



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS SOBRE LA PROPAGACIÓN DE LAS
TRANSMISIONES DE DRM REALIZADAS EN
BRASILIA EN ONDA CORTA.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

P R E S E N T A:

PEÑA BECERRIL IVAN



DIRECTOR DE TESIS:

DR. JOSÉ MARIA MATIAS MARURI

SEPTIEMBRE 2014

Índice

Índice.....	3
I. Introducción.....	6
I.1 Objetivo de la Tesis.....	9
I.2 Organización de la Tesis.....	9
1. Digital Radio Mondiale (DRM).	10
1.1 Características generales de DRM.....	10
1.2 Características técnicas.....	12
1.2.1 Codificación y modulación.....	12
1.2.2 Modos de transmisión de DRM.....	14
1.2.3 Canales lógicos MSC, FAC y SDC.....	15
1.2.4 Redes en multifrecuencia y en frecuencia única.....	16
1.2.5 Simulcast.....	17
1.3 Pruebas hechas con DRM y países que cuentan con transmisiones regulares.....	18
1.4 Radio Digital Mondiale (DRM) vs In-Band On-Channel (IBOC).....	21
2. Pruebas de campo.....	23
2.1 Contexto del proyecto.....	23
2.2 Equipo.....	23
2.2.1 Transmisor.....	23
2.2.2 Receptor.....	26
2.2.3 Puntos fijos de medición y ruta móvil.....	27
2.3 Procedimiento para la realización de las pruebas.....	28
2.4 Características de la transmisión.....	29
2.5 Agenda de transmisiones.....	32
2.6 Parámetros de medida.....	33
2.6.1 Tramas correctamente recibidas (AQ).....	34
2.6.2 Relación Señal a Ruido (SNR).....	35
2.6.3 Densidad Espectral de Potencia (rpsd).....	35
2.6.4 Retardo de multitrayecto (rdel).....	36
2.6.5 Doppler Estimation (rdop).....	37

3. Metodología.....	39
3.1 Factores de degradación de la recepción de la señal.....	39
3.1.1 Herramientas software.....	39
3.1.2 Procesamiento de los datos.....	40
3.1.3 Validación de las rutinas de análisis.....	42
3.1.4 Representación de los resultados obtenidos.....	45
3.2 Valoración subjetiva de audios.....	45
4. Simulaciones de propagación y cobertura.....	48
4.1 VOACAP.....	48
4.1.1. Umbral de recepción para las pruebas de campo de DRM.....	48
4.1.2. Estimación de campo eléctrico.....	53
4.1.3. Probabilidad de recepción.....	55
4.1.4 Importancia del número de SSN (Smoothed Sunspot Number).....	57
4.1.5 Probabilidad de multitrayecto.....	59
4.2. REC533.....	62
5. Análisis y resultados de la evaluación subjetiva de audios.....	64
5.1 Recepción fija 17495 [kHz], modo B/64/16/0/L.....	65
5.2 Recepción fija 17495 [kHz], modo B/64/16/1/L.....	67
5.3 Recepción fija 21495 [kHz], modo B/64/16/0/L.....	69
5.4 Recepción fija 21495 [kHz], modo B/64/16/1/L.....	70
5.5 Recepción móvil 17495 [kHz], modo B/64/16/0/L.....	72
5.6 Resumen.....	74
6. Análisis y resultados de las pruebas de DRM en SW.....	77
6.1 Recepción fija 17495 [kHz] modo B/64/16/0/L.....	77
6.2 Recepción fija 17495 [kHz] modo B/64/16/1/L.....	79
6.3 Recepción fija 21495 [kHz] modo B/64/16/0/L.....	82
6.4 Recepción fija 21495 [kHz] modo B/64/16/1/L.....	83
6.5. Recepción móvil 17495 [kHz] modo B/64/16/0/L.....	85
6.6. Campo eléctrico con variaciones periódicas.....	89
6.7. Campo eléctrico con variaciones esporádicas.....	94
6.8. Casos especiales de caídas del campo eléctrico.....	98
6.8. Resumen.....	100

7. Conclusiones.	105
Anexo 1. Configuración de VOACAP y REC533.	107
1a. Configuración de VOACAP.	107
1a.1. Aspectos generales.....	107
1a.2. Sitio transmisor y receptor.....	108
1a.3. Antenas transmisora y receptora.....	108
1a.4. Manchas solares (SSN).	110
1a.5. Parámetros del sistema.....	111
1a.6. Reporte de salida de VOACAP.....	118
1b. Configuración de REC533.....	118

I. Introducción.

Las bandas de AM y FM actualmente se encuentran en una situación de desventaja desde el aspecto de la calidad del audio y posibilidades de envío de otras aplicaciones. En el mundo actual, la multitud de aplicaciones digitales y móviles existentes, han provocado que la radio comercial entre en un decaimiento en cuestiones económicas.

La migración que se ha planteado para digitalizar la radio, principalmente se ha hecho para aumentar dicha calidad para beneficio de los oyentes y abrir la posibilidad de tener más contenidos en la misma transmisión.

Pero además la radio digital conlleva un mejor aprovechamiento del espectro y como consecuencia del mejor aprovechamiento del espectro, se ha proyectado que crezca el número de radiodifusores y de transmisiones, a comparación de los que se tiene con las transmisiones análogas.

Las bandas de radio AM y FM actualmente se encuentran a su máxima capacidad en muchas regiones del mundo, debido a ello se necesita que exista un mejor aprovechamiento del espectro. Esto se ha conseguido a través de llevar de analógico a digital el servicio de radio.

Además, se ha comprobado que se puede tener la misma cobertura pero con un ahorro de potencia de transmisión, lo que representa un beneficio para los radiodifusores. Adicionalmente, la conversión a digital ha significado la transmisión de servicios adicionales adjuntos al audio transmitido, lo que significa una mejora destacable de la radio digital en cuanto a sus posibilidades.

Para la transición de la radio analógica a digital se buscó que los nuevos receptores comerciales digitales lograran recibir la señal digital, pero que también tuvieran la propiedad de ser un receptor "convencional análogo". El problema en sí, radica en que el proceso a digital debe ser paulatino, y mientras no se complete, el usuario debe poder seguir escuchando la radio analógica, aun teniendo su receptor comercial para radio digital. Para ello se opta por un modelo de transmisión simulcast ó simultánea, que será descrito en la sección 1.2.5.

En resumen, los beneficios de la radio digital más relevantes son:

- ◆ Mejor calidad de audio.
- ◆ Transmisión de contenidos extras.
- ◆ Mayor oferta de transmisiones.
- ◆ Mayor cobertura o menor potencia de transmisión.

Existen diversos estándares de radio digital, los cuales se encuentran aprobados en algunas regiones o países en específico, tales estándares se muestran en la Tabla I.1.

Sistema		Sistema Terrestre, fecha que empezó a operar.	Sistema Satelital, fecha que empezó a operar.
Eureka 147 (ITU-R Digital System A) (También conocido como DAB)		1995 (en el Reino Unido, Noruega, Dinamarca, Suecia).	
DRM (Digital Radio Mondiale) ETSI ES 201 980 V1.2.2 (2003-4)	DRM 30	Pruebas de transmisiones desde el 2000; transmisiones regulares desde Julio de 2003. Para uso de transmisiones por abajo de 30 MHz	
	DRM +	2010. Para uso de transmisiones en un rango de 30 – 240 MHz	
HD Radio (iBiquity Digital) (FCC Docket 99-325, NRSC-5 Standard) en la banda de AM y FM		Desplegado en 2002 (EUA)	
WorldSpace (ITU-R Digital System D _s)			1998
XM Radio			2001 (Norteamérica)
Sirius Satellite Radio			2000 (Norteamérica)
Digital Radio Broadcasting ISDB-TSB (Japan)		(1)	

(1) Sistema en desarrollo. Inicio de pruebas en Tokyo y Osaka en 2003 [2].

Tabla I.1: Estándares de Radio Digital, se indica la fecha de inicio de operaciones. [1]

En la Figura I.1 se muestra la distribución de los estándares a nivel mundial.

I.1 Objetivo de la Tesis.

Realizar estudios y análisis sobre las pruebas de campo de onda corta (SW) para DRM30 realizadas en Brasilia. Para este fin se han de preparar herramientas informáticas para extraer la información relevante para llevar a cabo dichos análisis.

Se analizará el comportamiento del campo eléctrico a lo largo del periodo de pruebas, ya que se ha variado la frecuencia de transmisión y el modo de transmisión de DRM.

Se medirán umbrales de campo y SNR donde se logra una buena recepción y adicionalmente se inferirán las posibles causas de la mala recepción.

Apoyar en la elaboración del informe correspondiente de dicha prueba, que se entregará al gobierno de Brasil con los resultados obtenidos para su evaluación y para que sirva como una herramienta más para decidir si DRM será el estándar que adoptará dicho país.

I.2 Organización de la Tesis.

El trabajo que se presenta se divide en 7 capítulos. En el capítulo 1 se presentan las características generales y principales del estándar DRM.

En el capítulo 2 se explica cómo se llevó a cabo la prueba en SW realizada en Brasilia, se describe el equipo usado, las características técnicas de la transmisión, los parámetros medidos y la agenda de transmisiones que se llevó a cabo. Además se presenta el contexto del proyecto donde se expone el panorama actual de Brasil con respecto a la elección del estándar de radio digital que será adoptado por dicho país.

En el capítulo 3 se destina a definir cómo se llevó a cabo el análisis de datos tanto para la evaluación de la recepción en base a herramientas informáticas, como para la evaluación subjetiva. Se aclara punto por punto los parámetros, herramientas, y documentos en los que se basó dicho análisis, así como la interpretación de los resultados obtenidos.

En el capítulo 4 se presentan los resultados de estimación de campo para las pruebas, usando dos herramientas, VOACAP y REC533.

El capítulo 5 y el capítulo 6 muestran los resultados obtenidos de este trabajo: los errores de recepción, la comparación con las simulaciones hechas en el capítulo 4 y comparación entre algunos resultados entre ambos capítulos.

El capítulo 7 muestra las conclusiones que se alcanzan en este trabajo.

1. Digital Radio Mondiale (DRM).

El Consorcio DRM es un consorcio de radiodifusores, fabricantes, instituciones de investigación, organizaciones de radiodifusoras, organismos no gubernamentales, etc. Su objetivo principal es el desarrollo de la tecnología de radio digital del mismo nombre (Digital Radio Mondiale). El Consorcio DRM tiene participantes de diversos países alrededor de todo el mundo, por ejemplo en Alemania, China, Estados Unidos, Noruega, Malasia, Reino Unido, Japón, México, Australia, etc.

Digital Radio Mondiale es un sistema de radio digital abierto usado en las bandas de transmisión por debajo de 240 MHz (incluyendo LW, SW, MW y las bandas I, II y III de VHF). Ofrece una mejor calidad del sonido combinado con ahorro de potencia de transmisión con respecto a la radio analógica.

DRM se subdivide en dos tecnologías: DRM30 ofrece audio digital, transmisión de datos adicionales y esquemas de transmisión en función de los parámetros de transmisión en frecuencias por debajo de 30 MHz; mientras que DRM+ opera en altas frecuencias entre 30 y 240 MHz.

La implementación de la radio digital se realizará transmitiendo simultáneamente el servicio existente analógico y un servicio de radio digital en paralelo. Por lo que para las radiodifusoras actuales se vuelve una opción de transmitir sin hacer una gran inversión a corto plazo en un transmisor adicional y/o de la antena y el sitio para iniciar un servicio digital (por ejemplo DRM) en una nueva frecuencia.

1.1 Características generales de DRM.

DRM fue específicamente creado para reemplazar las transmisiones análogas de radio en las bandas de AM, FM y VHF, a una transmisión digital, usando el mismo espectro en los cuales operan dichas bandas.

El estándar DRM es abierto, significando beneficios para el propio estándar, ya que la tecnología como tal se encuentra “abierta” para cualquiera que desee desarrollar receptores, transmisores y demás equipo y software. De esta forma se incrementa el desarrollo de dicha tecnología con las mejoras y avances que se le agregan con las implementaciones de particulares a lo largo del mundo.

La estandarización de DRM está publicada por la ETSI. Entre las más relevantes están las siguientes especificaciones:

ETSI ES 201 980 v3.2.1 (2012-06) [4]: Especificación de la “señal en el aire”.

ETSI TS 101 968 v1.2.1 (2004-04) [5]: Especificación referente a las aplicaciones de datos.

ETSI TS 102 820 v3.1.1 [6] *and* *TS 102 821 v1.3.1* [7]: Especificación de la interfaz de distribución.

Las bandas de frecuencia antes mencionadas (AM, FM y VHF) se muestran en la Figura 1.1, y a la vez se observa como DRM hace uso de las mismas bandas para la transmisión digital. Como ya se ha explicado anteriormente, la tecnología DRM se subdivide en DRM30 y DRM+.

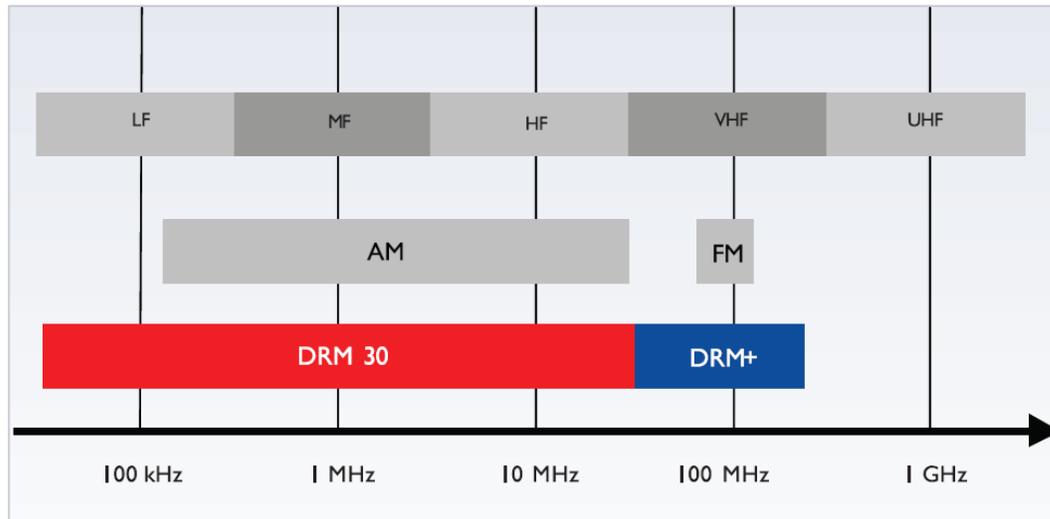


Figura 1.1: Bandas de frecuencia usadas por DRM30 y DRM+. [8]

Como se muestra en la Figura 1.1, DRM30 opera por debajo de 30 MHz mientras que DRM+ por arriba de 30 MHz.

El sistema DRM30 está diseñado para tener comúnmente un ancho de banda de 9 ó 10 kHz, pero se pueden tener anchos de banda del doble y de la mitad de esos valores. De esta forma se puede ajustar la señal DRM30 a cualquier canalización analógica existente en el mundo.

DRM+ fue una extensión de DRM hecha por el Consorcio DRM en 2005, para que en este rango incluyera las siguientes bandas:

- ◆ Banda de TV (47 MHz - 68 MHz).
- ◆ Banda de OIRT FM (65.8 MHz - 74 MHz).
- ◆ Banda de FM Japonesa (76 MHz - 90 MHz).
- ◆ Banda internacional de FM (87.5 MHz - 107.9 MHz).
- ◆ Banda III VHF (174 MHz – 240 MHz).

DRM+ tiene un ancho de banda de 100 kHz, que fue diseñado para encajar con una canalización de 200 kHz y 254 kHz de ancho de banda en FM. Además provee una velocidad de transmisión que puede ir desde 35 kbps a 185 kbps.

En resumen, DRM está diseñado para mejorar la experiencia de escuchar radio comercial, tomando en cuenta la mejor calidad del audio, así como la transmisión de contenidos extras.

1.2 Características técnicas.

La transmisión de la señal DRM y la recepción de dicha señal se observa en la Figura 1.2. En la estación de radio se generan el audio y los contenidos extras a transmitir, después se codifican y multiplexan en un equipo denominado servidor de contenidos, para que posteriormente se modulen en el modulador para ser amplificados y transmitidos al aire.

Los datos son captados por la antena receptora, se bajan a una frecuencia intermedia, posteriormente se demodula la señal de DRM y se demultiplexa para que sea recibida por los receptores comerciales de DRM.

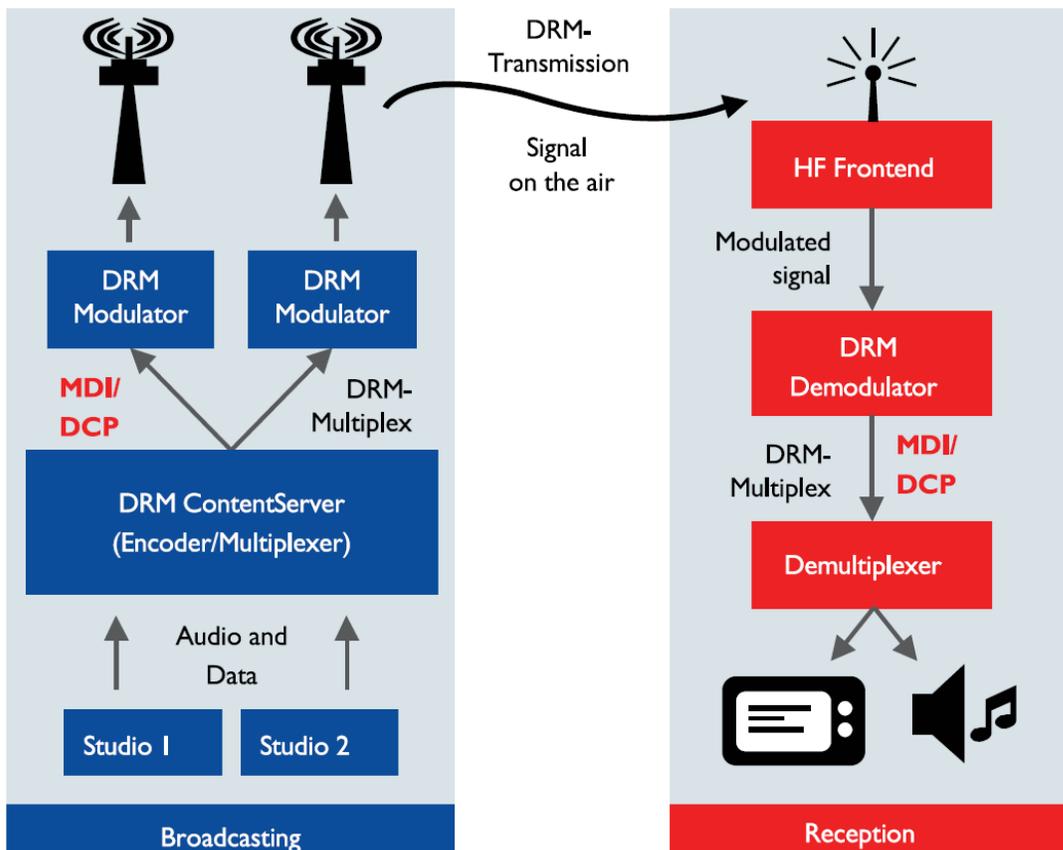


Figura 1.2: Diagrama de cómo se transmite y recibe una transmisión de DRM. [8]

1.2.1 Codificación y modulación.

El sistema DRM usa la modulación COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex). Significa que todos los datos procedentes del audio codificado digitalmente y la información

asociada a ellos estará contenida en un gran número de portadoras de banda estrecha. Todas las portadoras mencionadas estarán viajando dentro del canal de transmisión. Se hace uso de una técnica llamada entrelazado, la cual mitiga los efectos de desvanecimiento que existan en la propagación.

Diversos parámetros de OFDM y de la codificación pueden variar, dependiendo de los diferentes escenarios que se tengan, refiriéndose a las diferentes condiciones de propagación que se tenga en múltiples ambientes. La selección y ajuste de dichos parámetros impacta en la capacidad de la transmisión. La señal transmitida está compuesta por una sucesión de símbolos, separados por un intervalo de guarda, el cual es un prefijo cíclico usado para generar un tiempo muerto para contrarrestar la interferencia entre símbolos debido a los retardos de la señal provocados por el multitrayecto.

Las portadoras deben ser ortogonales entre sí, para que puedan ser demoduladas sin necesidad de filtros que las separen. Cada símbolo transmitido en el sistema DRM contiene entre 88 y 206 subportadoras espaciadas uniformemente a través del canal de transmisión en DRM30, mientras que en DRM+ hay 213 ocupando 96 kHz. El número de subportadoras y otros ajustes de los parámetros están en función de qué tipo de canal de propagación se tenga: onda de superficie (ground wave), onda ionosférica (sky wave) o línea de vista (line of sight), etc.

