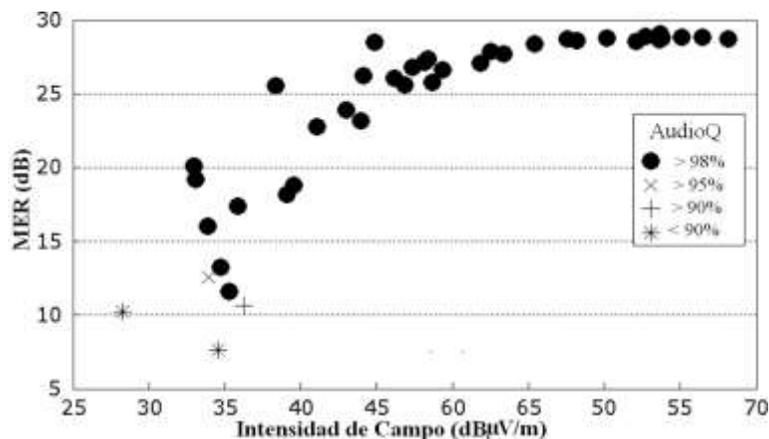


Figura 8. Valores Obtenidos de MER y Calidad de Audio [5]

- Existen 4 puntos en donde el AudioQ fue inferior al 98%. De las 40 mediciones 27 obtuvieron un porcentaje igual al 100% [5].
- En la figura 7 se puede observar que a una distancia aproximada de 5 Km desde el transmisor se presentó una baja intensidad (<35 dBµV/m) correspondiente a una ruta localizada hacia la parte posterior del lóbulo de la antena de transmisión [5].

- En el ambiente densamente urbano la influencia del entorno fue importante en la intensidad de la señal, ya que a una distancia similar al transmisor, se presentaron lugares en donde se recibió una menor intensidad de campo [5].
- Se alcanzó una mínima intensidad de campo de alrededor de 35 dB μ V/m para lograr una buena calidad de recepción (AudioQ \geq 98%) [5].
- Se requiere un valor mínimo de MER de aproximadamente 13 dB [5].
- Resultados de recepción móvil
 - De las 8 rutas estipuladas anteriormente [5], solo la ruta arqueada y las rutas radiales fueron tenidas en cuenta debido a que son las más representativas. En la figura 9 se muestra el mapa con la ruta arqueada. La distancia al transmisor era de unos 15 Km [5]. Paso por tres entornos distintos: Inicio en un área residencial, cruzo en un entorno abierto, paso por densas zonas urbanas y finalmente entro en el parque de la ciudad caracterizado como abierto. En la parte urbana la concentración de errores de audio aumento considerablemente.



Figura 9. Calidad de Audio Durante la Ruta Arqueada [5]

- En la figura 10 la recepción de la señal fue aceptable en distancias de hasta 35 Km [5] desde el transmisor, aunque las distancias variaron dependiendo de la zona donde fueron medidas resultando en un promedio entre 10 a 15 Km garantizando una buena recepción. En el centro de la ciudad se presentaron dos secciones en donde se demuestra que la influencia del entorno influye en la degradación de la

señal, por los altos edificios (comerciales) que obstruían y reflejaban la señal transmitida.



Figura 10. Calidad de Audio en la Ruta Radial [5]

- En la figura 11 se observa el porcentaje de tramas recibidas con errores para cada valor de intensidad de campo medido. Se obtiene como resultado que para una intensidad de campo de 38 dB μ V/m, el porcentaje de tramas erróneas es inferior al 2%, es decir que si la mínima intensidad es mayor a 38 dB μ V/m, se alcanza un AudioQ superior al 98% [5].

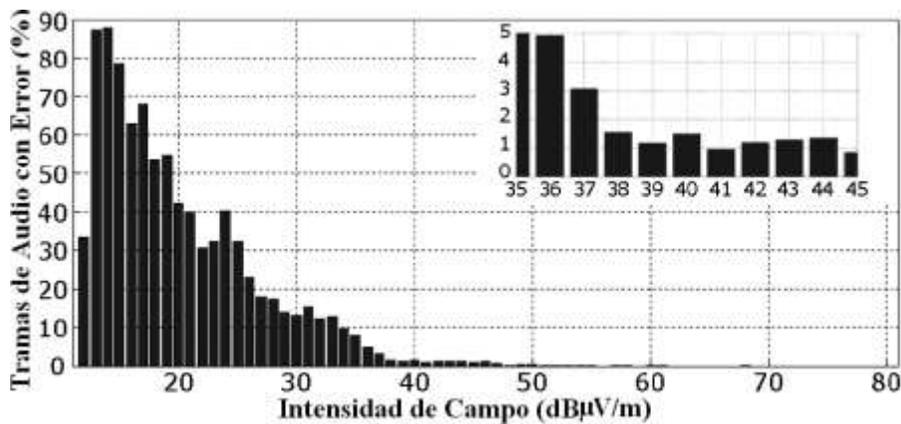


Figura 11. Tramas de Audio con Error vs Intensidad de Campo [5]

- En la figura 12 se tiene el porcentaje de tramas recibidas con errores para cada rango medido de MER. El umbral arrojado es de 14 dB [5].