La modulación usada en las subportadoras es QAM (Quadrature Amplitude Modulation). Se usan dos modulaciones para los datos del programa: 64QAM y 16QAM. La primera de ellas proporciona un alto bit rate (que significa para el usuario una mejor calidad del audio) pero es menos robusto que 16QAM. En DRM+ (modo E) es posible usar cualquiera de los dos: 16QAM o 4QAM para el canal lógico MSC (los canales lógicos son descritos en la sección 1.2.3). El sistema DRM usa la codificación de audio MPEG4 HE-AACv2 para ofrecer alta calidad a velocidades de datos bajas. Además, los codificadores CELP y HVXC están disponibles para codificar solo voz a velocidades de datos aún más bajas. En la práctica, solo AAC ha sido implementado.

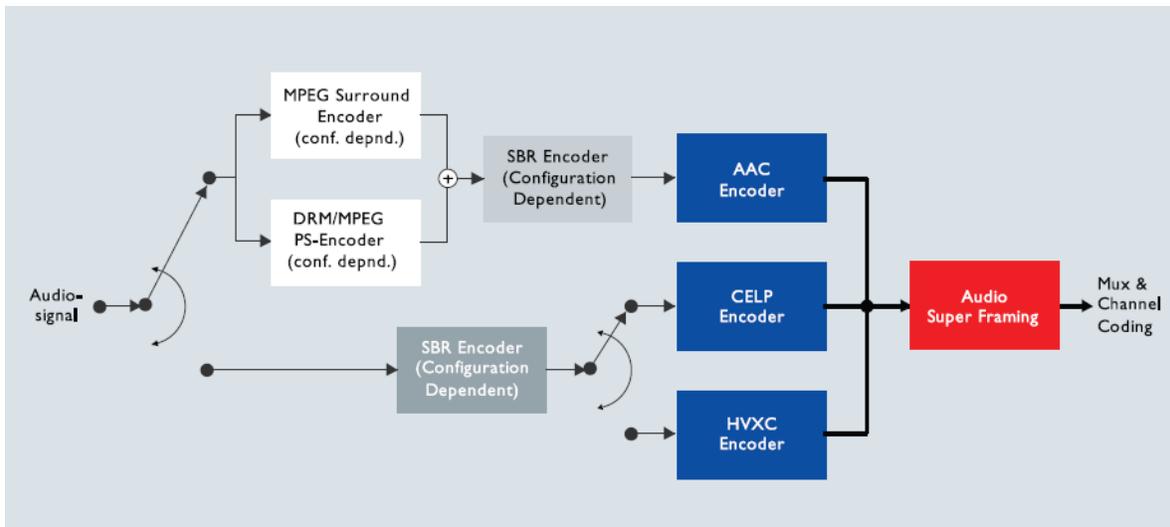


Figura 1.3: Codificación del audio en DRM.[8]

El SBR (Spectral Band Replication) aumenta la eficiencia del códec de audio cuando se tiene un bajo bit rate. SBR es la tecnología que recrea las altas frecuencias en base a las bajas, usando el hecho que las altas frecuencias son armónicas de las bajas frecuencias. [9]

Comúnmente SBR se asocia con un codificador de audio, por ejemplo, MP3 (llamado MP3PRO) o ACC (llamado AACplus o HE-AAC).

1.2.2 Modos de transmisión de DRM.

Como antes se mencionó, con el fin de optimizar la eficiencia del sistema DRM en función del canal de propagación, se pueden ajustar los parámetros de OFDM (espacio entre subportadoras, intervalo de guarda, etc.). El sistema DRM está diseñado para funcionar tanto en propagación en medios ionizados, como en medios no ionizados. Además, es probable que la señal sufra distorsiones y de ruido a través de su paso en el medio, causado por las condiciones adversas que se presentan. Por lo anterior, DRM presenta cinco modos de transmisión que se presentan en la Tabla 1.1.

Modo de transmisión	MSC QAM	Anchos de Banda posibles [kHz]	Usos típicos	Estándar
A	16, 64	4.5, 5, 9, 10, 18, 20	Está diseñado para proporcionar la tasa de bits más alta posible en el contexto de la onda de superficie o en línea de vista.	DRM30
B	16, 64	4.5, 5, 9, 10, 18, 20	Es la primera opción cuando se trata de onda de cielo (sky wave) y AM nocturna.	
C	16, 64	10, 20	Cuando las condiciones del medio son muy complicadas para la propagación de la señal (gran multitrayecto, gran número de reflexiones, etc., en propagación de onda ionosférica).	
D	16, 64	10, 20	Usado cuando existe todavía un valor más alto de desplazamiento doppler y de retardos en propagación. Típica para propagación NVIS.	
E	4, 16	100	Es usado para la banda de VHF	DRM+

Tabla 1.1: Modos de transmisión de DRM.

1.2.3 Canales lógicos MSC, FAC y SDC.

El esquema de las tramas usadas en DRM fue diseñado para que los receptores realicen el ajuste, la resintonización y operaciones al contenido lo más eficientemente posible. Por lo que existen tres diferentes clases de datos, los cuales desempeñan funciones diferentes y colaboran para que las tareas antes mencionadas se lleven a cabo.

El audio codificado y los servicios de datos de radiodifusión forman el MSC (Main Service Channel). En el FAC (Fast Access Channel) y SDC (Service Description Channel) se describen los parámetros de decodificación para que el receptor los interprete, además de otros datos básicos de la transmisión. Los datos en el FAC no se encuentran entrelazados, con el objetivo de que el receptor se sincronice y obtenga la modulación del MSC lo más rápido posible. Cuando se transmiten varios contenidos, es necesario tener un número de bloques FAC para la descripción de esos servicios adicionales.

El SDC se transmite al inicio de cada trama a través de todas las portadoras por un período de dos símbolos. Estos datos son normalmente estáticos y por lo tanto repetitivos, permitiendo que el receptor se encuentre perfectamente sincronizado para utilizar este período para la conmutación de frecuencia alternativa (AFS). El tema de la frecuencia alternativa se trata en el punto 1.2.4.

En la SDC transmite datos e información clave, incluyendo:

- ◆ Descripción de la multiplexación.
- ◆ Señalización de la frecuencia alternativa.
- ◆ Hora y fecha de la información.
- ◆ La información del audio.
- ◆ Canal de parámetros FAC.
- ◆ Lenguaje y datos del país.
- ◆ Señalización de las reconfiguraciones.

En la Figura 1.4 se muestra la relación temporal de la trama entre las tres clases de datos que se transmiten en DRM.

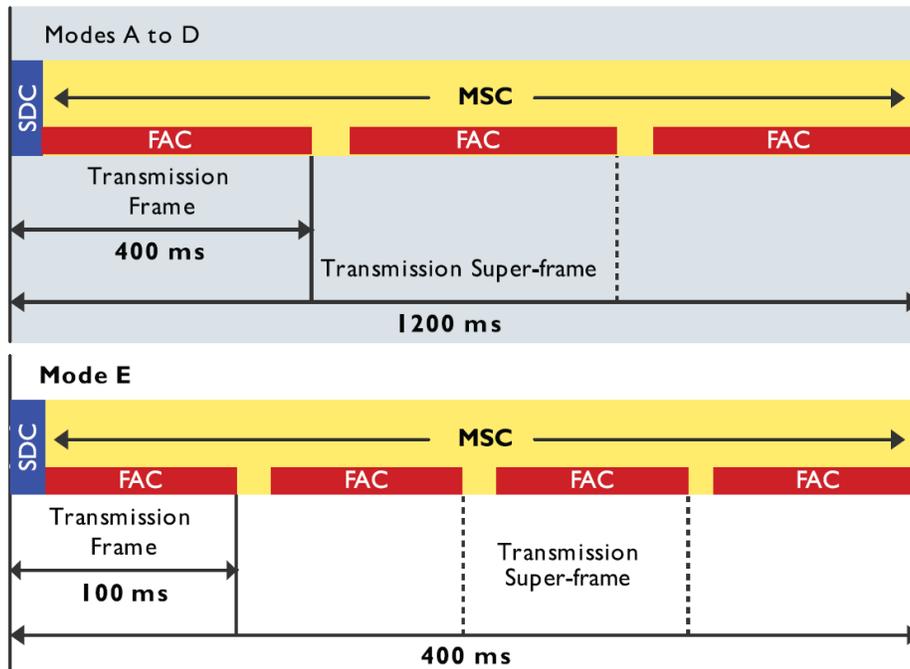


Figura 1.4: Estructura de la trama en DRM30 y DRM+. [8]

1.2.4 Redes en multifrecuencia y en frecuencia única.

El sistema DRM es capaz de soportar redes en frecuencia única (SFN). Un número determinado de transmisores en la misma frecuencia, emiten idénticas señales DRM (Figura 1.5a). En general, estos transmisores están dispuestos para que exista superposición en algunas zonas de cobertura, dentro de las cuales un radio recibe señales desde más de un transmisor. Siempre que dichas señales lleguen al receptor dentro de una diferencia de tiempo menor que el intervalo de guarda, proporcionan un refuerzo de la señal. Así, la cobertura del servicio será mejorado en ese lugar, en comparación con la obtenida si sólo hubiera un transmisor proporcionando servicio en la misma zona. Mediante un diseño cuidadoso y el uso de un número de transmisores en una SFN, una región o un país pueden estar completamente cubiertos con una única frecuencia, mejorando notablemente la eficiencia del uso del espectro.

Una red de frecuencia múltiple (MFN) consiste en la transmisión de señales DRM idénticas, pero la frecuencia utilizada para cada transmisor es diferente (Figura 1.5b). La señal de DRM proporciona un breve período durante el cual se transmite sin datos MSC. Esto no es audible para el oyente como los datos de reprogramación en el receptor para asegurar que los datos sean continuos en el decodificador de audio. Sin embargo, este período ofrece un breve intervalo de tiempo, durante el cual el receptor puede sintonizar a una frecuencia alternativa (AFS) que lleva el mismo programa, con el fin de determinar la calidad de señal en la frecuencia alternativa. Si la calidad de la frecuencia alternativa es mejor, el receptor puede permanecer en esa frecuencia, si no se puede volver a la frecuencia original. Sin embargo, esta operación sólo funciona sin problemas si las señales en las frecuencias alternativas están sincronizadas con precisión en el receptor. La operación de una red MFN se basa en el uso de señalización AFS. Cuando un receptor está equipado con dos cadenas de decodificación de señal, es posible comparar dos o más señales en

una base continua o incluso combinar las señales para proporcionar una mejora significativa en la fiabilidad de recepción a través de la frecuencia y la diversidad de propagación de la ruta.

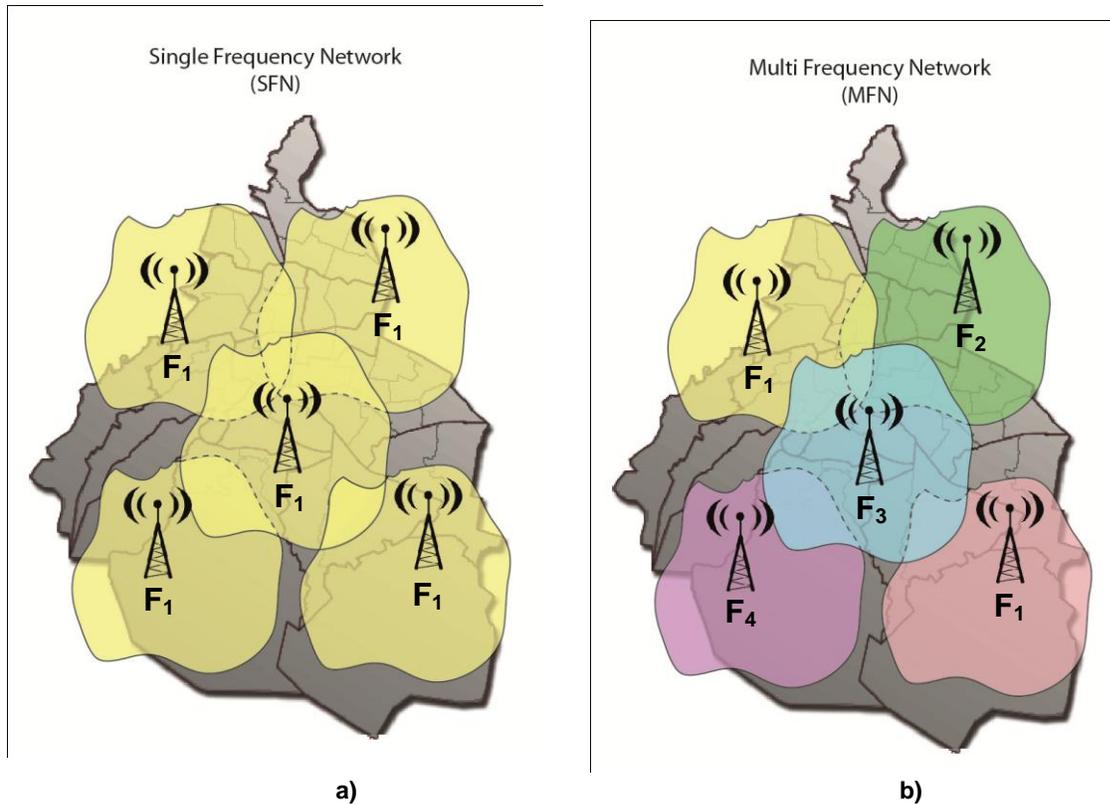


Figura 1.5: Esquemas de transmisión a) SFN, b) MFN

1.2.5 Simulcast.

El simulcast se refiere a la transmisión simultánea de versiones analógicas y digitales del mismo programa desde el mismo transmisor y por lo tanto desde una ubicación común. En algunos casos, podría ser más económico para el radiodifusor añadir un nuevo transmisor de menor potencia para el servicio de DRM.

DRM es compatible con una serie de diferentes opciones de transmisión simultánea. La especificación *ETSI TS 102 509* [10] describe un modo de un solo canal de transmisión simultánea para los canales 9/10kHz (Figura 1.6), por el que se sustituye la banda lateral superior de la señal AM con un 4.5/5 kHz señal de DRM, y la banda lateral inferior es procesada para producir una envolvente resultante compuesta que pueda ser demodulada por un receptor de AM convencional, mientras que la banda lateral superior es procesada por un receptor digital, y al mismo tiempo discrimina la banda lateral inferior, si así se desea.

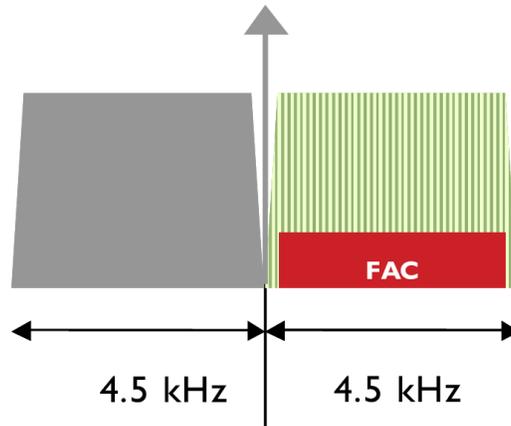


Figura 1.6: Representación de la señal DRM compartiendo un solo canal con la transmisión analógica. [8]

La señal de DRM puede ser localizada en el siguiente canal adyacente superior o inferior (Figura 1.7) y puede ocupar medio canal o todo el canal en función de la opción de ancho de banda deseado. Pruebas significativas, tanto en el laboratorio como en el campo, se han llevado a cabo para determinar el nivel óptimo de la señal de DRM necesaria para proporcionar una buena calidad de servicio de DRM (alrededor de 14-16 [dB] por debajo del nivel de la portadora analógica adyacente), evitando al mismo tiempo un impacto significativo en el servicio analógico.

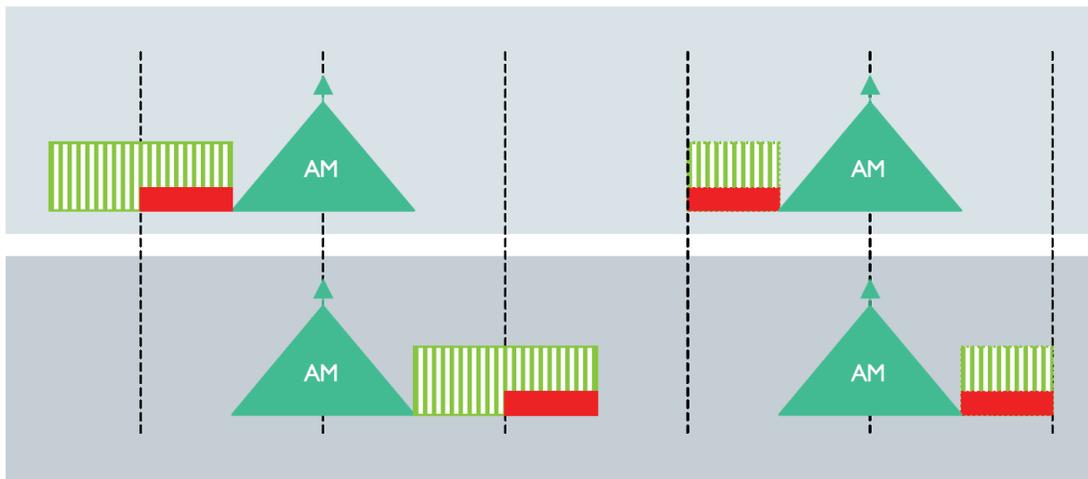


Figura 1.7: Representación de la señal DRM adyacente a la transmisión analógica. [8]

1.3 Pruebas hechas con DRM y países que cuentan con transmisiones regulares.

Diversas pruebas de campo se han realizado en todo el mundo utilizando el sistema DRM. Los resultados confirman que el sistema DRM (tanto DRM30 y DRM+) se pueden implementar para satisfacer una amplia gama de requisitos en todos los tipos de entorno. Algunos informes de pruebas del estándar se muestran en la Tabla 1.2.

Año	Título del informe	Banda de Frecuencias
2004	DRM test in the MF band in Madrid*	MF
2005	DRM Local Coverage using the 26 MHz Broadcasting Band in Mexico City*	26 MHz
2006	DRM test in the MF band in Mexico City*	MF
2006	DRM/AM simulcast tests at MW in Mexico*	MF
2006	DRM test in the MF band in Italy*	MF
2007	DRM trials in India: simulcast MW, Tropical Band NVIS and 26 MHz local broadcasting*	MF, HF, 26 MHz
2007	Digital Radio Mondiale field trials in Brasilia for local radio coverage using the 26 MHz band	26 MHz
2007	DRM trial Spain: Multichannel Simulcast, urban and indoor reception in MW Band *	MF
2008	Local Radio using Digital Radio Mondiale(DRM) in the 26 MHz Band, Germany	26 MHz
2008/2009	DRM + field trials in the VHF Band II in Kaiserslautern	Band II
2009	Project Mayflower: The DRM Trial, UK	MF
2009	Field trial with DRM in Paris	Band I
2010	DRM + field trials in the VHF Band III in Kaiserslautern	Band III
2010	Results of the DRM FM band field trial in Sri Lanka	Band II
2011	DRM Single Frequency Network Field Test Results, Hanover	Band II
2011	Results of the DRM field trial in Band I in Turin, Italy	Band I
2011	Results of the DRM High Power Field Trial in the United Kingdom	Band II
2012	Radio Agora Côte d'Azur in Nice, France, tested DRM+ on 60 MHz	Band I
2013	DRM+ trial in Norway (Trondheim)	Band II
2013	Brittany DRM+ Trials (France)	Band II
2013	Nice DRM+ Trials (France)	Band I
2014	Trials of DRM+ by the Community Media Forum Europe started in Stockholm, Sweden	Band III

Tabla 1.2: Pruebas hechas con DRM en diversas ciudades del mundo.[11][12]

Servicios regulares de DRM				
Europa	África	Asia	Oceanía	América
Alemania, Armenia, Austria, Bulgaria, Eslovaquia, España, France, Italia, Noruega, Reino Unido, Rumania, Rusia, Vaticano.	Nigeria, Ruanda.	India, Malasia, Tailandia.	Australia, Nueva Zelanda.	Canadá, Chile, Costa Rica, Guyana Francesa.

Tabla 1.3: Listado de países por continente donde ya existen transmisiones regulares de DRM.

1.4 Radio Digital Mondiale (DRM) vs In-Band On-Channel (IBOC).

Actualmente Brasil se encuentra evaluando que norma de radio digital adoptará. La elección se centra en dos estándares, DRM (Digital Radio Mondiale) impulsada por Europa e “In Band On Channel” (IBOC) más conocido por su nombre comercial HD Radio, por parte de Estados Unidos. La decisión es fundamental porque probablemente la mayoría de los países Sudamericanos adoptarán la misma norma, ya que similarmente ocurrió con la norma japonesa-brasileña ISDB-T para televisión digital que se implementó en Brasil a partir de 2007, y que terminaron adoptando otros países de Sudamérica.