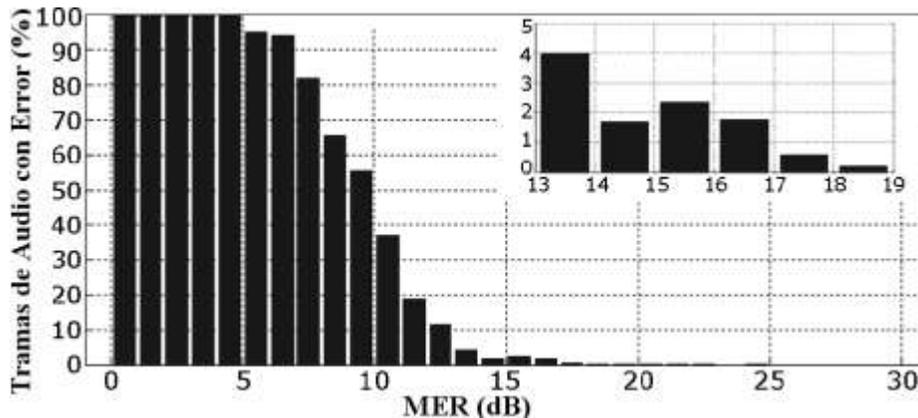


Figura 12. Tramas de Audio Recibidas con Error vs MER [5]

8. Pruebas Realizadas en Madrid con el sistema DRM utilizando la Banda de Onda Media (2007)

En estas pruebas se tuvo en cuenta diferentes fases que condujeron al desarrollo de las transmisiones DRM en la banda MW. Su principal objetivo fue establecer las condiciones de funcionamiento y los umbrales que experimentaría la señal para alcanzar una correcta recepción al variar los parámetros del sistema. Por tal razón se presenta a continuación una breve descripción de las características obtenidas en el transcurso de las pruebas.

- **Objetivos**
 - Obtener la mínima intensidad de campo y la relación de S/N para alcanzar una correcta recepción.
 - Obtener la potencia necesaria para cubrir una ciudad como la de Madrid.

- Sistema de transmisión experimental
 - El centro de transmisión fue ubicado en Pozuelo de Alarcón (en la estación transmisora de AXION), a unos 9 Km del centro de la ciudad de Madrid [6].
 - La frecuencia central fue de 1260 KHz [6].
 - El transmisor operó con una potencia de 10 KW [6].
 - El ancho de banda fue de 9 KHz [6].
- Modos de transmisión DRM
 - Para estas pruebas se utilizó el modo indicado en la tabla 22.

Tabla 22. Modos de Transmisión Utilizado con su Respectiva Velocidad de transmisión de Datos [6]

Modos de Robustez	Ancho de banda (KHz)	MSC (QAM)	SDC (QAM)	Tasa de codificación	Velocidad de transmisión de datos (Kbps)
A	9	64	16	0,6	23,6

- Sistema de medición
 - Se utilizó una unidad móvil especialmente acondicionada como se indica en la figura 13, constituida por:

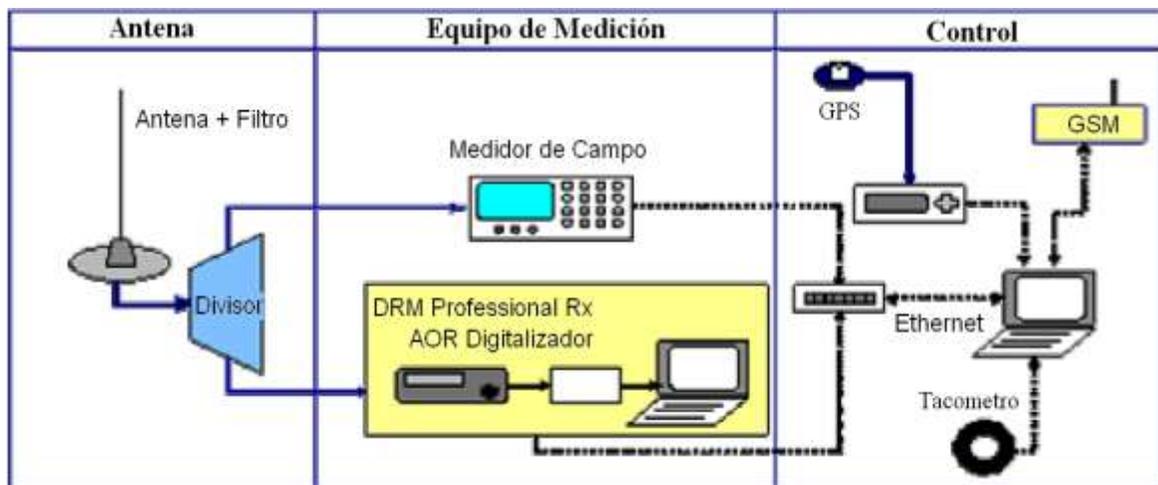


Figura 13. Equipo de Medición Utilizado [6]