Una comisión formada por el área de gobierno, la industria electrónica y de radiodifusión, propondrá al Ministerio de Comunicaciones qué estándar digital se debería adoptar con el fin de escoger el modelo que lleve a la digitalización radiofónica en Brasil. Parte de este trabajo es obtener resultados sobre las transmisiones en onda corta de DRM. Se han realizado diversas pruebas de DRM en Brasil en las bandas de AM y FM en Sao Paulo, Rio de Janeiro, Brasilia y Belo Horizonte, reportando los resultados a la comisión organizada en Brasil para la toma de decisión del estándar digital.

Referencias.

[1] World Broadcasting Unions Technical Committee. *Digital Radio Guide*. 2007.

[2] DIGITAL BROADCASTING IN JAPAN

Disponible en: <http://www.broadcastpapers.com/whitepapers/BAsia04MPHPTJapanHDTV.pdf>

[Fecha de consulta: Marzo/2014]

[3] Countries Using Digital Radio Technologies

Disponible en: <http://www.radioworld.com/article/countries-using-digital-radio-technologies/23967>

[Fecha de consulta: Febrero/2014].

[4] European Telecommunications Standards Institute, European Broadcasting Union. *Digital Radio Mondiale (DRM); System Specification*. ETSI ES 201 980 v3.2.1 (2012-06). 2012.

[5] European Telecommunications Standards Institute, European Broadcasting Union. *Digital Radio Mondiale (DRM); Data applications*. ETSI TS 101 968 v1.2.1 (2004-02). 2004

[6] European Telecommunications Standards Institute, European Broadcasting Union. *Digital Radio Mondiale (DRM); Multiplex Distribution interface (MDI)*. ETSI TS 102 820 v3.1.1 (2010-2012). 2010

[7] European Telecommunications Standards Institute, European Broadcasting Union. *Digital Radio Mondiale (DRM); Distribution and Communications Protocol*. ETSI TS 102 821 v1.3.1 (2010-2012). 2010

[8] DRM Introduction and Implementation Guide. Published by DRM Consortium. 2013

Disponible en: <http://www.drm.org/>

[Fecha de consulta: Febrero/2014]

[9] Spectral Band Replication (SBR)

Disponible en: <http://www.telecomabc.com/s/sbr.html>

[Fecha de consulta: Marzo/2014]

[10] European Telecommunications Standards Institute, European Broadcasting Union *Radio Mondiale (DRM); Single Channel Simulcast*. ETSI TS 102 509 v1.1.1 (2006-05). 2006

[11] Information on DRM field trials.

Disponible en: http://www.drm.org/?page_id=199

[Fecha de consulta: Febrero/2014]

[12] DRM+, High quality digital radio broadcasting?

Disponible en: <http://drmplus.com/>

[Fecha de consulta: Marzo 2014]

[13] DRM Implementation and Status update in the region. Ruxandra Obreja (DRM Consortium Chair).

Disponible en: <http://www.itu.int/ITU-D/asp/CMS/Events/2013/ITU-ABU-AIBD/>

[Fecha de consulta: Febrero/2014]

2. Pruebas de campo.

En este capítulo se detallará el escenario en que fueron realizadas las pruebas de DRM de Onda Corta (SW) en Brasil, en lo relacionado a la infraestructura usada, los procedimientos y parámetros de medida.

2.1 Contexto del proyecto.

Actualmente en Brasil se decide sobre que estándar de radio digital adoptará, lo que es una decisión importante tanto para ellos como país, como también a nivel regional, principalmente refiriéndose a Sudamérica y a los demás países de Latinoamérica. Para ello, el Gobierno de Brasil decidió realizar varias pruebas reales de transmisión con diferentes tecnologías y en diferentes bandas de frecuencia.

Una de las pruebas técnicas que realizó el gobierno de Brasil es la prueba de campo en onda corta reportada en este trabajo. Es por ello que parte de este trabajo se usó en el reporte de las pruebas de onda corta para la comisión asignada en Brasil para decidir el estándar de radio digital que adoptará dicho país. El objetivo del reporte es el de evaluar el desempeño de DRM30 en SW. Las pruebas fueron hechas por el Instituto Nacional de Metrología (InMetro) en conjunto con TDF, el Consorcio DRM y la Universidad Nacional Autónoma de México, con apoyo de ANATEL, EBC (Empresa Brasil de Comunicação), Thomson, el grupo de investigación TSR de UPV/EHU y el IIS de Fraunhofer, todo ello con la supervisión del Ministerio de Comunicaciones de Brasil.

2.2 Equipo.

En la prueba de campo se ha usado equipo de comunicaciones que hiciera posible tanto la transmisión como la recepción de la señal en Brasilia. En este apartado se especifica el equipo transmisor y el equipo receptor usado durante la prueba.

2.2.1 Transmisor.

El transmisor está localizado a 20 [km] hacia el suroeste de Cayenne, capital de la Guyana Francesa, en la estación transmisora de onda corta de TDF en Montsinery (Figura 2.1). Montsinery es una estación controlada remotamente desde Paris (Francia).

La potencia de transmisión fue de 100 [kW] RMS y se usó un arreglo de antenas Alliss (antena de cortina) con una ganancia aproximada de 20 [dBi]. El objetivo de cobertura de la transmisión fue el centro y sur de Brasil. Los puntos de prueba fueron en la ciudad de Brasilia. Durante las pruebas, no solamente fue transmitido audio, sino que además se transmitieron imágenes, para demostrar la posibilidad de transmitir contenidos extras en SW.

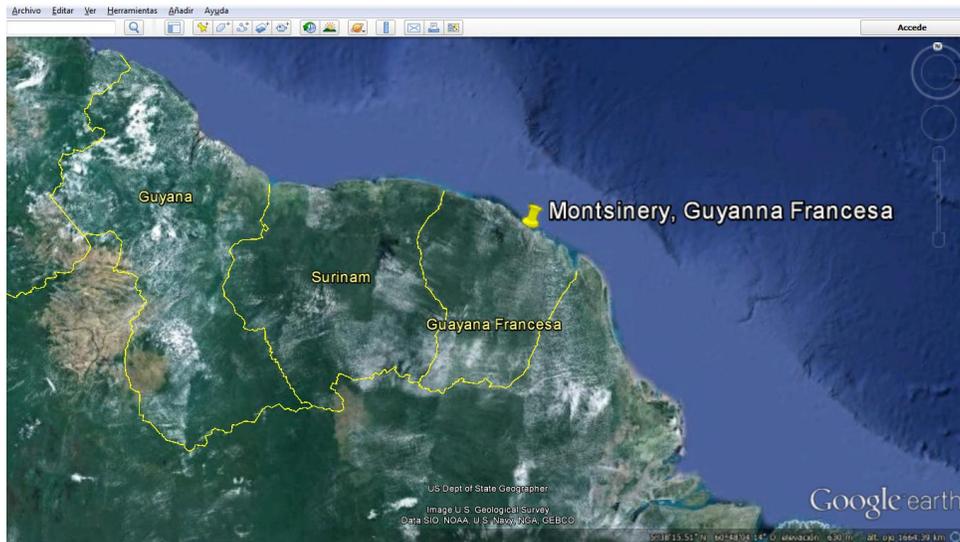


Figura 2.1: Ubicación de Montsinery, en la Guyana Francesa.

El transmisor, es un TSW 2250 de la empresa Thales, que provee una potencia máxima de 250 kW en señales análogas y 150 kW para señales digitales.



Figura 2.2: Transmisor TSW 2250 de THALES.

La antena usada fue una Alliss, la cual tiene la clave 211 en los códigos de referencia de la ITU. La ITU la define como "Curtain antenna, half-wave dipole array, multi band, centre-fed, aperiodic reflector". Está referenciada como AHR 4/3/0.5, lo cual significa 4 elementos en una misma fila, 3 elementos en la misma columna y 0.5λ por encima del suelo. La antena es direccionable, ya que se puede girar.



Figura 2.3: Antena ALLISS en la estación de Montsinery.

En las Figuras 2.4 y 2.5 se muestra el patrón de radiación vertical y horizontal de dicha antena, los cuales fueron obtenidos con el software HFANT, que viene contenido como parte de VOACAP, un software de predicción de cobertura y condiciones de propagación. La antena fue apuntada a Brasilia con un azimuth de 167° y un ángulo de elevación de 0°.

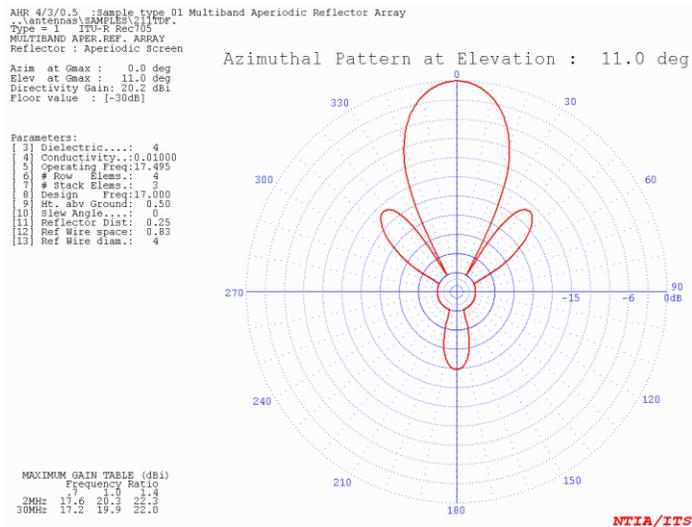


Figura 2.4: Patrón de radiación azimutal.

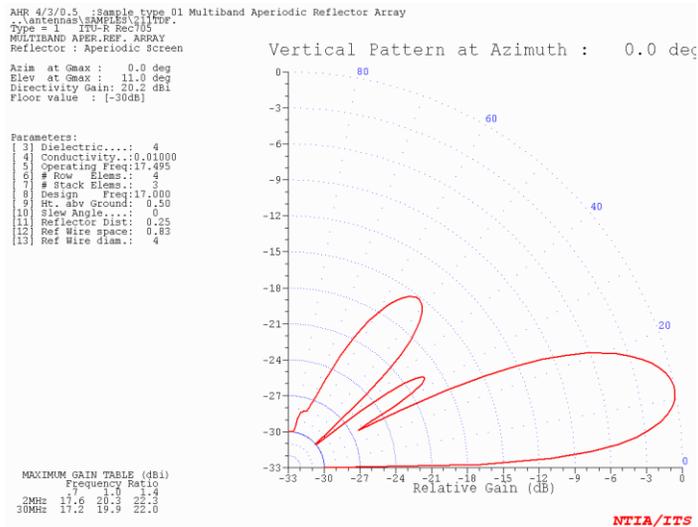


Figura 2.5: Patrón de radiación vertical.

2.2.2 Receptor

Se usaron dos tipos de receptores, un receptor profesional y dos receptores comerciales. En la Tabla 2.1 se especifica los receptores que fueron usados.

Se usó una unidad móvil de EBC que fue especialmente equipada con el fin de realizar las mediciones. Se usó una antena HE011 (monopolo) con un factor K de 17 [dB/m].

El factor K es un parámetro de la antena que permite conocer la magnitud del campo eléctrico, sabiendo el voltaje a la entrada del receptor [1]



Figura 2.6: Camioneta de la EBC usada para las pruebas.



Figura 2.7: Receptores comerciales Uniwave e Himalaya.

	Marca y modelo	Descripción
Antena Monopolo	Rohde & Schwarz HE011	Rango de frecuencias: 0.05 a 30 MHz. Factor K: 17.5 [dB/m]
Analizador de espectros	Anritsu, Spectrum Master MS2711D	Rango de frecuencias: 100 [kHz] a 3 [GHz]
Receptor profesional DRM	FhG DT700	Receptor DRM
Receptor comercial DRM	Uniwave	Receptor DRM
Receptor comercial DRM	Himalaya	Receptor DRM

Tabla 2.1: Equipo principal usado durante las pruebas.

2.2.3 Puntos fijos de medición y ruta móvil.

Durante las pruebas se evaluaron dos tipos de recepción, la recepción estática y la recepción móvil. La mayoría de las pruebas se realizaron con recepción fija, ya que es el modo usual de recepción en onda corta. Además se realizaron pruebas para recepción móvil durante un día únicamente. Las mediciones fijas fueron hechas en el estacionamiento de la Universidad de Brasilia (coordenadas geográficas: 15°46'1.14"S Latitud y 47°52'6.72" Longitud).

La ruta donde se realizaron las mediciones móviles se muestran en la Figura 2.8. Es una ruta de 45 [km] que atraviesa ambientes urbanos y rurales.

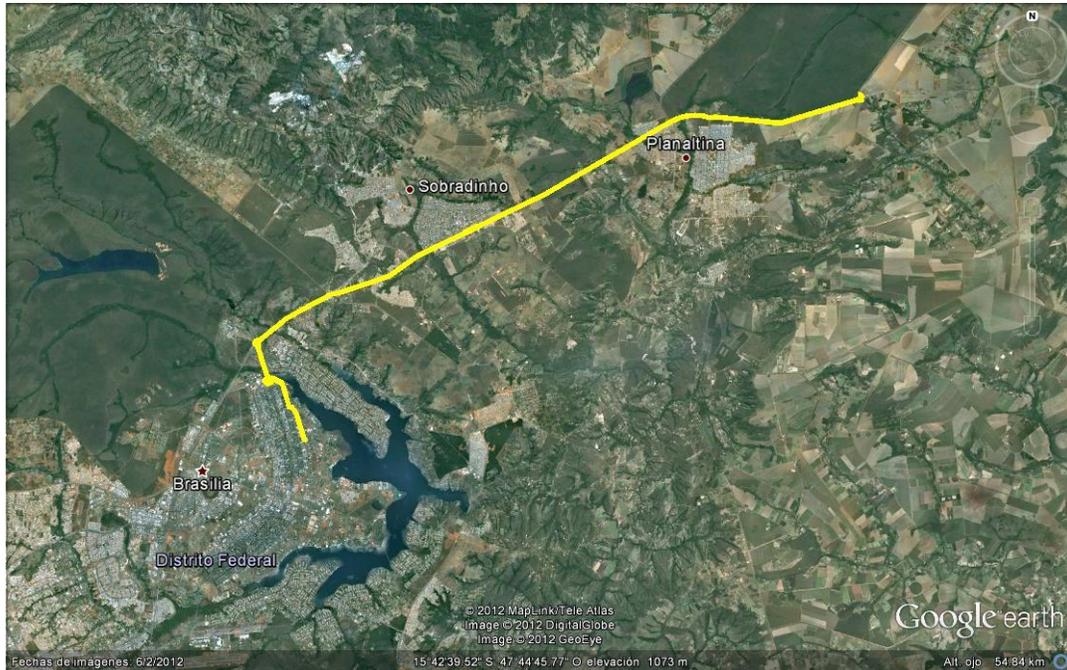


Figura 2.8: Ruta de prueba de recepción móvil.

2.3 Procedimiento para la realización de las pruebas.

El objetivo de esta prueba en particular (SW en DRM30 realizada en Brasilia) fue el de conocer el comportamiento del sistema DRM en transmisiones de largo alcance en Onda Corta.

Se contó con la participación de TDF como administradora de la estación transmisora ubicada en Montsinery. Y la participación de la EBC para tomar las mediciones en campo, además del Ministério das Comunicações de Brazil

Se llevaron a cabo mediciones estáticas y mediciones móviles. Las mediciones estáticas fueron tomadas en el estacionamiento de la Universidad de Brasilia, ubicada al centro de Brasil, como se muestra en la Figura 2.9. La distancia aproximada entre la antena transmisora y la universidad de Brasilia es de 2341 [km], como se muestra con ayuda de Google Earth en la Figura 2.10. Las mediciones móviles fueron realizadas a través de una ruta de 45 [km] (Figura 2.8).



Figura 2.9: Se muestra la ubicación de la Universidad de Brasil, así como de la ubicación de la antena transmisora en Montsinery.

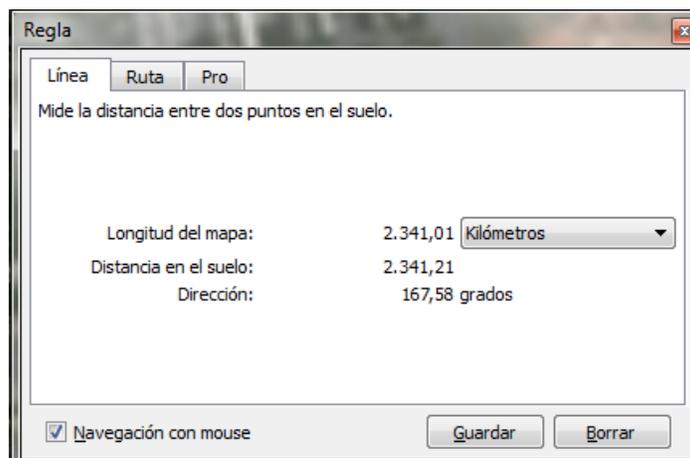


Figura 2.10: Distancia aproximada entre la Universidad de Brasil y Montsinery con ayuda de las herramientas de Google Earth.

Las pruebas se realizaron durante tres semanas del mes de Diciembre de 2011. Los días 5, 6 y 7 de diciembre se usaron sólo para verificar el transmisor y el sistema de recepción. La recepción de datos se inició el 8 de diciembre, cuando el receptor DT-700 llegó de Alemania.

También se probó a diferentes horas del día, para comprobar el funcionamiento de DRM en diferentes frecuencias y horas (con diferentes condiciones de propagación).

2.4 Características de la transmisión.

La propagación en SW es muy complicada debido a la variabilidad de las condiciones de la ionosfera a lo largo de un día, puesto que cambia a razón de la hora de cada día, la estación de año y el ciclo solar (11 años), que afecta directamente a la ionización de la atmosfera. Lo anterior

demanda que la señal tenga las características adecuadas para su propagación con las diversas características que se pueden presentar en el canal, ya que afecta directamente a la tasa de transmisión máxima que puede alcanzar. Por todo lo anterior se debe elegir el modo de transmisión de DRM30 más apto para contrarrestar los efectos de la propagación mencionados anteriormente.

En la Tabla 2.2 se resumen especificaciones acerca de la transmisión.

Especificaciones técnicas de la transmisión		
Frecuencias [MHz]	17.495	21.495
Localización del transmisor	Montsinery, Guyana Francesa 4° 53' 39"N 52° 30' 43"W	

Transmisor Thales	
Potencia Nominal [kW]	Potencia usada en la prueba [kW]
250 (Análogo)	100
150 (Digital)	

Antena ALLIS
Antena de cortina, arreglo de dipolos de media onda
Ganancia 20 [dBi] (12° de elevación)
Polarización horizontal

Tabla 2.2: Características técnicas de la estación de Montsinery de TDF.

Como se vio en la sección 1.2.2, la señal DRM se puede configurar con diferentes modos de transmisión donde se ajustan diversos parámetros de OFDM. En este caso se usaron dos modos de transmisión, ambos con una modulación de 64QAM del MSC, el primero de ellos fue denominado Modo 0, que es menos robusto que el segundo (denominado Modo 1). El Modo 1 tiene mayor capacidad de transmisión. Además fueron usadas dos frecuencias: 17495 [kHz] y 21495 [kHz].

El modo de robustez elegido para las transmisiones de SW fue el modo B, ya que ese es el adecuado para transmisiones de largo alcance en SW. Como ya se ha mencionado, se usaron dos diferentes configuraciones (Tabla 2.3). La diferencia entre ellos es el nivel de protección, el primero de ellos tiene un nivel de protección de 0 (llamado Modo 0) lo que significa una tasa de codificación de 0.5. El segundo tiene un nivel de protección de 1 (llamado Modo 1) con una tasa de codificación

de 0.6. Con las tasa de transmisiones de ambos modos se alcanza una codificación de audio AAC con estéreo paramétrico. En la Tabla 2.3 se muestran las características de estos dos modos de transmisión.

	OFDM (Modo de robustez)	Ancho de banda [kHz]	Modulación del MSC	Modulación del SDC	Tasa de codificación	Entrelazado	Bit- rate (kbps)
Modo 0	B	10	64-QAM	16-QAM	0.5	Longitud de 2 s	17.46
Modo 1	B	10	64-QAM	16-QAM	0.6	Longitud de 2 s	20.96

Tabla 2.3: Características de los modos de transmisión de DRM usados en las pruebas.

Como ya se mencionó, el modo de transmisión define la capacidad de transmisión de DRM. Mencionando que la calidad del servicio viene dada por la tasa de transmisión.

Durante las pruebas, además del audio, se enviaron imágenes para demostrar la utilidad de los servicios de datos adicionales. Las imágenes enviadas tenían una resolución de 320x240 píxeles y un tamaño mínimo de 7.22 [kB] y un máximo de 15.8 [kB]. Las imágenes se enviaron con una aplicación denominada MOT Slideshow, que permite representarlas, y que sean seleccionadas por el usuario.