- ✓ Antena R&S HE010. Antena omnidireccional activa encargada de recibir y distribuir la señal transmitida [6].
- ✓ Medidor de campo R&S ESPI3. Su función medir el campo eléctrico [6].
- ✓ Receptor profesional DRM. Formado por: El front-end AOR7030, tarjeta digitalizadora Presonus Firefox y el demodulador DRM SW Fraunhofer [6].

- ✓ GPS. Encargado de ubicar geográficamente la posición de las mediciones [6].
- ✓ Tacómetro. Su función fue el de medir la velocidad del vehículo [6].
- Metodología de medición
 - Se realizaron dos tipos de mediciones:
 - ✓ Fija. En esta ubicación las mediciones fueron capturadas de manera ininterrumpida durante 3 minutos [6].
 - ✓ Móvil. Se llevaron a cabo a través de tramos, siendo este la unión de dos puntos fijos [6].
 - Se dispusieron de 4 aéreas de medidas con el fin de determinar el comportamiento del sistema DRM [6]. Estas zonas fueron denominadas tal como se muestra en la tabla 23:

Tabla 23. Principales Características de las Zonas medidas [6]

Nombre del sitio	Característica	Tipo	Número
Salamanca	Presenta calles más anchas que el centro de la ciudad	Puntos	13
		Tramos	2
Gran vía	Compuesta por calles estrechas, con edificios muy altos	Puntos	16
		Tramos	17
Carabanchel	Ambiente caracterizado con edificios de regular altura (más o menos de 8-10 pisos) y con calles medianamente anchas.	Puntos	15
		Tramos	16
Vallecas	Presenta características similares a las zonas de Salamanca y Carabanchel	Puntos	8
		Tramos	4

- Parámetros medidos más importantes
 1. Intensidad de campo.
 2. Relación S/N.
 3. Calidad de audio objetiva.
- Resultados de la recepción fija
 - Se tomaron como referencia los datos obtenidos del modo 9K_A/64/16/0,6. Se registraron 52 mediciones obteniéndose una calidad de audio promedio del 98,08%, superior al umbral establecido (98%). 51 de esos 52 puntos tuvieron una calidad de sonido mejor que el 98%. El punto restante, produjo una mala recepción debido a que se trata de una zona con calles estrechas en comparación con la altura de los edificios, arrojando un valor de Calidad de Audio igual al 41,6%

localizado en el punto 2 de la zona de Salamanca. En la figura 14 se pueden observar los datos obtenidos en esta experiencia [6].

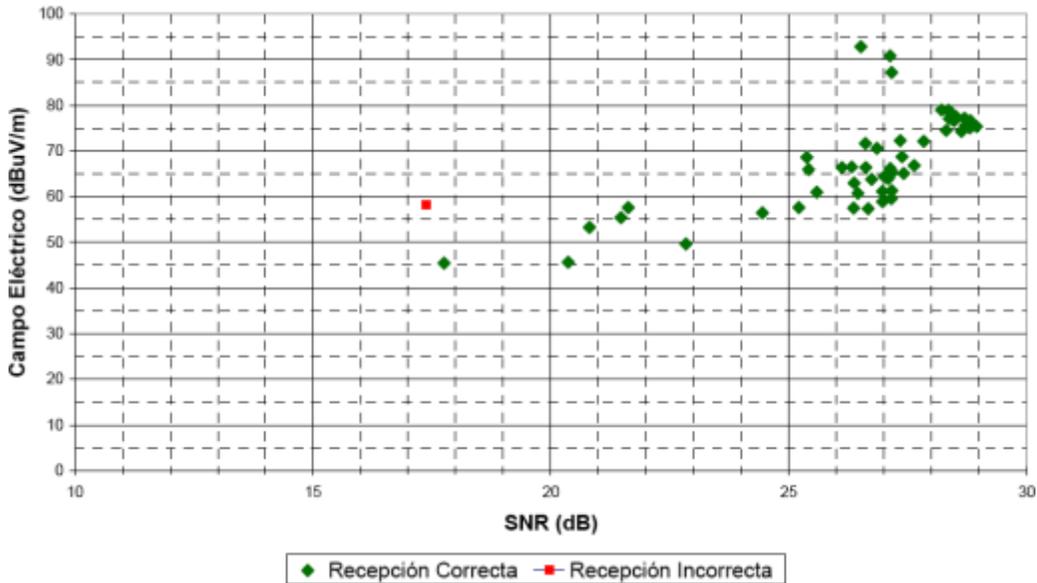


Figura 14. Campo Eléctrico vs SNR [6]