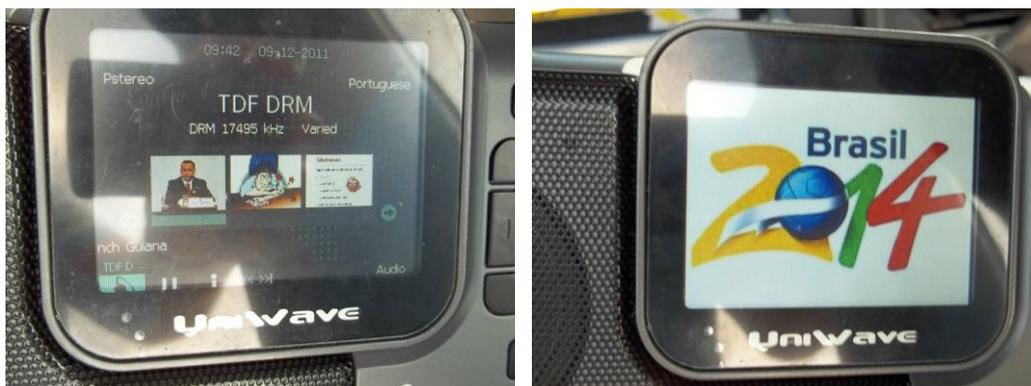


Figura 2.11: Imágenes vistas en el receptor comercial Uniwave.

	Bit rate total [kbps]	Bit rate del canal de audio [kbps]	Codificación del audio	Bit-rate del canal de datos [kbps]	Tamaño de la imagen (aprox.)	Tiempo de descarga de la imagen
Modo 0	17.46	16.56	AAC P-Stereo	0.9	15 [kB]	130 s
Modo 1	20.96	17.56	AAC P-Stereo	3.4	15 [kB]	35 s

Tabla 2.4: Tasas de transmisión de los contenidos durante las pruebas.

2.5 Agenda de transmisiones.

Las pruebas fueron realizadas en el mes de Diciembre de 2011, desde el día 5 y hasta el día 21, siendo un total de 13 días de pruebas (no se realizaron transmisiones los días sábados y domingos).

Se usaron diferentes horarios y días a razón de evaluar el desempeño durante la mayor parte del día las transmisiones hechas con las diferentes combinaciones de frecuencias y modos, observados en la Tabla 2.5.

Todas las fechas y los horarios de las transmisiones se muestran en la Tabla 1.7. Se indica la hora en UTC (Tiempo Universal Coordinado). Se recuerda que la hora local en Brasil fue UTC-2 en las fechas en las que se realizaron las pruebas, es decir, dos horas menos que la hora UTC.

Semana	Día	Hora (UTC)	Frecuencia (kHz)	Modo de transmisión DRM
1	05/12/2011	11:00 a 13:00	17495	Modo 1
	06/12/2011	11:00 a 12:36	17495	Modo 1
		12:37 a 13:00	17495	Modo 0
	07/12/2011	11:00 a 13:00	17495	Modo 0
	08/12/2011	11:00 a 13:00	17495	Modo 0
	09/12/2011	11:00 a 12:00	17495	Modo 0
		12:00 a 13:00	21495	Modo 0

2	12/12/2011	12:00 a 13:00	21495	Modo 0
		16:00 a 18:00	21495	Modo 0
	13/12/2011	12:00 a 14:00	21495	Modo 1
		17:00 a 18:00	17495	Modo 1
	14/12/2011	12:00 a 14:00	21495	Modo 1
		17:00 a 18:00	17495	Modo 1
	15/12/2011	12:00 a 14:00	21495	Modo 1
		16:00 a 16:39	17495	Modo 1
		16:40 a 18:00	17495	Modo 0
	16/12/2011	12:00 a 14:00	21495	Modo 1
16:00 a 18:00		17495	Modo 0	
3	19/12/2011	18:00 a 19:55	17495	Modo 0
	20/12/2011	18:00 a 19:55	17495	Modo 0
	21/12/2011	18:00 a 19:55	17495	Modo 0

Tabla 2.5. Calendario de transmisiones organizadas por el día que se llevaron a cabo

2.6 Parámetros de medida.

Los parámetros de medida que puede ofrecer un receptor profesional DRM están especificados en el documento de la *ETSI TS 102 349 V3.1.1 (2010-12) Digital Radio Mondiale (DRM); Receiver Status and Control Interface (RSCI)* [2]. De todos esos parámetros se escogieron los siguientes para el estudio: tramas correctamente recibidas, relación señal a ruido, densidad espectral de potencia, retardo de multitrayecto, estimación de interferencia de banda estrecha y estimación doppler. Los parámetros seleccionados son de ayuda para analizar las características de la propagación y los resultados de la recepción.

Los parámetros ya mencionados se relacionan con un *tag* (una mayor explicación acerca de los *tags* será presentada en el capítulo 3), que son datos que vienen contenidos en la trama recibida en el receptor. En la Tabla 2.6 se muestran los *tags* que se usaron y a que se refiere cada uno de ellos.

Tag	Parámetro
rpsd	Densidad espectral de potencia. (Power Spectral Density)
rsnr	SNR en el receptor. (Receiver signal to noise ratio)
rnic	Interferencia de banda estrecha basado en la constelación. (Narrow Band Interferer constellation based)
rnip	Interferencia de banda estrecha basado en la densidad espectral de potencia. (Narrow Band Interferer power spectral density based)
rdop	Estimación Doppler. (Doppler estimation)
rdel	Ventana de retraso. (Delay window)
rdbv	Magnitud de la señal recibida (en voltaje). (Received signal strength)
rgps	Información GPS. (GPS information)
fmjd	Fecha fraccional Juliana modificada. (Fractional Modified Julian Date)
rwmm	Tasa de error de modulación para el MSC. (Weighted Modulation Error Ratio for MSC cells)
rwmf	Tasa de error de modulación para el FAC. (Weighted Modulation Error Ratio for FAC cells)
rafs	Estatus del audio. (Audio status)
rsta	Estado de receptor. (Status of receiver)

Tabla 2.6: Significado de cada uno de los tags usados.

2.6.1 Tramas correctamente recibidas (AQ).

Este parámetro hace referencia a las tramas correctamente decodificadas en determinado tiempo con respecto a las transmitidas en ese mismo intervalo de tiempo.

$$AQ(\%) = \frac{\text{Numero de tramas de audio correctamente decodificadas}}{\text{Numero de tramas de audio transmitidas}}$$

Este parámetro define si la transmisión fue recibida correctamente o no. Se define que la señal es recibida correctamente cuando se tiene un AQ igual o mayor a un 98%. Este valor es usado en múltiples estudios como parámetro de calidad de la recepción DRM, y concretamente en informes sobre pruebas de campo realizadas por el Ministerio de Comunicaciones de Brasil [3] [4].

En la Tabla 2.7 se muestra la interpretación para cada uno de los 3 rangos de AQ que se usarán a lo largo de este trabajo, y los colores que se usarán para representarlos.

Total	Interpretación	Color de representación
$AQ \geq 98\%$	La señal fue recibida "correctamente".	Verde
$98\% < AQ \leq 90\%$	La señal es recibida, pero con deficiencias.	Amarillo
$AQ < 90\%$	La recepción de la señal es mala.	Rojo

Tabla 2.7: Descripción para cada rango de AQ.

Este parámetro es muy importante para este trabajo, ya que será parte de los resultados y de los análisis de los capítulos 5 y 6.

2.6.2 Relación Señal a Ruido (SNR).

Para cuantificar el efecto del ruido sobre la inteligibilidad de un mensaje, hay que definir el ruido en términos cuantitativos o matemáticos, por lo que la SNR es particularmente útil en el diseño y análisis de un sistema de comunicaciones.

La SNR se define como "la razón entre el valor promedio de la potencia de la señal útil respecto al valor promedio de la potencia de ruido" [5]. La SNR nos da un coeficiente (por lo general expresado en dB) que mientras más grande sea este coeficiente, representará una mejor señal deseada contra el ruido, aunque quizás no lo suficiente para recibir bien. Por lo contrario, al tener una SNR baja o negativa, representará que el ruido es mucho mayor a la señal deseada.

2.6.3 Densidad Espectral de Potencia (rpsd).

La densidad espectral de potencia representa la distribución de la potencia de una señal a lo largo de un intervalo de frecuencias, por lo que es representada en el dominio de la frecuencia y sus dimensiones son W/Hz o dBW/Hz.

Éste parámetro sirve por ejemplo, para representar el espectro de la señal recibida como se observa en la Figura 2.12.

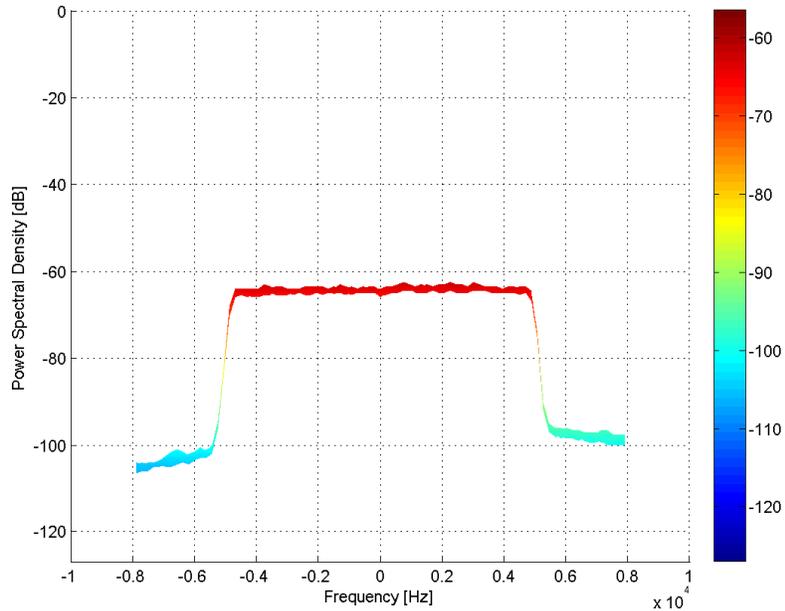


Figura 2.12: Densidad espectral de potencia vs frecuencia.

2.6.4 Retardo de multitrayecto (rdel).

El retardo multitrayecto o delay window es el intervalo de tiempo que contiene un porcentaje de la energía de la señal de la respuesta al impulso, este valor viene dado de la *Recomendación UIT-R P.1407. Propagación por trayectos múltiples y parametrización de sus características* [6], y representa una medida de cuantificación del multitrayecto.

El multitrayecto explica la propagación de la señal por diferentes caminos, debido a numerosas reflexiones que se pueden presentar ya sea en medios urbanos o rurales. El resultado de numerosas reflexiones provoca que la señal recibida en el receptor sea la suma de varias señales con diferentes amplitudes y fases (direcciones de llegada). En el caso de la propagación ionosférica, típica en onda corta, las múltiples reflexiones se realizan en las diferentes capas ionosféricas o por reflexiones adicionales en la superficie de la tierra.

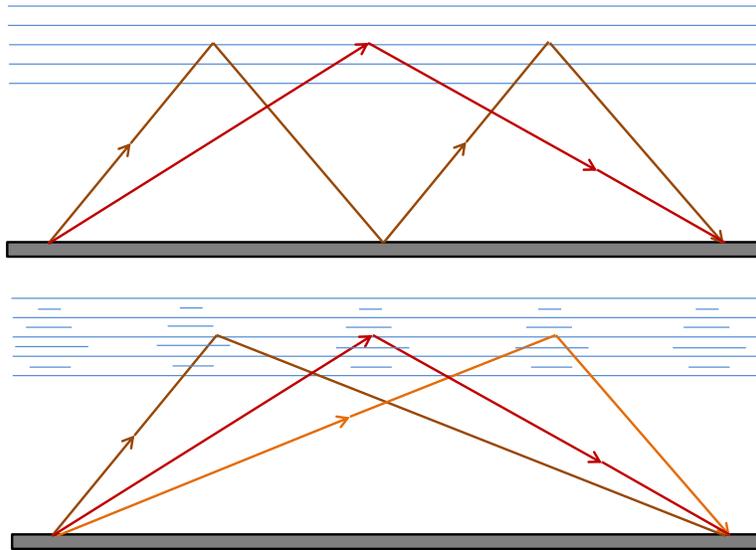


Figura 2.13: Transmisión con multitrayecto. a) se refleja entre la ionosfera y la Tierra. b) reflejada con la irregularidad de la ionosfera. [7]

2.6.5 Doppler Estimation (rdop).

La señal puede sufrir desplazamientos Doppler debido al movimiento del receptor o de objetos reflectantes que encuentre la señal en sus diferentes caminos. La distorsión espectral que puede presentar los desplazamientos Doppler afecta la correcta demodulación de la señal recibida.

En Onda Corta, con propagación ionosférica, hay dos principales causas del desplazamiento Doppler, el movimiento de las capas ionosféricas y el movimiento del receptor (este último en caso de recepción móvil).

La estimación Doppler dará un valor de variación en frecuencia de la señal, se estima un promedio de la variación según las diferentes rutas que toma la señal para llegar al receptor.

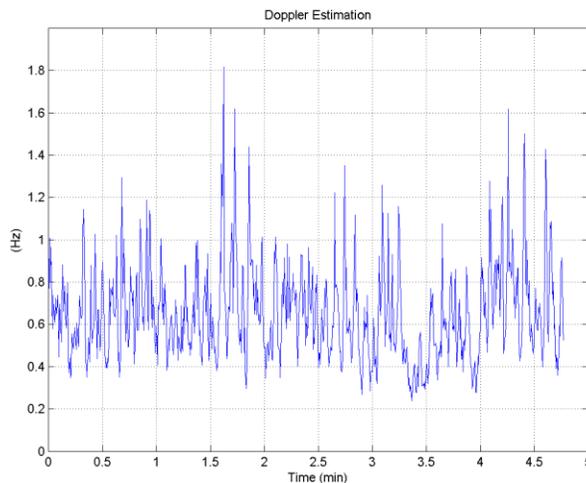


Figura 2.14: Ejemplo de la estimación doppler. Archivo rec_17495_20111208_135916_000.rsA.

Referencias

- [1] European Conference of Postal and Telecommunications Administrations. European Radiocommunications Committee. *Recommendation 74-02 E (Bucharest 1999): Method of measuring the field strength at fixed points in the frequency range 29.7 – 960 MHz*. 1999
- [2] European Telecommunications Standards Institute, European Broadcasting Union. *Digital Radio Mondiale (DRM); Receiver Status and Control Interface (RSCI)*. ETSI TS 102 349 V3.1.1 (2010-12). 2010
- [3] Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). *Medições de Campo do Sistema DRM30 (Digital Radio Mondiale) na Faixa de Ondas Médias em São Paulo com a Rádio Cultura AM*. 2011
- [4] Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). *Medições de Campo do Sistema DRM+ (Digital Radio Mondiale) em Baixa Potência na Faixa de FM em Xerém, Duque de Caxias / RJ*. 2012
- [5] Briceño Márquez, José E. *Principios de las comunicaciones*. Universidad de los Andes. 1993.
- [6] **International Telecommunication Union**. *Recomendación UIT-R P.1407. Propagación por trayectos múltiples y parametrización de sus características*. 2003
- [7] J.A. Ratchliffe. *Sol, Tierra y Radio. Una introducción a la ionósfera y magnetósfera*. 1970
- [8] Haykin Simon. *Sistemas de Comunicación*. Ed. Limusa. 2002

3. Metodología.

Para llevar cabo el análisis de la propagación de la señal de DRM en SW, se hará uso de herramientas informáticas que procesen y presenten los datos, que se mostrarán en los capítulos 5 y 6. Este capítulo se dedica a describir qué herramientas, cómo se han usado para generar los resultados a analizar y en qué principios teóricos se basan.

En una primera parte se explica cómo se obtendrán valoraciones en términos del campo eléctrico, SNR, la densidad espectral de potencia, etc., que son datos grabados por el receptor DRM; en la segunda parte, se detalla la escala de valoración subjetiva y ciertas condiciones en específico, que describen como se evaluarán los audios grabados por el receptor de DRM (archivos *.wav).

3.1 Factores de degradación de la recepción de la señal.

Los principales factores que afectan la señal ocurren en el trayecto de la misma hacia el receptor. Se han seleccionado algunos parámetros para analizar ese trayecto (sección 2.6), para determinar cómo el efecto del canal de propagación condiciona la recepción de la señal de DRM.

En esta sección se detalla qué herramientas se han usado para procesar los datos decodificados referentes a cada parámetro, se describe el proceso de las rutinas informáticas usadas, la validación de los resultados y por último, la presentación de los mismos para su mejor comprensión.

3.1.1 Herramientas software.

Se trabajó con dos herramientas para el cálculo y procesamiento. Para el procesamiento de los datos se usó *MATLAB R2010a*, donde se programó subrutinas para el tratamiento de los datos y *Microsoft Office Excel 2007*, donde los resultados obtenidos fueron llevados a tablas y gráficas para la mejor presentación e interpretación de los resultados fruto del procesamiento hecho a través de *MATLAB*.

MATLAB es un lenguaje de alto nivel y entorno interactivo para el cálculo numérico, la visualización y la programación. *MATLAB* se puede utilizar en una gran variedad de aplicaciones ya que es posible analizar datos, desarrollar algoritmos y crear modelos o aplicaciones. Actualmente *MATLAB* es usado con fines de procesamiento de señales y comunicaciones, procesamiento de imagen y vídeo, sistemas de control, pruebas y medidas, finanzas computacionales y biología computacional. Más de un millón de ingenieros y científicos de la industria y la educación utilizan *MATLAB*.

Como se mencionó anteriormente se trabajó con modificaciones e inclusiones de nuevas subrutinas en programas ya existentes para el procesamiento en *MATLAB* de los datos de cada uno de los parámetros mencionados en el capítulo anterior.

Microsoft Office Excel es un software que permite crear tablas, calcular y analizar datos. Este tipo de software se denomina software de hoja de cálculo. *Excel* permite crear tablas que calculan de forma automática los totales de los valores numéricos que especifica, imprimir tablas con diseños cuidados, y crear gráficos simples. *Excel* forma parte de “*Office*”, un conjunto de productos que combina varios tipos de software para crear documentos, hojas de cálculo y presentaciones, y para administrar el correo electrónico.

La función principal de *Microsoft Office Excel* en este trabajo fue para presentar los datos y así, darle una mejor interpretación a los resultados mostrándolos en tablas y gráficas.

3.1.2 Procesamiento de los datos.

Los datos se grabaron en el formato que viene definido en el protocolo RSCI (en el documento de la ETSI llamado: *ETSI TS 102 349 V3.1.1, “Digital Radio Mondiale (DRM); Receiver Status and Control Interface (RSCI) [1]”*). Cada tipo de datos se identifica a través de *tags* (etiquetas). Cada *tag* identifica el inicio y el formato de datos referentes a cada parámetro medido o de control del receptor. En la Figura 3.1 se muestra un ejemplo de un parámetro representado en forma hexadecimal y en código ASCII. El parámetro es del *tag rpsd*, al cual le siguen sus datos correspondientes.

00417072	C7 1E B4 00 8C 70 70 3A	53 B2 35 00 00 00 00 00	Ç ´ Gpp:S²5
00417088	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	
00417104	00 00 00 00 00 00 00 00	00 27 E0 73 74 72 32 00	'astr2
00417120	00 00 00 73 74 72 33 00	00 00 00 73 64 63 69 00	str3 sdc1
00417136	00 00 38 01 00 03 6E 00	00 AA 72 62 70 30 00 00	8 n arbp0
00417152	00 20 00 00 00 00 72 62	70 31 00 00 00 20 00 00	rbp1
00417168	00 00 72 62 70 32 00 00	00 20 00 00 00 72 62	rbp2 rb
00417184	70 33 00 00 20 00 00 00	00 00 72 74 74 79 00 00	p3 rtty
00417200	00 20 01 01 00 00 72 77	6D 66 00 00 00 10 22 54	rwmf "T
00417216	72 6E 69 63 00 00 00 38	10 4B E0 04 84 E3 9E 72	rnic 8 Kà „ãžr
00417232	6D 65 72 00 00 10 21	8E 72 77 6D 6D 00 00 00	mer !žrwm
00417248	10 21 A2 72 64 65 6C 00	00 00 48 5A 00 15 5F 00	!çrdel HZ _
00417264	20 63 00 EA 72 64 6F 70	00 00 00 10 00 07 72 6E	c êrdop rn
00417280	69 70 00 00 28 0B B8	00 F0 14 72 70 73 64 00	ip (, õ rpsd
00417296	00 02 A8 B5 B3 B4 B4	B3 B2 B2 B2 B2 B2 B1	"µ³³´´³²²²²²²±
00417312	B1 AB 96 79 6F 6F 6F 6F	6E 6E 6F 6E 6E 6F 6E 6E	±«-yooooonnonnonn
00417328	6E 6E 6E 6F 6F 6E 6E 6E	6E 6E 6E 6F 6E 6F 6E 6E	nnnooooooooooooo
00417344	6E 6C 6C 6D 6E 6D 6D 6D	6C 6C 6D 6C 6E 6E 6E 6E	mer !žrwm
00417360	6C 6C 6C 6D 6C 6C 6B 6E	7E 9F AB AB 00 00 48 5A	!çrdel HZ _
00417376	AE AD AF AE AF AE AE AF	46 64 66 72 00 00 00 10	00 00 07 72 6E
00417392	02 11 72 69 6E 66 00 00	00 80 66 6A 00 F0 14	72 70 73 64
00417408	30 31 32 39 44 54 4D 30	31 36 72 73 B3 B2 B2 B2	B2 B2 B2 B1
00417424	00 08 00 72 64 6D 6F 00	00 00 20 6E 6E 6E 6F 6E 6E	6E 6E 6F 6E 6E 6F 6E 6E
		6E 6E 6E 6D 6D 6F 6F 6E	nnnooooooooooooo

Figura 3.1: En ampliación el *tag* “*rpsd*”. Se muestra las disposición de los datos (en hexadecimal a la izquierda y ASCII a la derecha) contenidos en un archivo *.rsa.