- Ante la presencia del ruido hecho por el hombre típico de un entorno urbano, los resultados presentes en la figura 14 recomiendan que para tener una buena recepción es necesario contar con una mínima relación de S/N de 18 dB, excepto en el punto de mala recepción donde se alcanzó una S/N de 17,5 dB [6]. En cuanto a la mínima intensidad de campo requerida fue complicado establecer un valor específico ya que depende del ruido radioeléctrico variable en las pruebas, tal como se indica en la tabla 24.

Tabla 24. Valores de Ruido Radioeléctrico Obtenidos en las Zonas Medidas [6]

	Ruido (dB μ V/m)	Desviación estándar(dB)
Salamanca	21,8	4,9
Gran vía	32,2	3,9
Carabanchel	31,1	8,1
Vallecas	27,6	4,0

- Según se aprecia en la tabla 24 las zonas más afectadas por el ruido fueron Gran vía y Carabanchel, por la simple razón de la presencia de edificios (oficinas y empresas) como del tráfico vehicular [6].

➤ Resultados de la recepción móvil

- Las pruebas fueron realizadas utilizando la misma configuración de la recepción fija. Se efectuaron en 39 rutas de las cuales 31 presentaron una calidad de audio mejor que el 98%, en donde los 8 restantes obtuvieron una calidad inferior a esta [6].

Se esperaba este tipo de resultados por los factores que afectaron al servicio como son: el ruido, la obstrucción por la altura de los edificios, el ancho de las

calles, los puentes, los túneles entre otros. También afecta la reducción del nivel de la señal a medida que se va aumentando la distancia al transmisor, como sucede con la zona de Salamanca tal como se muestra en la figura 15 [6].

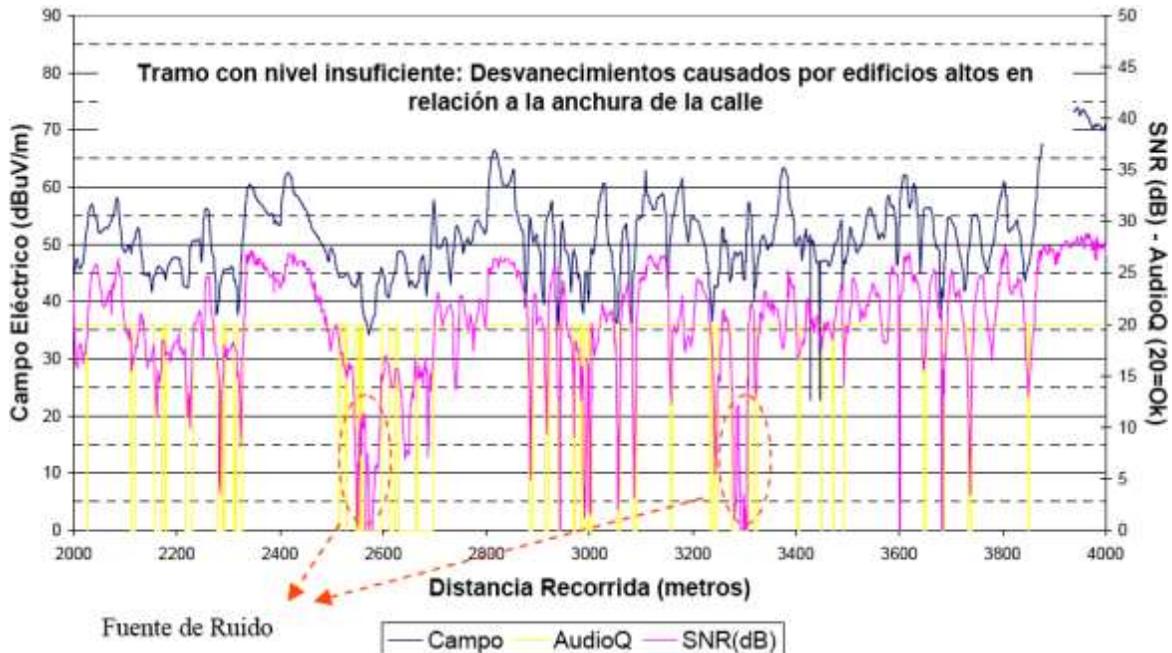


Figura 15. Ruido Presente en las Pruebas en la Zona de Salamanca [6]

- Al igual que en la recepción fija el umbral de la intensidad de campo no fue posible determinarlo, en cambio se tuvo una relación mínima de S/N de 20 dB en zonas urbanas [6].
- Resultados en la recepción de interiores
 - La razón por la cual se considera el entorno en interiores como desfavorable y crítico en la propagación de MW, es el ruido hecho por el hombre, por consiguiente se realizaron diferentes pruebas en 7 edificios clasificándolos como particulares y comerciales tal como se indica en la tabla 25; 6 de ellos se encuentra en la zona urbana de Madrid y uno en la industrial de Fuenlabrada. En estas pruebas se tuvo en cuenta las características del entorno, la distancia, el número de puntos que se midieron y la clasificación del edificio [6].