Para fines de este trabajo se mostrará un ejemplo para explicar de forma general como se llevó a cabo la lectura y traducción de cada uno de los parámetros usados (*tags*).

En la Figura 3.1 se muestra un ejemplo de los datos en hexadecimal del *tag* "rpsd". En cada trama, al principio, se ubican las letras que identifican el *tag* (en código ASCII) y a continuación los datos contenidos en dicho parámetro. En la Figura 3.1 se resalta el *tag* "rpsd". En la Tabla 3.2 se enfatiza la equivalencia existente entre símbolos y su representación hexadecimal vista en la Figura 3.1.

Símbolo	r	s	P	d
Representación hexadecimal	72	70	73	64

Tabla 3.2: Ejemplo de símbolos con su representación en hexadecimal.

Una vez que se ha identificado el inicio de cada *tag*, la información de cada parámetro se encuentra en los datos subsecuentes. Cada *tag* consta de un número de bytes que identifican su nombre, longitud y su valor, pero que pueden variar en función del *tag*. En la Figura 3.2 se muestra la distribución los datos pertenecientes al *tag* rpsd, tal como se puede encontrar en el estándar RSCI [1].

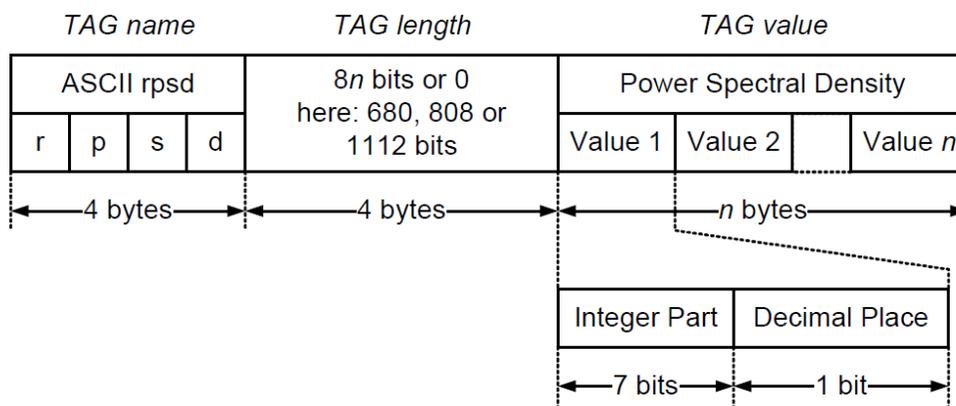


Figura 3.2: Distribución de los bytes pertenecientes al *tag* "rpsd".

La longitud del *tag* (TAG length) indica, como lo dice su nombre, que tantos bytes contiene el dato (*tag value*). Siguiendo con el mismo ejemplo, se tiene que 00 00 02 A8 son los números hexadecimales que representan los 4 bytes del *tag length*, indicando que tiene una longitud de 680 bits que corresponden a 85 bytes (en este ejemplo). Lo anterior se puede observar en la Figura 3.3 donde se indica con recuadros de color rojo los bytes del *tag length* y de color azul los bytes pertenecientes al *tag value*. Para cada *tag*, el valor de su *tag length* puede ser distinto y por lo tanto su *tag value* también. Los datos, además, pueden tener diferentes formatos, los cuales están también definidos en el estándar RSCI [1]. El nuestro ejemplo se puede observar el formato en la Figura 3.2.

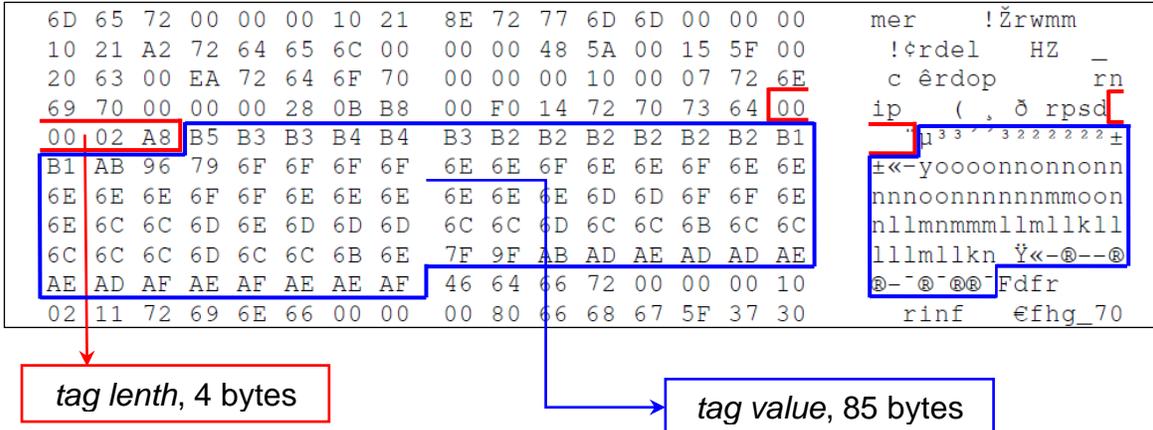


Figura 3.3: Ejemplo de la longitud del tag "rpsd" para esta trama.

Una vez que se sabe cómo están definidos los datos, se crearon o modificaron rutinas (en este caso, se usó MATLAB) que identifiquen e interpreten los datos para crear una base de datos de cada parámetro por cada archivo analizado. Estos archivos después serán otra vez procesados para obtener conclusiones acerca de la propagación de la señal y su efecto en la recepción.

3.1.3 Validación de las rutinas de análisis.

Una vez que han desarrollado las rutinas de lectura del protocolo RSCI, se han de probar para asegurarse de que funcionan bien. Para ello se han obtenido valores de los diferentes parámetros (por cada tag), y por otra parte se han calculado algunos resultados de los tags de forma manual, comparando ambos resultados y así validando las rutinas de software. Además, se han verificado los resultados con el objetivo de saber si son valores esperados o lógicos. Se hizo de todas las rutinas creadas y modificadas, seleccionando aleatoriamente archivos de datos originales con el fin de tener la certeza de que las rutinas para el procesamiento de los datos estuvieran correctamente realizadas.

A continuación, se muestra un ejemplo de cómo se realizó la comprobación de algunos de los resultados obtenidos. Para lo anterior se usa el tag "rdbv", el cual se describe en la Figura 3.4

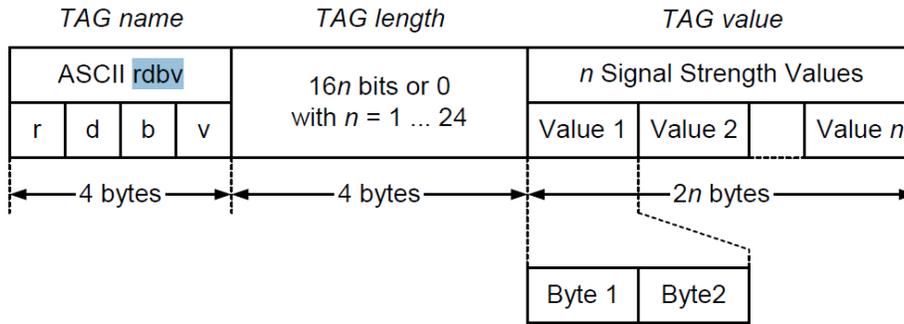


Figura 3.4: Descripción del tag “rdbv”, tomada del ETSI TS 102 349 V3.1.1 (2010-12).

Para este ejemplo se usa el archivo de datos *rec_21495_20111209_140052_000.rsA*, de donde se ha tomado la primera muestra, cuyos valores se muestran a continuación:

Nombre	TAG name	TAG length	TAG value
Hexadecimal	72 64 62 76	00 00 00 10	40 7E 46 ...
Símbolo ASCII	r d b v		

Una vez identificado el tag “rdbv”, se toman los dígitos hexadecimales que representan el tag length. Tomando el byte diferente de cero del tag length, se obtiene un total de 16 bits como se exhibe:

Sistema	Número
Hexadecimal	1 0
Binario	0 0 0 1 0 0 0 0
Decimal	16

Dada la descripción de la Figura 3.4, con un valor de 16 en el tag length, se deduce que n=1 y se toman sólo los dos primeros bytes siguientes (pertenecientes al tag value). Se centra en los bytes del tag value como se muestra:

Sistema	Número	Número
Hexadecimal	4 0	7 E
Binario	0 1 0 0 0 0 0 0	0 1 1 1 1 1 1 0
Decimal	64	126

Se obtienen dos valores en decimal (64 y 126), los cuales se usan como se muestra en la fórmula contenida en la descripción del tag contenida en el documento de la ETSI mencionado con

anterioridad (Figura 3.4) y se resuelve para obtener el valor del parámetro. Lo anterior se observa abajo, obteniendo un valor de 64.4921

$$E[dB\mu V] = 1^{\text{er}} \text{ Byte} + \frac{2^{\text{do}} \text{ Byte}}{256} \dots\dots\dots (1.1)$$

$$E[dB\mu V] = 64 + \frac{126}{256} = 64.4921$$

Una vez que se calcularon algunos valores de la forma expuesta, se comprobaron los resultados que se tienen en MATLAB (calculados con lo visto en la sección 3.1.3) para corroborar que las rutinas implementadas o modificadas se encuentren procesando los datos de manera correcta. En la Figura 3.5 se muestra el resultado del procesamiento en MATLAB, se obtiene un valor de 64.4922 y se comprueba el valor obtenido con anterioridad.

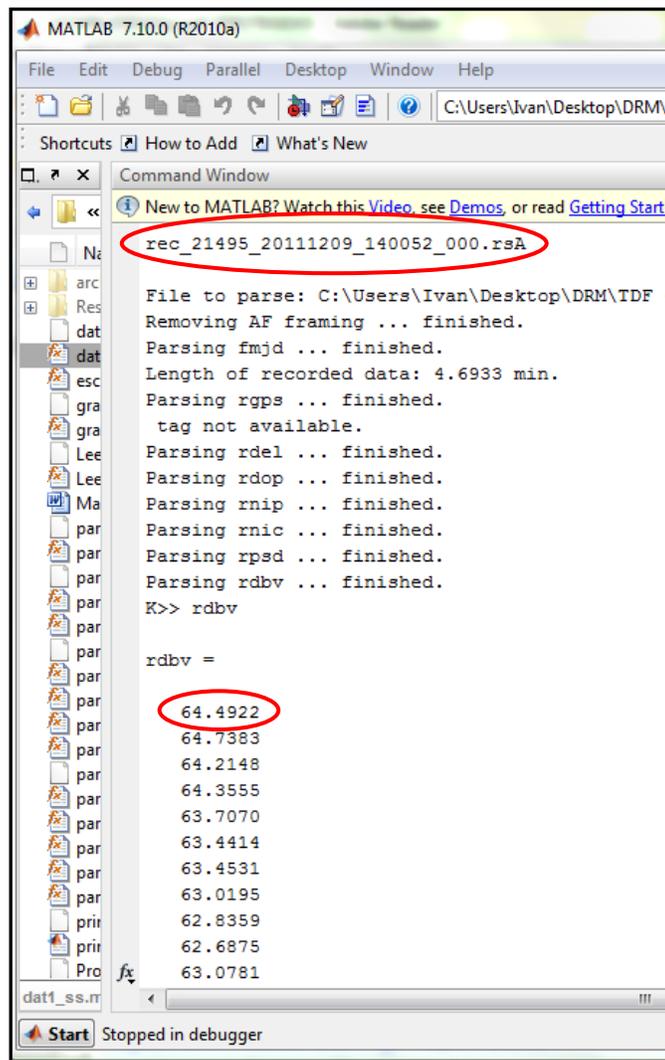


Figura 3.5: Captura de los primeros resultados del tag “rdbv” del archivo rec_21495_20111209_140052_000.rsA.

Para la validación de las rutinas se realizó este mismo proceso con varios datos diferentes por cada *tag*.

3.1.4 Representación de los resultados obtenidos.

Una vez que se obtienen resultados y se ha comprobado que el procesamiento de los datos fue correcto, se realizan tablas para condensar la información y gráficas para la presentación de los mismos. Esta forma de condensar los datos hace más fácil y efectiva la interpretación de los resultados. Los resultados se presentan por cada frecuencia de transmisión y modo de transmisión usado, tal y como se mostrará en los capítulos siguientes, obteniendo las conclusiones presentadas en el capítulo 7. Las tablas de los archivos procesados están en los Anexos de éste documento.

3.2 Valoración subjetiva de audios.

Una parte de este trabajo fue el de valorar los archivos de audio recibidos por el receptor de DRM. Se tiene como objetivo tener valoraciones de estos audios de acuerdo a una escala que se muestra más adelante y dichas evaluaciones se compararán con los resultados obtenidos a través del procesamiento de los datos en el formato que viene definido en el protocolo RSCI [1] explicado en la sección 3.1.

Se realizarán dichas evaluaciones con adecuaciones y modificaciones a algunas Recomendaciones de la ITU, con la finalidad de tener resultados que fueran representativos para este trabajo y fuese posible realizarlas con el material y personal disponible. Las Recomendaciones usadas para este trabajo son:

- ◆ *Recomendación UIT-R BS.1284-1*
- ◆ *Recomendación UIT-R BS.1116-1*

Para la evaluación se siguió en lo sustancial el método recogido en la "*Recomendación UIT-R BS.1284-1. Métodos generales para la evaluación subjetiva de la calidad de sonido*" [2].

La escala de valoración antes mencionada y recomendada en [2] va del 1 hasta el 5, siendo 1 la peor calificación posible y 5, la calificación donde el audio fue escuchado sin ningún tipo de degradación. La escala se muestra en la Tabla 3.3.

	Calidad	Evaluación	Degradación
5	Excelente	Recepción perfecta	Imperceptible
4	Buena	Pocos cortes. Casi imperceptibles	Perceptible, pero no molesta
3	Adecuada	Pocos cortes. Aceptable	Ligeramente molesta
2	Insuficiente	Muchos cortes	Molesta
1	Mala	No se ha grabado nada	Muy molesta

Tabla 3.3: Escala de evaluación subjetiva usada. [2]

Adicionalmente, el método usado se basó en algunos requisitos descritos en la *Recomendación UIT-R BS.1116-1 Métodos para la evaluación subjetiva de pequeñas degradaciones en los sistemas de audio incluyendo los sistemas de sonido multicanal* [3].

Por otro lado la *Recomendación UIT-R BS.1284-1* [2] hace mención a que es preferible recurrir a oyentes expertos, aunque también señala que acudiendo a oyentes inexpertos se puede tener una muestra mucho más representativa de la población en general, ya que los oyentes expertos pueden ser demasiado rigurosos al evaluar los audios. También se menciona que el número de oyentes expertos (o en su defecto inexpertos) debe ser, por lo general diez. En el mismo documento, se hace referencia a los dispositivos de reproducción que son sugeridos para dichas pruebas. Se aconseja usar auriculares, ya que usándolos se tiene un escenario donde la escucha del audio es independiente de las propiedades geométricas y acústicas de la sala donde se lleve a cabo la prueba.

Conociendo las indicaciones que se sugieren en ambas recomendaciones de la UIT, y en base a las condiciones y limitaciones que se tuvieron para llevar a cabo el estudio, se consideraron los siguientes puntos para las evaluaciones subjetivas de audios:

- i. Se tuvo un total de 4 oyentes, ninguno de ellos experto.
- ii. Se realizaron las pruebas con el uso de auriculares, tal y como se menciona en la recomendación.
- iii. Cada audio fue evaluado por dos personas (y en algunos casos tres personas).
- iv. Se realizó una distribución equitativa y aleatoria de audios a los oyentes.

Como se observa en la Tabla 3.3 los evaluadores sólo pueden emitir calificaciones en números enteros, por lo que si al obtener el promedio para un determinado audio se obtiene un valor diferente de un número entero, el criterio que se ha utilizado es el de redondear hacia el número entero más bajo, que representa el peor escenario posible.

Los resultados de estas evaluaciones y comparaciones hechas se presentan en el capítulo 5.

Referencias.

[1] ETSI TS 102 349 V3.1.1 (2010-12), *Digital Radio Mondiale (DRM); Receiver Status and Control Interface (RSCI)*. 2010.

[2] *International Telecommunication Union. Recomendación UIT-R BS.1284-1. Métodos generales para la evaluación subjetiva de la calidad de sonido*. 2003.

[3] *International Telecommunication Union. Recomendación UIT-R BS.1116-1 . Métodos para la evaluación subjetiva de pequeñas degradaciones en los sistemas de audio incluyendo los sistemas de sonido multicanal*. 1997.

[4] MATLAB

Disponible en: <http://www.mathworks.es/products/matlab/>

[Fecha de consulta: Noviembre/2013]

[5] Microsoft Office Excel

Disponible en: <http://office.microsoft.com/es-mx/excel-help/que-es-excel-HA010265948.aspx>

[Fecha de consulta: Noviembre/2013]

4. Simulaciones de propagación y cobertura.

Actualmente, con ayuda de un software es posible estimar la propagación de la señal y así poder planificar mejor la elección de las fechas y horas para llevar a cabo las pruebas de campo; además se puede comparar los resultados de la simulación con los obtenidos en la práctica y analizar las posibles divergencias entre estos, para estudiar los factores que pueden haber afectado el resultado.

En este trabajo, se usan dos softwares de predicción, el VOACAP y el REC533. El VOACAP (Voice of America Coverage Analysis Program) es un software profesional de predicción de propagación HF de NTIA (*National Telecommunications and Information Administration*) / ITS (*International Telecommunications Society*), desarrollado originalmente para la VOA (Voice of America). El REC533 está basado en la RECOMENDACIÓN UIT-R P.533-12 "Método de predicción de la calidad de funcionamiento de circuitos que funcionan en ondas decamétricas" [1]. Ambos programas, son por tanto, programas de estimación de campo y cobertura para propagación en Onda Corta. En las secciones siguientes se muestran los resultados obtenidos con estas dos herramientas.

4.1 VOACAP.

El uso de VOACAP requiere que se describan muchas características del enlace, de las cuales las usadas para este análisis son: ubicación del transmisor y receptor, frecuencia, tipo de antena, fecha, hora y número de manchas solares (Smoothed Sunspot Number). Una mejor descripción y configuración de los parámetros anteriores se describen en el Anexo 1a. Además, en dicho Anexo (1a) se muestra de manera rápida y sencilla como se configuró VOACAP para obtener los resultados de esta sección. Por otra parte, en el Anexo 1b se muestra la configuración usada en REC533.

Los resultados que se exhiben en este capítulo se agrupan en tres secciones, la primera de ellas es la estimación del campo eléctrico en recepción, la segunda es la importancia del número de SSN (Smoothed Sunspot Number), y finalmente se explica la propagación en la ionosfera y el multitrayecto.

Las estimaciones hechas con VOACAP y REC533 son para las transmisiones de Montsinery (Guyana Francesa) a Brasilia (Brasil). Las pruebas de campo se realizaron en el mes de Diciembre de 2011, del día 5 al 21. Por otra parte el número de SSN se toma de valores medidos para tal mes.

4.1.1. Umbral de recepción para las pruebas de campo de DRM.

Para las simulaciones de las pruebas de campo que se realizaran es necesario tener una marca de nivel que determine si los resultados obtenidos signifiquen si la señal es correctamente recibida o no.

Para señales analógicas como AM o FM la UIT define umbrales de recepción, tanto en SNR como en nivel de campo eléctrico. Estos umbrales son orientativos y sirven para la estimación de cobertura, pero suelen ser demasiado optimistas en caso de entornos de recepción complicados (con mucho ruido o con canales de propagación con fuerte multitrayectoria). En este caso, para estimar cuando se recibe bien la señal se obtendrán los valores de umbral para cada frecuencia y modo de transmisión, para tener los valores mínimos con los cuales se espera una recepción correcta. Esto es necesario porque diferentes modulaciones tienen diferentes umbrales, por ejemplo, un modo más protegido se recibe bien con menor nivel de campo o SNR. A su vez, la frecuencia no tiene un efecto muy importante, pero el nivel de ruido externo varía con la frecuencia [2], por lo que los umbrales de campo también lo harán.