Tabla 25. Principales Características de los Zonas Medidas en Interiores [6]

Tipo	#Edificio	Características	Nº de Pisos	Nº de Puntos	D _{TX} *(Km)
Particular	E1	Presenta calles estrechas con entorno Urbano no Denso	3	15	13,8
	E2	Presenta calles estrechas con entorno Urbano no Denso	3	9	10,2
	E3	Presenta calles anchas con entorno Urbano Denso	7	18	7,9
	E4	Presenta calles anchas con entorno Urbano Denso	10	8	13,2

Comercial	E5	Presenta calles anchas con entorno Urbano Denso	10	44	8,9
	E6	Presenta calles anchas con entorno Industrial	2	11	16,9
	E7	Presenta calles anchas con entorno Urbano Denso	6	13	9,9

*D_{TX} = Distancia al transmisor

- Los parámetros más importantes que se tuvieron en cuenta al efectuar las mediciones fueron: la Intensidad de campo, la S/N, el ruido y el porcentaje de localizaciones correctas en cada edificio, tal como se describe en la tabla 26.

Tabla 26. Resultados de los Parámetros más importantes Medidos en las Pruebas [6]

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
E (dBμV/m)	78,95	93,79	74,31	68,08	79,51	70,8	83,99
MER (dB)	25,04	27,17	20,44	5,08	15,25	21,19	20,93
Ruido (dBμV/m)	43,81	53,32	51,54	64,61	64,17	52,72	62,13
% Correctas	80	100	56	0	25	64	62

- Con los resultados de la tabla 26, se observa que la intensidad de campo obtenida no depende tanto de la distancia al transmisor, sino más bien del entorno, de la clasificación del edificio como también de su altura. De los 7 edificios, 3 presentaron una buena recepción (E1,E2 Y E6) al votar los mayores porcentajes de localizaciones, debido al número de pisos que posee, a los edificios circundantes que son parecidos, y al entorno Urbano no Denso e Industrial al cual pertenecen, confirmando que la mejor fiabilidad de recepción es su tipo de entorno. El comportamiento contrario lo presentaron los edificios E3, E4 y E5 al suministrar los peores porcentajes de recepción (56, 0 y 25), por poseer más pisos (edificios altos) y por pertenecer al entorno Urbano Denso, con la salvedad de que se obtuvo una buena recepción solamente cerca de las ventanas exteriores [6].

Se puede establecer la relación que existe entre el ruido y la S/N, en donde a mayor ruido mayor interferencia habrá en la señal por consiguiente se necesitará incrementar el umbral de campo requerido para alcanzar una buena recepción.

- Análisis de la variación de los niveles de la señal DRM, adecuados para la cobertura urbana
- Se considero dos casos de estudio en donde se estableció que sucedió al modificar la potencia de transmisión en la calidad de recepción. En el primer caso se incremento la potencia en 3 dB [6] y en el segundo se la disminuyo por el mismo valor en que se la aumento, tal como se describe a continuación:
 - a. Primer caso: Como la frecuencia que se manejo es de 1260 KHz [6], los desvanecimientos de la señal presentes en las calles estrechas fueron superiores a 3 dB [6], por consiguiente los cambios en la recepción en cuanto a la calidad no fueron significativos.
 - b. Segundo caso: La potencia manejada fue de 5 KW [6], y contrario a lo que sucedió en el anterior caso, en este hubo variaciones en los resultados de S/N

de la recepción móvil, cosa que no sucedió con la recepción fija manteniéndose por encima del umbral. Para una mejor explicación en la figura 16 se observa la relación de la calidad de audio objetiva con respecto a la disminución de potencia y a las áreas medidas.

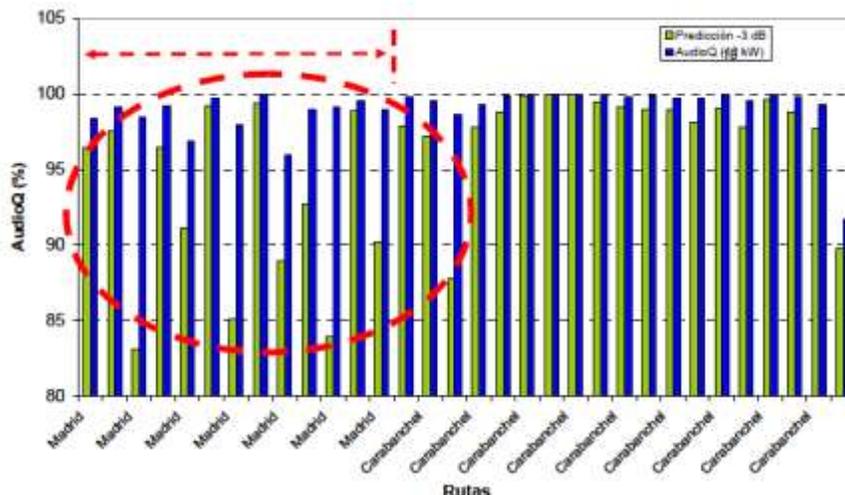


Figura 16. Variación en la Calidad de Audio Obtenida por el Receptor al Disminuir la Potencia de Transmisión [6]

➤ Transmisión *simulcast*

- Para establecer la transmisión en modo *simulcast*, utilizaron una portadora AM difundida en la frecuencia central de 1260 KHz y una señal DRM en 1251 KHz, además de la configuración propuesta anteriormente para DRM (9K_A/64/16/0,6). Al poseer la señal digital múltiples portadoras, la hace parecer como interferente para el canal analógico adyacente. Con el fin de evitar esto y constituir una proporción entre la potencia digital y la cobertura es necesario contar con una relación de potencias analógica sobre la digital de 16 dB recomendado por el estándar DRM. La potencia con que se operó fue de 10 KW para analógico y 0,25 KW para digital, aunque se efectuaron algunas mediciones con otras potencias como se muestran en la tabla 27 [6].

Tabla 27. Diversas Potencias con sus Respectivas Relaciones [6]

Potencias (KW)		Relación de Potencias (dB)
AM	DRM	
10	0,25	16
7,5	0,5	11,8
4	0,75	7,2
1,25	0,9	1,5

- En la tabla 27 se puede observar que si la potencia digital toma valores inferiores a la analógica en 16 dB, el área de cobertura para el servicio digital puede ser mayor, aunque el uso de estas potencias produciría interferencia mutua entre las dos partes. Las mediciones realizadas con las relaciones de potencia de 11,8, 7,2 y 1,5 dB fueron efectuadas para la recepción estática en el centro de Madrid, a distancias de 2 a 10 Km del transmisor [6].

- Para recepción fija se realizaron más de 200 mediciones en 42 instalaciones y para la recepción móvil se tomaron mediciones a distancias mayores a 210 Km a lo largo de las rutas en movimiento. Las principales características de las zonas medidas se describen en la tabla 28 [6].

Tabla 28. Características de las Zonas Medidas para Simulcast [6]

Nombre Zona	Características	Distancia Total Medida (Km)	Número de Puntos Medidos	Distancia al Transmisor (Km)
Radial Este	Urbano Variado	57	1	9
Radial Sur	Rural – Semiurbano	50	-	30
Pozuelo	Urbano con edificios medianos	50	17	2
Gran Vía	Urbano con calles angostas	37	16	8
Salamanca	Urbano con calles anchas	17	8	10
Carabanchel	Urbano (no denso)	3	-	9

- En esta prueba se efectuó un análisis sobre la calidad de servicio proporcionada por un radiodifusor tomando en consideración: los parámetros medidos como el campo eléctrico, la relación señal a ruido, y la calidad de audio en recepción, siendo esta el criterio para valorar la cobertura y la calidad de la señal.

Según el servicio suministrado se hace la evaluación teniendo en cuenta lo siguiente:

✓ Calidad de servicio analógico

- La evaluación en un determinado punto se efectuó basándose en los métodos propuestos por la recomendación “Métodos generales para la evaluación subjetiva de la calidad de sonido” [7], en donde valoraron la calidad de audio subjetiva demodulada por un receptor. El dato que suministró estas pruebas fue que para obtener una calidad aceptable se debe contar con un valor mayor a 3,5, demostrando la cobertura del servicio AM. Hay que aclarar que no se obtuvieron valores en recepción móvil, por las mediciones que son variables en el trayecto [6].

Para establecer la calidad se realizaron pruebas con el modo más utilizado que fue de 10 KW de potencia para AM y 0,25 KW para DRM, en 32 puntos localizados en las diversas zonas descritas en la tabla 29, de los cuales 29 alcanzaron una buena recepción y 3 no, como se muestra en la tabla 29. Con el objeto de establecer la calidad se utilizaron dos receptores uno con mayor gama que el otro [6].