Basándose en la Recomendación UIT-R BS.1615-1 (05/2011) [1]. “Parámetros de planificación para la radiodifusión sonora digital en frecuencias inferiores a 30 MHz” se consigue obtener el valor de los umbrales estimados para cada frecuencia y modo de transmisión.

En dicha Recomendación vienen definidos modelos de canal de propagación que son métodos para predecir y simular los perfiles de trayectos múltiples. Tal y como se explica en el Anexo 1, se usarán los modelos de canal 3, 4 y 5 de la recomendación. En la Tabla 4.1 se muestran los modelos de propagación usados y los niveles mínimos de SNR obtenidos de [1].

Esquema de modulación	Nivel de protección	Índice de codificación	Modelo de Canal		
			3°	4°	5°
64-QAM	0	0.5	23.3	21.3	20.1
	1	0.6	25.4	23.5	22.7

Tabla 4.1: S/N [dB] para conseguir una BER de 1×10^{-4} para los tres modelos de canal de onda corta presentados en la REC UIT-R BS.1615.

Los valores presentados en la Tabla 4.1 son la base para estimar los umbrales de campo eléctrico. Para ello, hay que sumar el valor del umbral de SNR al valor de ruido estimado (a ser posible en campo eléctrico). En la recomendación de la UIT [1] se especifica que el ruido intrínseco del receptor se estima en 4.5 [dB μ V/m] (a pesar de ser ruido intrínseco, la recomendación lo da en nivel de campo eléctrico para facilitar el cálculo). Sin embargo, habitualmente el ruido externo es mayor en estas frecuencias, por lo que se propone hacer una estimación del ruido externo y de ser mayor a 4.5 [dB μ V/m], obtener los nuevos valores mínimos de campo eléctrico en función de él.

Para calcular el ruido se utiliza la Recomendación ITU-R P.372-11 [2] (09/2013) “Radio noise”. En onda corta y en recepción en zona urbana, el ruido externo (E_N) más importante es el *ruido artificial*. Se tiene que el factor de ruido (f_N) se calcula como:

$$f_N = \frac{P_N}{kTB}$$

$$F_N = 10 \log(f_N)$$

Donde:

P_N : Potencia de ruido

k : Constante de Boltzmann, $1.38(10)^{-23}$ J/K

T : Temperatura de referencia, 290 K

B : Ancho de banda Hz

Operando:

$$F_N = 10 \log\left(\frac{P_N}{kTB}\right) = 10 \log\left(\frac{1}{kT}\right) + 10 \log\left(\frac{P_N}{B}\right)$$

Suponiendo que el ruido es de tipo Gaussiano, la densidad espectral de potencia es una constante. Se despeja la densidad de potencia de ruido (DP_N):

$$DP_N [dBW / Hz] = 10 \log\left(\frac{P_N}{B}\right) = F_N + 10 \log(kT)$$

De la recomendación se obtiene la figura de ruido [1],

$$F_N = c - d \log(f)$$
$$DP_N [dBW / Hz] = c - d \log(f) + 10 \log(kT)$$

donde:

Frecuencia (f) en MHz.

Para un entorno de recepción urbano la recomendación dice que el factor de ruido se estima con los valores de $c=76.8$ y $d=27.7$ [1]. Por lo que sustituyendo para cada frecuencia se tiene:

Para $f=17.495$ [MHz]:

$$DP_N [dBW / Hz] = c - d \log(f) + 10 \log(kT)$$
$$DP_N = 76.8 - 27.7 \log(17.495) + 10 \log(1.38 * 10^{-23} * 290)$$
$$DP_N = -161.60 [dBW / Hz]$$

Para $f=21.495$ [MHz]:

$$DP_N [dBW / Hz] = c - d \log(f) + 10 \log(kT)$$
$$DP_N = 76.8 - 27.7 \log(21.495) + 10 \log(1.38 * 10^{-23} * 290)$$
$$DP_N = -164.08 [dBW / Hz]$$

Como el ancho de banda de la señal de DRM es de 10 [kHz], se tiene:

$$P_N = -121.60[dBW] \dots\dots\dots (17.495MHz)$$

$$P_N = -124.08[dBW] \dots\dots\dots (21.495MHz)$$

Ahora, se conoce la potencia de ruido y se desea obtener este valor en densidad de potencia (W_N), para posteriormente calcularlo en magnitud de campo eléctrico. Para ello se pueden usar las siguientes fórmulas:

$$P_N = W_N A_{ef} = W_N \frac{\lambda^2}{4\pi} G$$

$$W_N = \frac{4\pi}{\lambda^2 G} P_N = \frac{4\pi \cdot f^2}{c^2 G} P_N$$

Donde:

W_N : Densidad de potencia del ruido

A_{ef} : Área efectiva de la antena

λ : Longitud de onda

G : Ganancia de la antena

c : Velocidad de la luz, 3×10^8 m/s

Se sustituye la densidad de potencia (W_N), en el modelo de la magnitud del ruido externo (E_N).

$$E_N = \sqrt{W_N \eta_0} = \sqrt{\frac{4\pi f^2}{c^2 G} P_N \eta_0}$$

$$E_N [dBV / m] = 10 \log \left[\frac{4\pi f^2}{c^2 G} P_N \eta_0 \right]$$

Donde:

η_0 : Impedancia del medio, es $120\pi \Omega$

G : Ganancia de la antena receptora. Considerándola como un dipolo corto (tal y como define la recomendación), sería 1.5

Ahora, se calcula para cada frecuencia:

$$E_N [dBV / m] = 10 \log \left[\frac{4\pi (17.495 * 10^6)^2}{(3 * 10^8)^2 (1.5)} 10^{\frac{-121.6}{10}} * 120\pi \right]$$

$$E_N = -111.28 [dBV / m]$$

$$E_N = 8.72 [dB\mu V / m]$$

$$E_N [dBV / m] = 10 \log \left[\frac{4\pi (21.495 * 10^6)^2}{(3 * 10^8)^2 (1.5)} 10^{\frac{-124.08}{10}} * 120\pi \right]$$

$$E_N = -111.98 [dBV / m]$$

$$E_N = 8.01 [dB\mu V / m]$$

Dados los valores obtenidos, se tiene que el ruido externo estimado es mayor que al ruido intrínseco en el receptor mencionado por la REC. UIT-R BS.1615-1 [1]. Dados estos nuevos valores se calculan los umbrales de campo eléctrico para cada frecuencia. (Tablas 4.2 y 4.3).

Los valores de la Tabla 4.2 y 4.3 se obtiene al sumar los valores de ruido externo E_N a los valores de S/R de la Tabla 4.1.

$$E_{umbral} = SNR_{umbral} + E_N$$

Esquema de modulación	Nivel de protección	Índice de codificación	Modelo de Canal			Rango [dBμV/m]
			3°	4°	5°	
64-QAM	0	0.5	32.0	30.0	28.8	28.8 – 32.0
	1	0.6	34.1	32.2	31.4	31.4 – 34.1

Tabla 4.2: Valores umbrales de campo eléctrico de los tres modelos de canal, para la frecuencia de 17.495 [MHz].

Esquema de modulación	Nivel de protección	Índice de codificación	Modelo de Canal			Rango [dBμV/m]
			3°	4°	5°	
64-QAM	0	0.5	31.3	29.3	28.1	28.1 – 31.3
	1	0.6	33.4	31.5	30.7	30.7 – 33.4

Tabla 4.3: Valores umbrales de campo eléctrico de los tres modelos de canal, para la frecuencia de 21.495 [MHz].

4.1.2. Estimación de campo eléctrico.

En este apartado se mostrarán ejemplos de la magnitud del campo eléctrico que se espera para algunos días de las pruebas, y para estimar en que periodos de tiempo de cada día se espera que su magnitud aumente o disminuya. La magnitud del campo eléctrico en la recepción es uno de los parámetros que se estará revisando en los resultados de las pruebas en el capítulo siguiente.

En la Figura 4.1 se muestra la estimación del campo eléctrico a lo largo del día 9/Dic/2011, donde se destaca tanto la frecuencia de 17.495 [MHz] como la de 21.495 [MHz] que son las frecuencias de prueba.

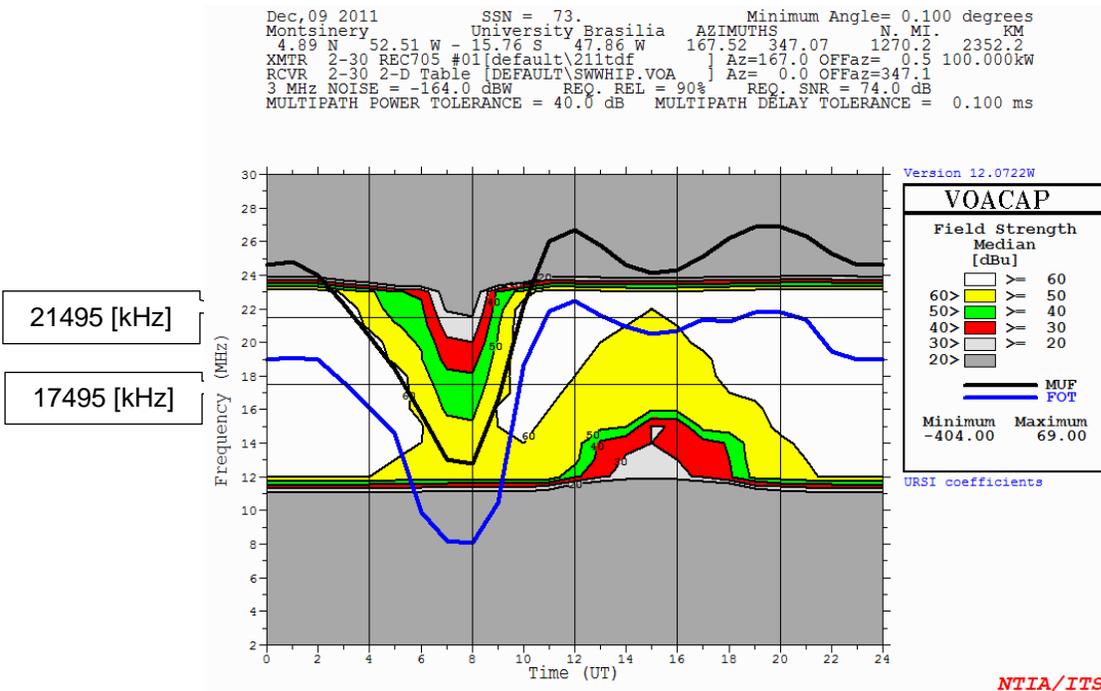


Figura 4.1: Comportamiento del campo eléctrico a lo largo del 9/DIC/2011.

En la Figura 4.1 se muestra el tiempo en UTC (Universal Time Coordinated) a lo largo del día 9/DIC/2011 respecto a la frecuencia, que tiene un rango de 2 a 30 [MHz]. En el recuadro del lado derecho de la figura se establecen los intervalos de la magnitud de campo eléctrico [dBu] y su color correspondiente. También, se observan dos líneas que son marcadas como la MUF (Máxima Frecuencia Utilizable) y la FOT (Frecuencia Óptima de Trabajo). La MUF es la máxima frecuencia que se puede utilizar para la comunicación, dadas las condiciones para la simulación, mientras que la FOT es la frecuencia usada para que la comunicación sea más confiable.

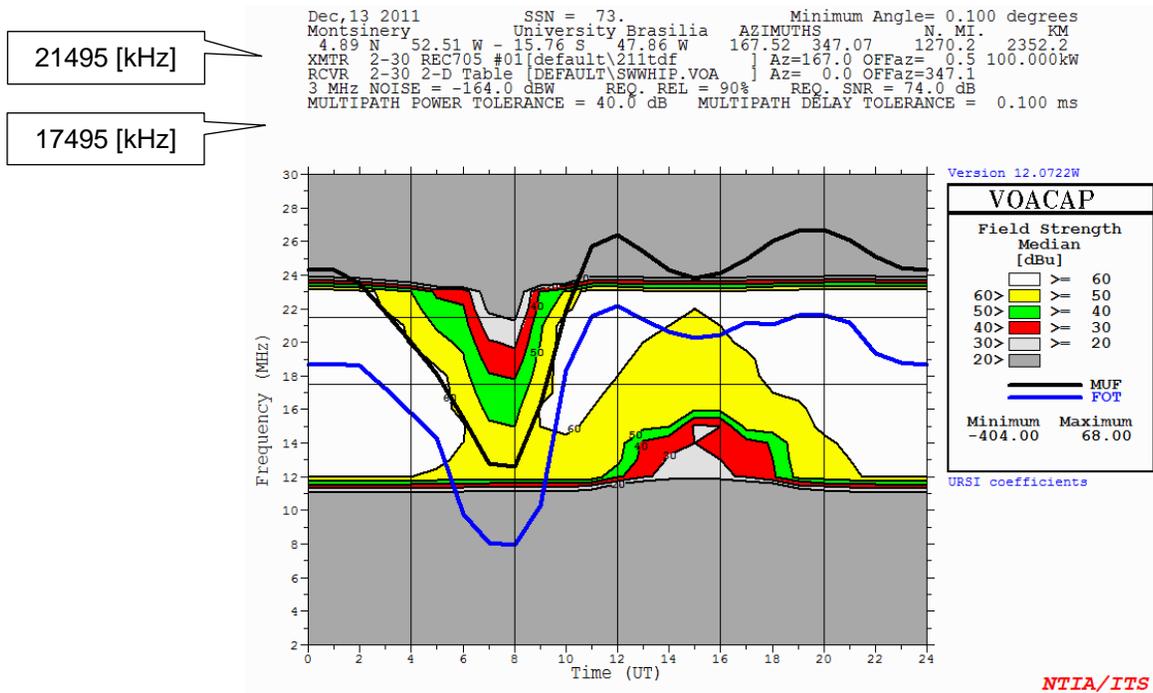


Figura 4.2: Comportamiento del campo eléctrico a lo largo del 13/DIC/2011.

La Figura 4.2 tiene el mismo formato que la Figura 4.1 con la diferencia de que se realizó a lo largo del día 13/Dic/2011. En ambas figuras se aprecia que hacia las 4:00 UTC y hasta las 10:00 UTC el campo eléctrico cae, para ambas frecuencias de prueba. Y en el caso de 21495 [kHz] en un lapso desde las 6:30 UTC y hasta las 08:30 UTC la magnitud del campo puede llegar a ser menor a 30 [dBu].

Al comparar los días 9 y 13 (Figuras 4.1 y 4.2), se observa que no se tiene una diferencia muy significativa entre ambos. Se observó que un factor importante para que dichos comportamientos cambien es el número de SSN.

Para el día 9 y 13 se observa un periodo cerca de cuatro horas de 5:00 UTC a las 9:00 UTC y de 12:00 UTC a las 18:00 UTC donde se tienen los niveles más bajos de campo eléctrico en la recepción, aun así, los niveles que se predicen no son impedimento para realizar las pruebas.

En la Figura 4.3 se muestra el comportamiento del campo eléctrico para ambas frecuencias el día 16 de Diciembre en donde también se tienen resultados similares. Por lo tanto, las estimaciones se pueden hacer para uno o dos días y ser significativas para el resto de los días de las pruebas de campo, pues no afecta en demasía el día.

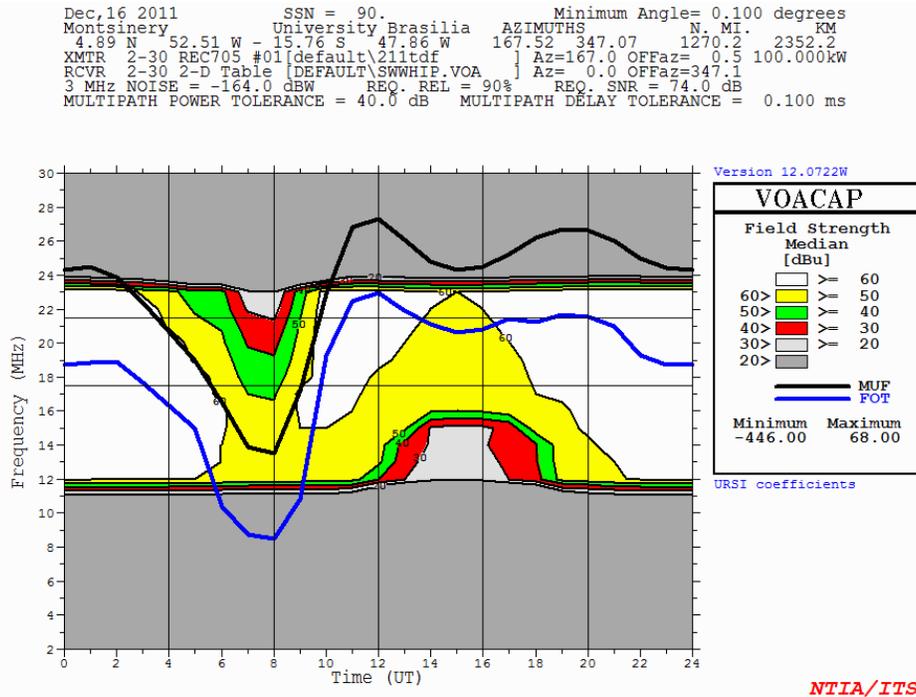


Figura 4.3: Comportamiento del campo eléctrico a lo largo del 16/DIC/2011.

4.1.3. Probabilidad de recepción.

Una vez que se han estimado los umbrales, se usan para simular en VOACAP la probabilidad de que la recepción sea correcta. Para ello, VOACAP puede mostrar como parámetro de salida la probabilidad de que la SNR en el receptor sea mayor a la SNR mínima (umbral). Es imprescindible tener una visión acerca de las posibilidades y de la viabilidad de realizar las pruebas de campo basándose en que la SNR sea mayor a la SNR_{mínima} ya que es necesario que la recepción sea correcta, o que al menos sea correcta durante gran parte del desarrollo de las pruebas.

En las Figuras 4.4 y 4.5 se muestran los resultados de este parámetro para una modulación 64-QAM, nivel de protección de 1 e índice de codificación de 0.6.

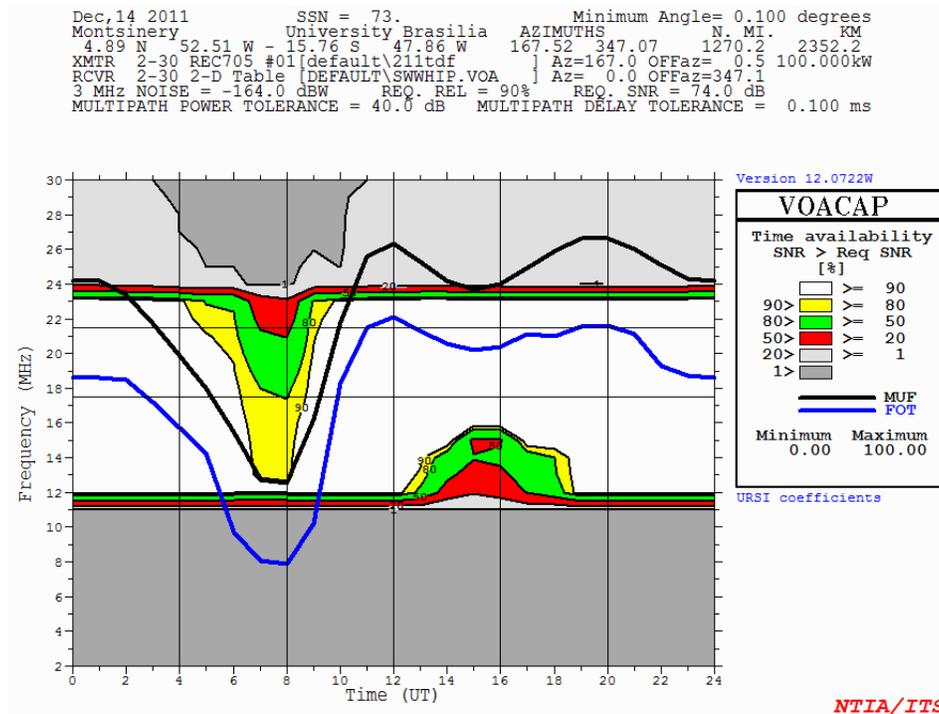


Figura 4.4: Probabilidad de $SNR > SNR_{mínima}$ a lo largo del 16/DIC/2011.

Para el 16/Dic/2011, en la Figura 4.4, la probabilidad más baja para la frecuencia de 17.495 [MHz] es de entre 80% y 90% mientras que para la frecuencia de 21.495 [MHz] se tiene un periodo entre las 07:00 UTC y las 08:00 UTC que la probabilidad va de 20% a 50%, por lo que sería el periodo de tiempo más crítico para realizar las pruebas en la frecuencia de 21.495 [MHz].