Tabla 29. Valores Obtenidos en la Calidad AM con Potencia de 10 KW [6]

Número de puntos medidos	32
Porcentaje de ubicaciones con buena recepción (>3,5)	
Receptor Gama Alta	90,6 %
Receptor Gama Media	43,7 %

En la tabla 29 se demuestra que al utilizar un receptor de mayor gama es decir de excelente calidad, permite obtener una mejor recepción. La recepción mala de los 3 puntos se debe a las características del entorno (denso y semiurbano) y al no cumplir con el valor mínimo de 3,5 para la calidad subjetiva. Para estas experiencias fueron importantes las distancias al transmisor ya que a mayor distancia la intensidad de campo fue menor, además del ruido radioeléctrico y del tráfico de vehículos [6].

✓ Calidad de servicio DRM

- La calidad subjetiva en DRM depende de la velocidad de transmisión de datos que permite la configuración de los parámetros de transmisión, igualmente se necesita que la señal llegue correctamente a su destino, por lo cual se fijo un porcentaje de tramas mayor a 98% (proporcionado por las diversas pruebas realizadas en DRM) que facilite una buena recepción al disminuir el número de tramas recibidas con errores por el receptor del radioescucha. A esta calidad de audio se la denomino objetiva [6].
- Resultados recepción fija

Se realizaron pruebas en 33 puntos con el modo más utilizado (relación de potencias de 16 dB en la tabla 27) en las zonas descritas de la tabla 28, logrando que el AudioQ tenga valores superiores al 98% en 29 de los 33 puntos. El porcentaje total del análisis se muestra en la tabla 30 [6].

Tabla 30. Valores Obtenidos en la Calidad DRM con Potencia de 10 KW [6]

Número de Puntos Medidos	33
Porcentaje de Ubicaciones con Buena Recepción (AudioQ>98%)	87,9 %

De los 4 puntos restantes que no alcanzaron una buena recepción, 2 no fueron afectados por el ruido radioeléctrico, pero obtuvieron intensidades de campos inferiores al umbral establecidos en las pruebas que fue de 43 dB μ V/m, tal como se observa en la tabla 31 [6].

Tabla 31. Puntos que no Cumplieron con la Calidad de Audio Objetiva en DRM [6]

Zona y Característica	Distancia al Transmisor (Km)	Intensidad de Campo (dBμV/m)	S/N – MER (dB)	AudioQ (%)
Gran Vía, Denso	9,814	42,9	17,8	95,2
Salamanca, No	10,054	60,8	16,3	97,4

Denso				
Salamanca, Denso	11,231	34,7	5,4	0
Salamanca, Denso	10,539	42,3	20,1	91,4

El umbral de intensidad de campo obtenido en estas escenarios difiere al presentado por la recomendación “Parámetros de Planificación para la Radiodifusión Sonora Digital en Frecuencias Inferiores a 30 MHz” [3] (39,8 dB μ V/m), por los valores de ruido eléctrico hecho por el hombre estipulados por la ITU, los cuales son inferiores a la realidad de un entorno urbano como el de Madrid. Siguiendo con el análisis se encuentra que el umbral óptimo para la relación S/N es de 18 dB cumpliendo con lo acordado en las recomendaciones anteriormente mencionadas, además el tercer punto de la tabla 31, alcanza un valor muy bajo de intensidad de campo al poseer la mayor distancia al transmisor y por el entorno de la recepción. Con relación al segundo punto se plasma que la calidad de audio objetiva está muy cerca de la requerida para una correcta recepción con la salvedad de que su relación S/N es inferior a la mínima estipulada por el estándar, ocasionada por causa de una fuente de ruido eléctrica próxima. Los factores tenidos en cuenta en el tercer punto, fueron también tomados por los puntos 1 y 4 para demostrar porque se lograron porcentajes de AudioQ inferiores al umbral [6].

Adicionalmente la cobertura alcanzada al utilizar una potencia DRM de 0,25 KW fue de hasta 9,5 Km del transmisor [6], como se observa en la figura 17.