Para el día 21/Dic/2011 se tiene la gráfica de la Figura 4.5. Como se observa, se tiene un comportamiento similar al del día 16/Dic/2011. Conforme a lo anterior se concluye, que para la frecuencia de 17.495 [MHz] se tienen altas posibilidades de que las pruebas de campo se lleven a cabo y se reciba sin problemas. Pero para la frecuencia de 21.495 [MHz], es probable que entre las 05:00 UTC y las 10:00 UTC existan problemas en la recepción ya que se tiene una probabilidad de que $SNR > SNR_{mínima}$ es menor a 80% y no es recomendable realizar pruebas de campo en este lapso del tiempo.

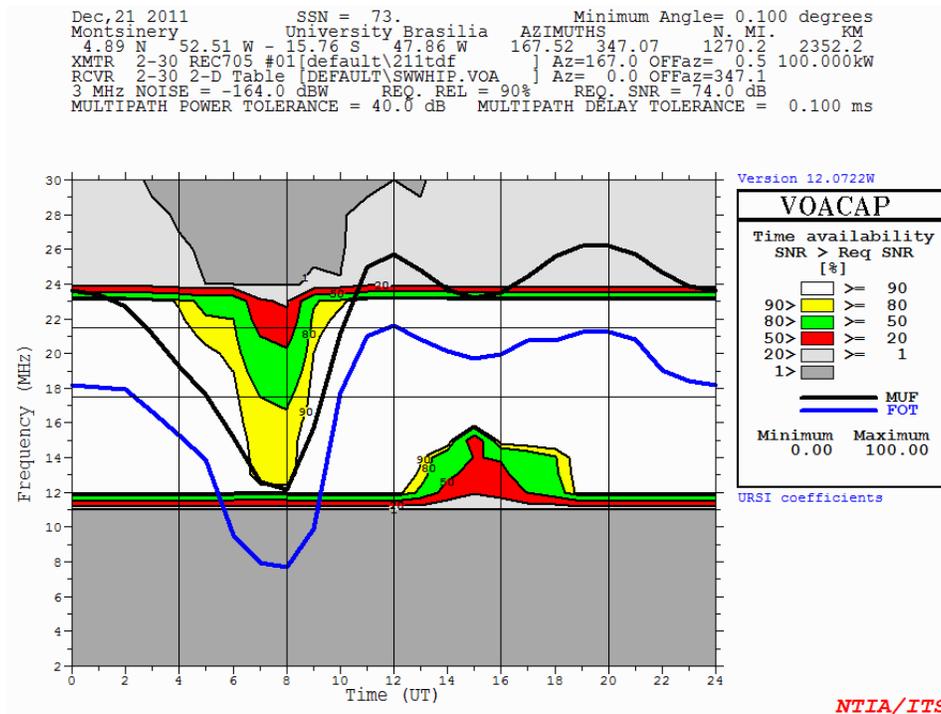


Figura 4.5: Probabilidad de SNR > SNR mínima a lo largo del 21/DIC/2011.

4.1.4 Importancia del número de SSN (Smoothed Sunspot Number)

En el Sol ocurre un fenómeno que es conocido como manchas solares. Las manchas solares son regiones en la superficie del sol que lucen oscuras y son provocadas por el campo magnético del propio Sol. Un aumento del número de manchas solares corresponde con un aumento de radiación solar hacia la Tierra, lo que significa una mayor ionización de la atmósfera terrestre. Observaciones han demostrado que la variación de manchas solares corresponde a un ciclo de 11 años.

La ionosfera al estar más ionizada aumenta la refracción de señales de radiofrecuencia. También esta ionización responde a la variación del día y la noche, por la noche la ionización es más baja que durante el día.

A una alta intensidad de ionización provoca una mejor reflexión de la energía de la señal hacia la Tierra. Las capas ionosféricas obtienen mejores propiedades de reflexión al estar ionizadas y cuando dicha concentración de iones es grande también podrán reflejar frecuencias más altas.

El número de SSN utilizado en las simulaciones se consultó en la página de la NASA [4], donde se encuentran los valores de SSN medidos y su desviación estándar correspondiente. Los valores consultados son los valores promedios medidos por mes.

En esta sección se busca observar la relevancia del número de SSN en la simulación de campo, por lo que se presenta la comparación de resultados de la magnitud de campo eléctrico con dos

valores de SSN diferentes. La comparación se realiza para el día 9/Dic/2011; así que se utiliza el valor promedio de SSN para el mes Dic/2011. Dicho valor es 73 y presenta una desviación estándar de 17.7.

En la Figura 4.6 se muestra la distribución de valores de SSN y qué valores se usarán en este apartado para evaluar su impacto en la recepción de la señal. Para encontrar estos valores, se tienen los límites del 68% de las observaciones en una distribución normal, por lo que el límite hacia la derecha se calcula $\mu + \sigma$ y el límite hacia la izquierda se calcula $\mu - \sigma$, teniendo como media (μ) 73 y desviación estándar (σ) 17.7, obteniendo los valores de 90.7 y 55.3.

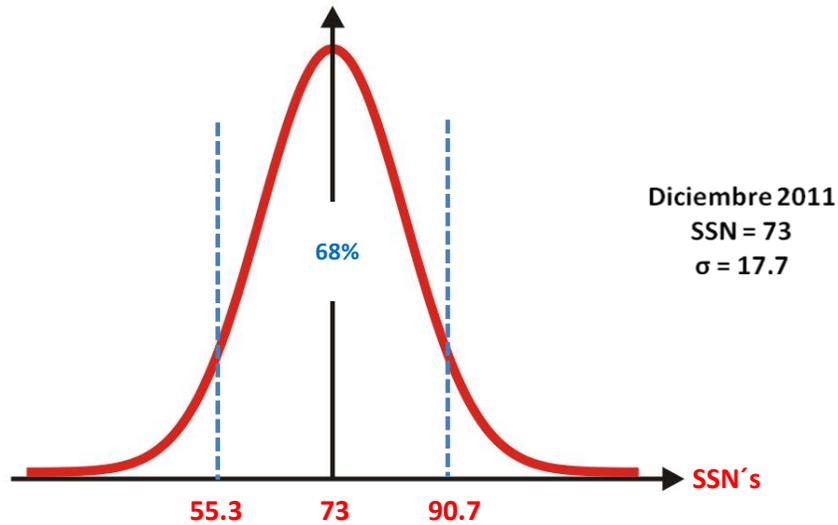


Figura 4.6: Curva normal donde se representa el valor de SSN con su desviación estándar.

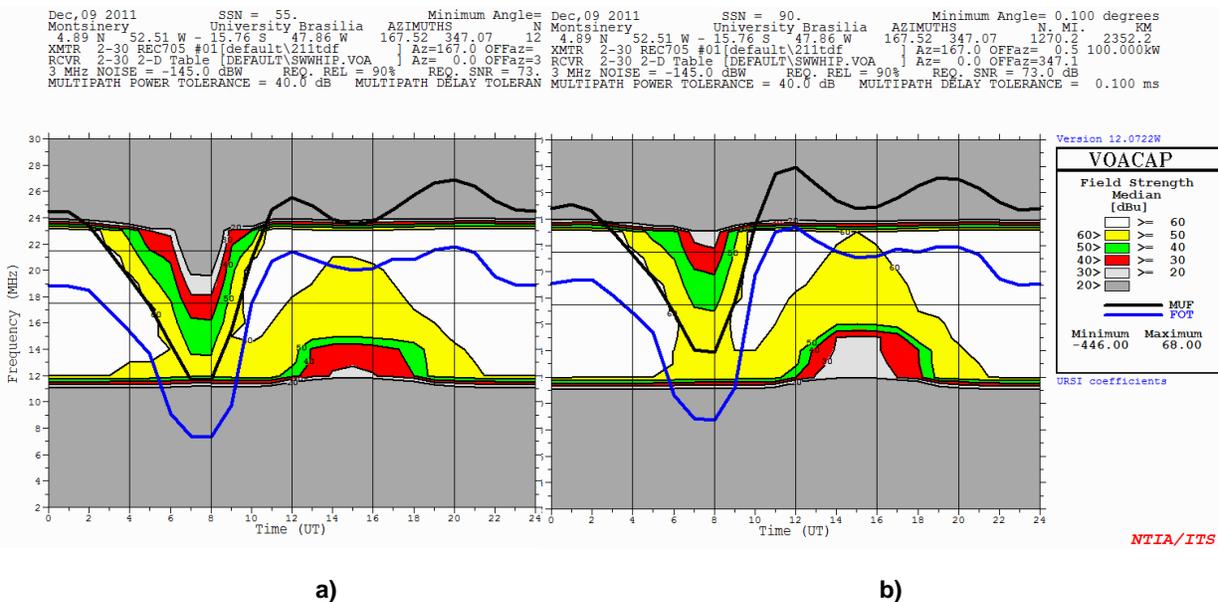


Figura 4.7: Comparación de la magnitud de campo eléctrico con distintos valores de SSN. a) Campo eléctrico el 9/Dic/2011 usando SSN=55. b) Campo eléctrico el 9/Dic/2011 usando SSN=90.

Al comparar los resultados de la variación del campo eléctricos con la variación del número SSN, se observa (Figura 4.7) que en ciertos periodos de tiempo hay variaciones, por lo que el valor de SSN sí resulta influyente en los resultados. Al aumentar el número de SSN se tiene un aumento en la ionización de la atmosfera y se tiene un efecto positivo, ya que se tiene un aumento de 5 [dBu] aproximadamente en la magnitud de campo eléctrico. Dado que se están tomando el escenario con menos manchas solares y el de más, se consideraría una tolerancia de ± 2.5 [dBu] en la magnitud del campo eléctrico para las pruebas de campo del 9/Dic/2011 según la Figura 4.7.

También se tiene un aumento en la MUF y la FOT, al aumentar en número de SSN, el aumento de ambas frecuencias es de 2.5 [MHz] aproximadamente, para las pruebas de campo en 17.495 [MHz] y 21.495 [MHz] en específico se tiene una mejoría en cuanto a la magnitud del campo eléctrico entre las 4:00 UTC y las 10:00 UTC.

4.1.5 Probabilidad de multitrayecto.

El multitrayecto es la propagación de la señal tomando diferentes rutas, a consecuencia a numerosas reflexiones que se pueden presentar. Las reflexiones en el caso de la propagación ionosférica se realizan en las diferentes capas ionosféricas o por reflexiones adicionales en la superficie de la tierra. En la Figura 4.8 se muestra la distribución de las capas de la ionosfera.

A las reflexiones provocadas por las diferentes capas de la ionosfera se le conocen como *modos*, un ejemplo de estos modos se muestra en la Figura 4.9, se indica el número de saltos y en que capa de la ionosfera se lleva a cabo la reflexión. Por ejemplo, cuando se menciona el modo $1F_1$, el primer dígito hace referencia al número de reflexiones y los siguientes dos dígitos a la capa, por lo tanto, se tiene una reflexión en la capa F_1 , siguiendo la misma lógica cuando se tiene un modo $3F_2$ se tienen tres reflexiones en la capa F_2 .

Bajo algunas condiciones es posible que se tenga 4 o 5 saltos, pero normalmente hasta 3 saltos es lo más común. La máxima distancia que se alcanza a cubrir en un sólo salto llega a ser 4000 [km].

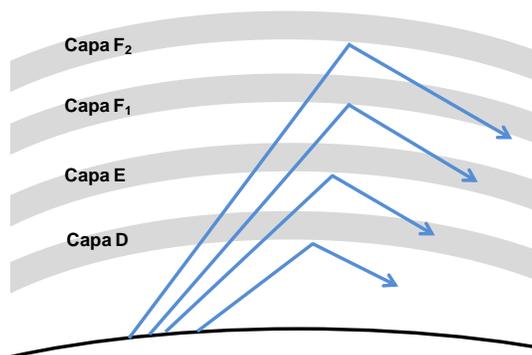


Figura 4.8: Capas de la ionosfera.

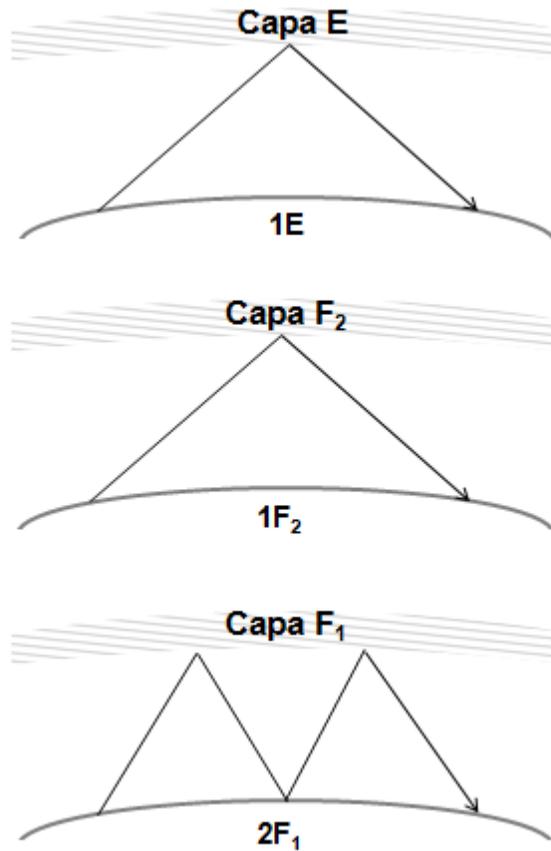


Figura 4.9: Una reflexión en la capa E (arriba). Una reflexión en la capa F₂ (centro). Dos reflexiones en la capa F₁ (abajo).

En VOACAP se obtienen los modos donde se puede propagar la señal (según el ángulo de elevación de la antena), y adicionalmente se tiene la probabilidad de que exista un modo adicional; todos estos datos se tienen por cada hora.

En la Figura 4.10 se muestra un gráfico donde se indica el modo y la probabilidad de un modo adicional para cada hora UTC para el día 09/Dic/2011. También se indica la hora aproximada de salida (06:30) y puesta de sol (17:40) para la ciudad de Brasilia.

**17.495 [MHz]
09/Dic/2011**

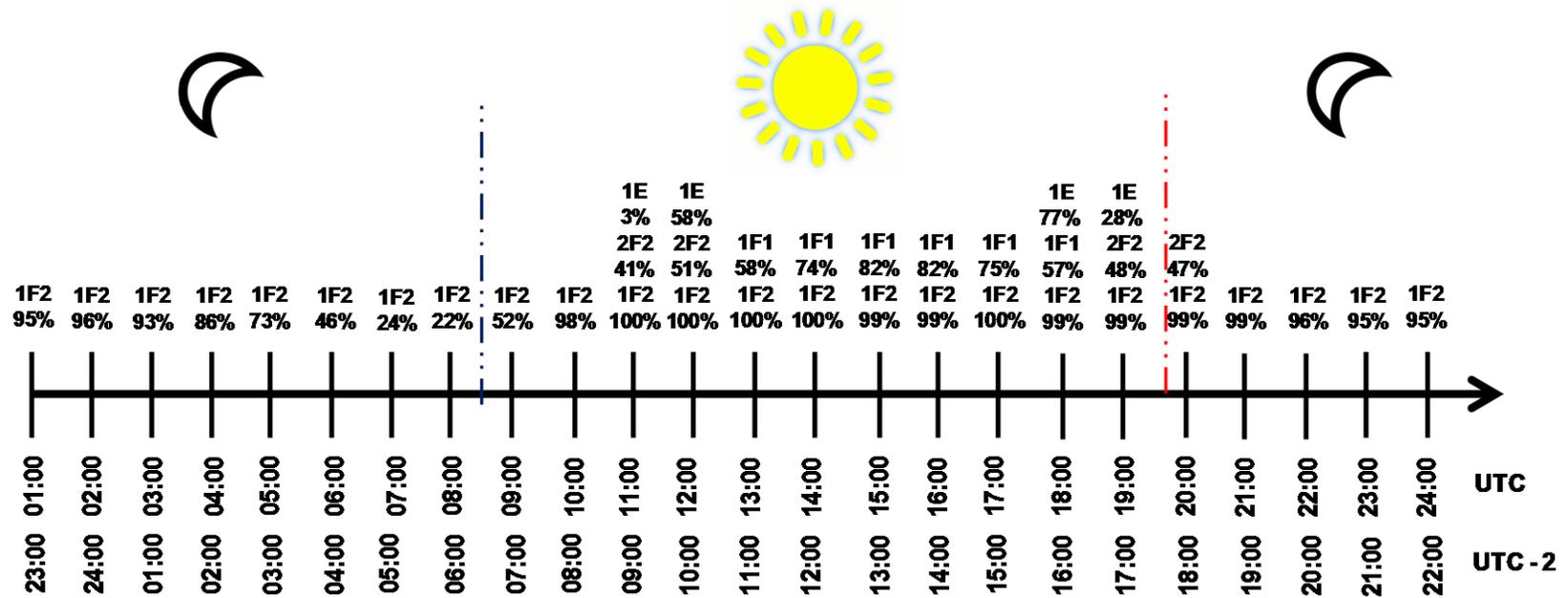


Figura 4.10: Resumen de modos y probabilidad de un modo adicional a lo largo del 09/Dic/2011, para la frecuencia de 17.495 [MHz] en hora UTC y UTC-2 (hora local).

Como se ha mencionado, la probabilidad de un modo adicional necesariamente implica un multitrayecto de la señal en el canal de propagación. En la Figura 4.10 a lo largo del día se observan estas estadísticas. Por la noche y madrugada la propagación obedece al modo $1F_2$, se tiene reflexión en la capa F_2 por la baja ionización en ese periodo de tiempo. A lo largo del día, desde que amanece se tiene también la presencia de otros modos de propagación con su probabilidad de modo adicional. Empezando con el modo $2F_2$ y en las horas cuando la intensidad de la luz solar es mayor, la presencia del modo F_1 .

4.2. REC533

Usando el REC533 se obtuvieron resultados similares a los de VOACAP. Se simuló para Dic/2011 en REC533 y se muestra la comparación de la magnitud del campo eléctrico con lo simulado en VOACAP para el 13/Dic/2011 a lo largo de 24 horas, se realizaron varias simulaciones y la similitud es considerable. La mayor diferencia existe en la FOT y en la región comprendida entre las 12:00 UTC y las 18:00 UTC.

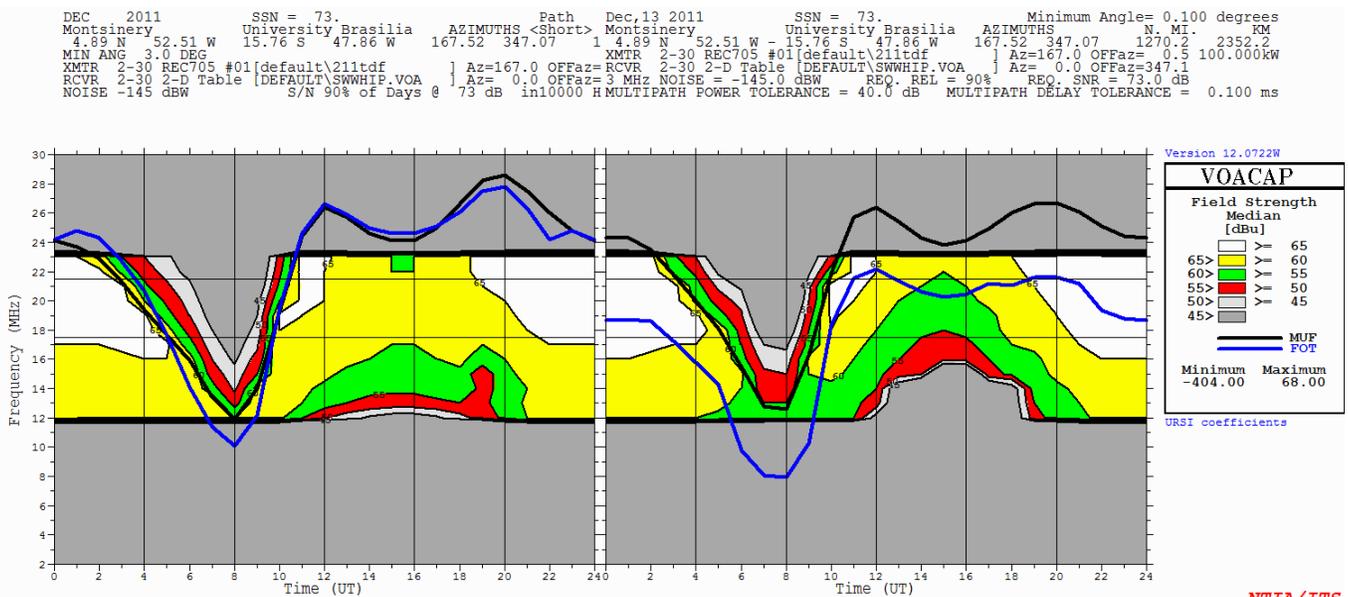


Figura 4.11: Comparación del comportamiento campo eléctrico en REC533 (izq.) y VOACAP (der.)