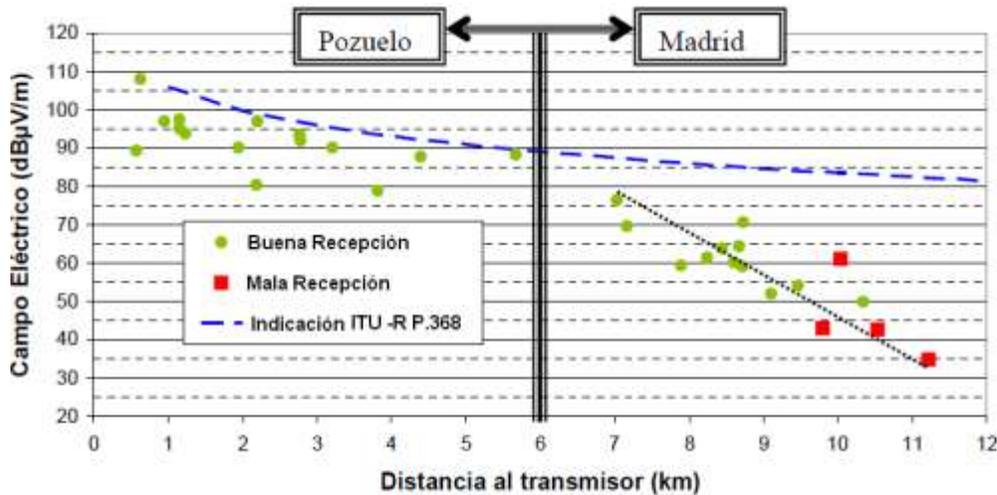


Figura 17. Cobertura Proporcionada por una Potencia DRM de 0,25 KW [6]

- Resultados recepción móvil

Se midieron 88 Km con 34 tramos en entornos urbanos, obteniéndose los resultados de la tabla 32 [6].

Tabla 32. Valores Obtenidos en Recepción móvil Utilizando una Potencia DRM de 0,25 KW [6]

Tramos Medidos	34
Total Kilómetros (Km)	88
Porcentaje Tramos con AudioQ	
>90%	70,6 %
>98%	35,3 %

En general se puede concluir que el porcentaje de recepción fue bueno, pero al comparar con el porcentaje de tramas recibidas sin error es bastante bajo, lo que permite afirmar que la potencia por parte de DRM en *simulcast* no alcanza a dar cobertura a todo el entorno urbano de Madrid, causando que el servicio DRM se vea afectado por el nivel bajo de la señal.

9. Transmisor de estado sólido- Adema

Los transmisores analógicos de estado sólido son los más recomendados para realizar una buena adaptación a la transmisión de señales digitales DRM. Estos cumplen fácilmente con los requisitos de ancho de banda y manejo de potencias, y en Colombia, cierta cantidad de emisoras radiales de MW ya utilizan este tipo de equipos que son aptos para la transmisión digital DRM e IBOC. A manera de ejemplo a continuación se citan algunas de las características de un modelo fabricado por Adema S.A:

- Modelo: TXAM-103.
- Potencia: 10/12 KW.
- 100% estado sólido.
- Módulos enchufables "PLUG-IN".
- Apto para operación digital en IBOC ó DRM.
- Reducción automática de potencia por el aumento de potencia reflejada.
- Modulación por ancho de pulso bifásico.
- Capacidad de modulación de picos positivos: 140%.
- Eficiencia total, mejor que 80%.
- Facilidades para operación remota.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] European Telecommunications Standards Institute, "Digital Radio Mondiale (DRM): System Specification", ETSI ES 201 980 V2.2.1, 2005. Disponible: <http://www.drm.org>. [Última consulta: Mayo 23, 2009].
- [2] DRM Project Office, "Broadcasters' User Manual", 2004. Disponible: http://www.drm.org/fileadmin/media/downloads/Broadcast_Manual.pdf. [Última consulta Enero 30, 2010].
- [3] ITU-R BS.1615, "Parámetros de Planificación para la Radiodifusión Sonora Digital en Frecuencias Inferiores a 30 MHz". Cuestión ITU-R 223/10. Asamblea de Radiocomunicaciones de la ITU, 2003.
- [4] Matías María Jose, "DRM (Digital Radio Mondiale) Local Coverage Tests Using the 26 MHz Broadcasting Band", 2007. Disponible: http://ieeexplore.ieee.org/search/freesrchabstract.jsp?tp=&arnumber=4114810&queryText%3DDRM+%28Digital+Radio+Mondiale%29+Local+Coverage+Tests+Using+the+26+MHz+Broadcasting+Band%26openedRefinements%3D*%26searchField%3DSearch+All. [Última consulta Enero 10, 2010].
- [5] Neves G. Rafael, "Local Digital Radio in the 26 MHz Band Using DRM – Results of the Brasilia Field Trials", 2007. Disponible: http://ieeexplore.ieee.org/search/freesrchabstract.jsp?tp=&arnumber=4404396&queryText%3DLocal+Digital+Radio+in+the+26+MHz+Band+Using+DRM+%E2%80%93+Results+of+the+Brasilia+Field+Trials%26openedRefinements%3D*%26searchField%3DSearch+All. [Última consulta Enero 10, 2010].
- [6] Gil Unai y Guerra David, "DRM field trials – for urban coverage planning in Spain", 2008. Disponible: http://tech.ebu.ch/docs/techreview/trev_2008-Q2_drm-spain.pdf. [Última consulta Enero 20, 2010].
- [7] ITU -R BS.1284-1, "Métodos Generales para la Evaluación Subjetiva de la Calidad del Sonido". Cuestión ITU-R 55/6. Asamblea de Radiocomunicaciones de la ITU, 1997-2003.