La FOT es prácticamente igual a la MUF, lo que implica que la máxima frecuencia que se puede usar es la frecuencia más fiable para llevar a cabo la comunicación.

Cabe resaltar que REC533 es limitado en comparación con VOACAP, ya que VOACAP tiene varios métodos de cálculo a usar y varios parámetros a graficar, mientras que en REC533 sólo se tienen unos pocos parámetros a graficar, por ejemplo, en la sección anterior se mostraron resultados de la probabilidad de multitrayecto, en REC533 no se cuenta con esta opción, el detalle de parámetros a graficar de REC533 se muestra en el anexo 1b.

Otro punto a resaltar, se menciona en la RECOMENDACIÓN UIT-R P.533-11 [3] en la que está basado REC533:

“En las regiones ecuatoriales, y en particular por la tarde/noche (hora local), es posible que se distorsionen los resultados previstos a causa de inestabilidades estructurales ionosféricas regionales que no se tienen en cuenta en este método.”

En la RECOMMENDATION ITU-R P.617-1 “Propagation prediction techniques and data required for the design of trans-horizon radio-relay systems” [5] se menciona que la región ecuatorial comprende entre las latitudes 10°N y 10°S, lo que forma gran parte del trayecto de la señal que se está simulando, y al no ser considerados en los softwares de propagación los resultados no van a ser precisos en esta región del trayecto de la señal.

Al no poderse simular las inestabilidades causadas por el fenómeno físico ya mencionado, se busca utilizar el software más preciso posible para evitar afectar aún más las estimaciones. Así que se decidió usar VOACAP como software base para las estimaciones al ser un software más preciso que REC533. [6]

Referencias.

[1] International Telecommunication Union. *Recomendación UIT-R BS.1615-1 «Parámetros de planificación» para la radiodifusión sonora digital en frecuencias inferiores a 30 MHz*. 2011

[2] International Telecommunication Union. *Recomendación ITU-R P.372-11 «Radio noise»*. 2013

[3] International Telecommunication Union. *Recomendación ITU-R P.533-11 «Método de predicción de la calidad de funcionamiento de circuitos que funcionan en ondas decamétricas»*. 2012

[4] The Sunspot cycle.

Disponible en: <http://solarscience.msfc.nasa.gov/SunspotCycle.shtml>

[Fecha de consulta: Enero/2014]

[5] International Telecommunication Union. *Recommendation ITU-R P.617-1 «Propagation prediction techniques and data required for the design of trans-horizon radio-relay systems»*. 2013.

[6] Review of HF propagation analysis & prediction programs.

Disponible en: <http://www.astrosurf.com/luxorion/qs1-review-propagation-software.htm>

[Fecha de consulta: Junio/2014]

[7] VOACAP Quick Guide.

Disponible en: <http://www.voacap.com/>

[Fecha de consulta: Enero/2014]

[8] [American Radio Relay League](#). *THE ARRL ANTENNA BOOK*. 19th Edition. 2000

5. Análisis y resultados de la evaluación subjetiva de audios.

En general se considera que es necesario un AQ del 98% para considerar que un audio es correctamente recibido. Sin embargo el valor real puede variar para diferentes codificaciones de fuente, para diferentes codificaciones de canal y para diferentes canales de propagación.

Con el fin de obtener resultados representativos acerca del porcentaje de AQ mínimo requerido por el oyente para que su apreciación del audio sea de una calidad “excelente” (como se mencionó en el punto 3.2 del capítulo 3), y validar o cambiar el AQ del 98% como valor requerido se llevaron a cabo evaluaciones subjetivas de los audios grabados.

La importancia de determinar el porcentaje de AQ mínimo radica en conocer un valor conocido que sirva para medir que el audio recibido no sea molesto para la audiencia, ya que pueden existir cortes en el audio, que tendría un impacto negativo en la audiencia de la estación radiofónica.

Este parámetro hace referencia a las tramas correctamente decodificadas en determinado tiempo con respecto a las transmitidas en ese mismo intervalo de tiempo.

$$AQ(\%) = \frac{\text{Numero de tramas de audio correctamente decodificadas}}{\text{Numero de tramas de audio transmitidas}}$$

Como se ha dicho, se ha considerado que un 98% de AQ es una recepción perfecta [1][2]. Basándose en ello se ha realizado la clasificación que se muestra en la Tabla 5.1. Con el análisis mostrado en este capítulo se intenta saber si es así para el oyente o si se debería tomar un porcentaje de AQ diferente.

Total	Interpretación
AQ≥98%	La señal fue recibida “correctamente”.
98%<AQ≤90%	La señal es recibida, pero con deficiencias.
AQ<90%	La recepción de la señal es mala.

Tabla 5.1: Descripción para cada rango de AQ.

Las evaluaciones subjetivas consisten en escuchar los audios que fueron grabados en la recepción, al escuchar cada audio se le evalúa conforme a la escala siguiente (mencionada en el capítulo 3). Dado que el audio es digital, el efecto principal de los errores de recepción son los cortes en la grabación, traduciéndose en una mala calidad de la transmisión al ser molesto para el oyente escuchar una grabación entrecortada.

	Calidad	Evaluación	Degradación
5	Excelente	Recepción perfecta	Imperceptible
4	Buena	Pocos cortes. Casi imperceptibles	Perceptible, pero no molesta
3	Adecuada	Pocos cortes. Aceptable	Ligeramente molesta
2	Insuficiente	Muchos cortes	Molesta
1	Mala	No se ha grabado nada	Muy molesta

Tabla 5.2: Escala de evaluación subjetiva usada. [3]

En esta sección se muestran los resultados de dichas valoraciones, se han subdividido por frecuencia y modo de transmisión para tener una resultados divididos por cada configuración de transmisión y cada canal de transmisión. En cada sección se encuentran dos tablas de datos, la primera de ellas contiene el número total de medidas y cuentas de ellas pertenecen a cada rango de AQ según la Tabla 5.1. La segunda Tabla tiene el número de audios que fue calificado de acuerdo a la escala de la Tabla 5.2 y además se incluye una imagen donde los resultados se muestran de manera grafica.

5.1 Recepción fija 17495 [kHz], modo B/64/16/0/L.

Para este caso, se comparan los resultados obtenidos para una frecuencia de 17495 [kHz] y un modo de transmisión B/64/16/0/L. En la Tabla 5.3 se muestra la distribución de los archivos evaluados conforme a su AQ, mientras que en la Tabla 5.4 se muestran los resultados de la evaluación subjetiva con base a la clasificación vista en la sección 3.2. En la misma tabla también se indican cuales fueron los valores máximos y mínimos de AQ para el conjunto de archivos evaluados con determinada calificación.

Recepción fija 17495 [kHz] Modo B/64/16/0/L		
	Medidas	Porcentaje %
Total	66	100.0
AQ≥98%	65	98.4
90%≤AQ<98%	1	1.6
AQ<90%	0	0.0

Tabla 5.3: Evaluación de AQ en la frecuencia 17495 [kHz], modo B/64/16/0/L.

Recepción fija 17495 [kHz]				
Modo B/64/16/0/L				
	Medidas	Porcentaje %	Max AQ	Min AQ
Total	63	100.0		
5 - Recepción perfecta	60	95.2	100.00	99.15
4 - Pocos cortes. Casi imperceptible	3	4.8	99.22	96.17
3 - Pocos cortes. Aceptable	0	0.0	0.0	0.0
2 - Muchos cortes	0	0.0	0.0	0.0
1 - No se ha grabado nada	0	0.0	0.0	0.0

Tabla 5.4: Evaluación subjetiva de audios recibidos en la frecuencia 17495 [kHz], modo B/64/16/0/L.

Como se ve en la Tabla 5.4 más del 95% del total de los archivos fueron evaluados con una calificación de “5 - Recepción Perfecta”, de ese porcentaje de archivos se encontró que el valor mínimo de AQ fue de 99.15%, por arriba del 98% que ha sido usado como una recepción casi libre de errores.

En el criterio de evaluación calificado con “4 - Pocos cortes. Casi imperceptible” se destaca que se tiene un valor máximo de 99.22% de AQ, lo que se encuentra por arriba del 98%. Lo anterior indica que aún cuando se presenta un AQ por arriba del 98%, el oyente percibe algunos cortes en el audio escuchado, pero estos no le parecen molestos.

También teniendo un AQ inferior al 98%, de 96.17% que se define como una señal recibida pero con deficiencias, el oyente lo califica como "Pocos cortes, casi imperceptible", es decir, lo considera como aceptable. En la Figura 5.1 se muestra el resultado gráfico de la Tabla 5.4, es decir, se observa el volumen de archivos y los valores mínimo y máximo de AQ para cada calificación. Al analizar dicho gráfico, se puede rescatar que el rango de AQ para la calificación de “4 - Pocos cortes. Casi imperceptible” es amplio, lo que demuestra dispersión en sus valores de AQ de los archivos evaluados. Mientras que los archivos evaluados con “5 - Recepción perfecta” resulta un rango mucho más compacto.

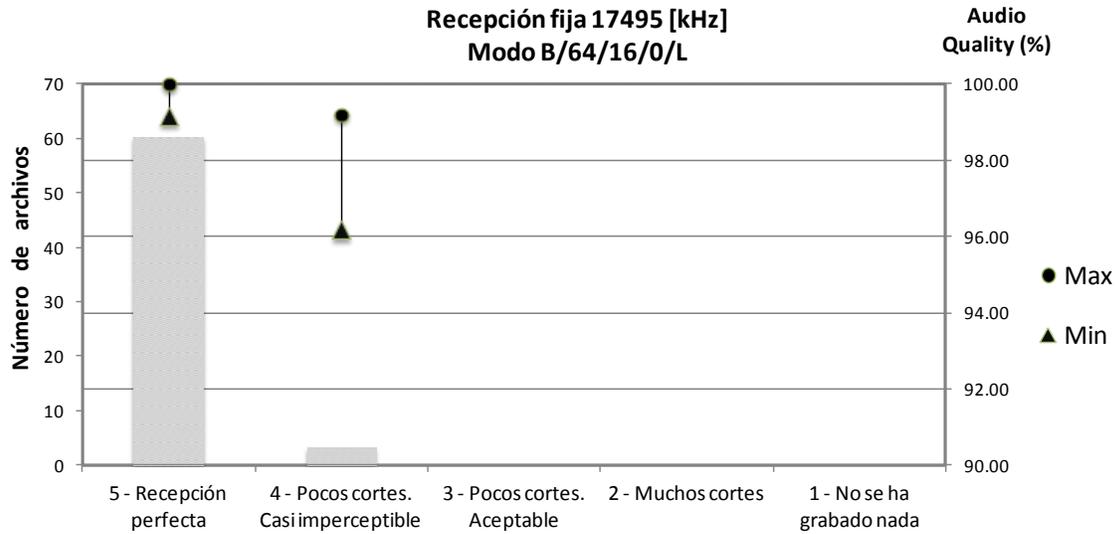


Figura 5.1: Gráfico que muestra el rango de AQ y cada criterio de evaluación de los audios recibidos en la frecuencia 17495 [kHz], modo B/64/16/0/L.

5.2 Recepción fija 17495 [kHz], modo B/64/16/1/L.

En la Tabla 5.5 se muestran la distribución de los archivos evaluados de una frecuencia de 17495 [kHz] y un modo de transmisión B/64/16/1/L. Se tiene un AQ por arriba del 98%, lo que se reitera en la Tabla 5.6 donde el 100% de evaluaciones subjetivas fueron calificadas con “5 - Recepción perfecta”.

Recepción fija 17495 [kHz] Modo B/64/16/1/L		
	Medidas	Porcentaje %
Total	12	100.0
AQ≥98%	12	100.0
90%≤AQ<98%	0	0.0
AQ<90%	0	0.0

Tabla 5.5: Evaluación de AQ en la frecuencia 17495 [kHz], modo B/64/16/1/L.

En la Tabla 5.6 también muestra los valores máximos y mínimos de AQ que tienen los archivos evaluados como “5 - Recepción perfecta”.

Recepción fija 17495 [kHz] Modo B/64/16/1/L				
	Medidas	Porcentaje %	Max AQ	Min AQ
Total	12	100.0		
5 - Recepción perfecta	12	100.0	100.00	98.01
4 - Pocos cortes. Casi imperceptible	0	0.0	0.0	0.0
3 - Pocos cortes. Aceptable	0	0.0	0.0	0.0
2 - Muchos cortes	0	0.0	0.0	0.0
1 - No se ha grabado nada	0	0.0	0.0	0.0

Tabla 5.6: Evaluación subjetiva de audios recibidos en la frecuencia 17495 [kHz], modo B/64/16/1/L.

El valor mínimo de AQ de todos los archivos que fueron evaluados con “5 - Recepción perfecta” es de 98.01%, apenas por encima de lo que se recomienda para una “Recepción perfecta” (valor del 98%), por lo que se puede intuir que los oyentes no se percataron de la existencia de cortes en las grabaciones y calificaron con “5 - Recepción perfecta”. El resultado gráfico donde se aprecia el rango de AQ de los archivos se muestra en la Figura 5.2.

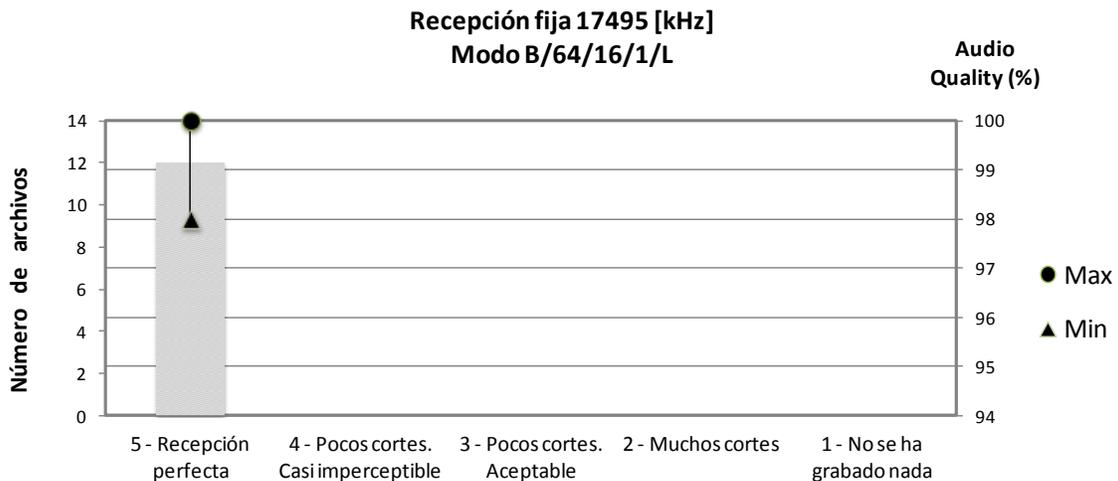


Figura 5.2: Gráfico que muestra el rango de AQ y cada criterio de los audios recibidos en la frecuencia 17495 [kHz], modo B/64/16/1/L.

Como se observa, todos los archivos fueron calificados con “5”, el rango de valores de AQ de esos archivos es de 100% a 98%.

5.3 Recepción fija 21495 [kHz], modo B/64/16/0/L.

La distribución de los archivos evaluados de una frecuencia de 21495 [kHz] y un modo de transmisión B/64/16/0/L se muestran en la Tabla 5.7. En esta frecuencia y modo en particular se tuvieron más deficiencias en la propagación, ya que aproximadamente el 40% de los archivos analizados tuvieron un AQ por debajo del 90%.

Recepción fija 21495 [kHz] Modo B/64/16/0/L		
	Medidas	Porcentaje %
Total	28	100.0
AQ≥98%	17	60.7
90%≤AQ<98%	0	0.0
AQ<90%	11	39.9

Tabla 5.7: Evaluación de AQ en la frecuencia 21495 [kHz], modo B/64/16/0/L.

En la Tabla 5.8 se muestran la distribución de archivos según la valoración dada por los oyentes, también se muestran los valores máximos y mínimos de AQ que tuvieron las agrupaciones de archivos según su calificación obtenida. La evaluación subjetiva es reflejo del análisis analítico, ya que el 60% de los archivos valorados fueron calificados con "5 - Recepción perfecta" o "4 - Pocos cortes. Casi imperceptible", en tanto que el porcentaje restante tuvieron diferentes calificaciones como se observa en dicha Tabla. El análisis se centrará en los criterios de evaluación más altos con respecto a la escala de evaluación.

Recepción fija 21495 [kHz] Modo B/64/16/0/L				
	Medidas	Porcentaje %	Max AQ	Min AQ
Total	28	100.0		
5 - Recepción perfecta	14	50.0	100.00	99.09
4 - Pocos cortes. Casi imperceptible	3	10.7	99.20	98.77
3 - Pocos cortes. Aceptable	0	0.0	0.00	0.00
2 - Muchos cortes	7	25.0	88.64	4.42
1 - No se ha grabado nada	4	14.3	2.61	0.00

Tabla 5.8: Evaluaciones subjetivas de audios recibidos en la frecuencia 21495 [kHz] y modo B/64/16/0/L.

En el criterio de evaluación calificado con “5” tiene como valor mínimo un 99.09 de AQ, por arriba del 98%, coincidiendo con lo esperado para una recepción correcta. Lo contrario ocurre en el criterio de evaluación calificado con “4” donde los cortes sí fueron identificados por los escuchas, y aún así el rango de AQ va de 98.7% hasta el 99.2%, por arriba del 98% que se considera como recepción perfecta, lo anterior se muestra en la Tabla 5.8 y gráficamente se puede observar en la Figura 5.3.

La Figura 5.3 se centra en los máximos y mínimos de los primeros criterios de evaluación, por la importancia que tienen para el análisis que se lleva a cabo en este trabajo. Los criterios de evaluación que no se consideran, son los que contienen a los 11 archivos que están calificados con los valores de la escala de evaluación más bajos (AQ<90%); por lo que se puede decir que los dos primeros criterios de evaluación coinciden o están sujetos al AQ≥90% (una calificación de “5” y de “4”) y los demás criterios de evaluación subjetiva están ligados a un AQ<90%.

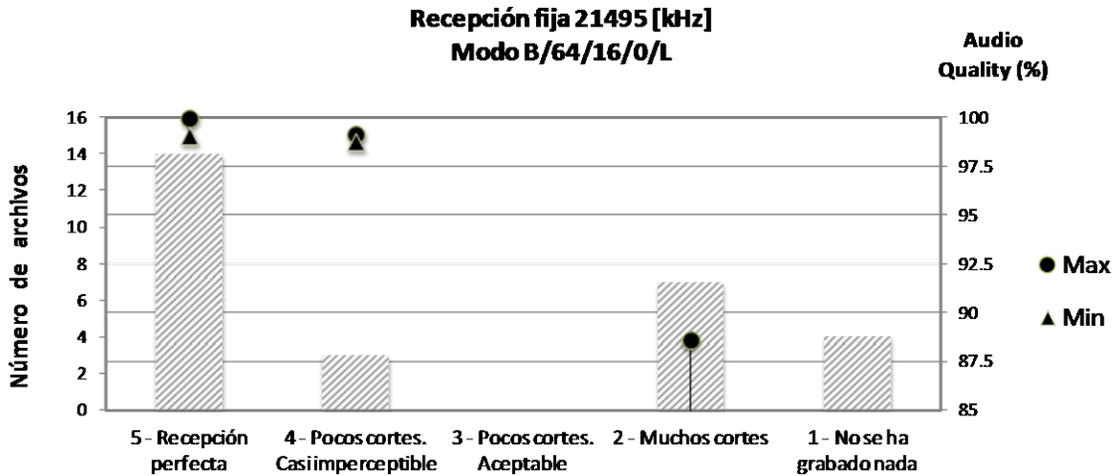


Figura 5.3: Gráfico que muestra el rango de AQ y cada criterio evaluación de los audios recibidos en la frecuencia 21495 [kHz] y modo B/64/16/0/L.

5.4 Recepción fija 21495 [kHz], modo B/64/16/1/L.

Para esta frecuencia y modo como se tienen 48 archivos con un AQ≥98%, mostrado en la Tabla 5.9 que es parecido en porcentaje con el total de archivos que se calificaron como “5 - Recepción perfecta” mostrado en la Tabla 5.10.

Recepción fija 21495 [kHz] Modo B/64/16/1/L		
	Medidas	Porcentaje %
Total	61	100.0
AQ\geq98%	48	78.7
90%\leqAQ<98%	1	1.6
AQ<90%	12	19.7

Tabla 5.9: Evaluación de AQ en la frecuencia 21495 [kHz], modo B/64/16/1/L.

El total de archivos de audio tomados en cuenta (Tabla 5.10) se eligieron de acuerdo a su día y hora de grabación con el fin de realizar la comparación, y que coinciden con las pruebas que se contabilizan en la Tabla 5.9

Recepción fija 21495 [kHz] Modo B/64/16/1/L				
	Medidas	Porcentaje %	Max AQ	Min AQ
Total	44	100.0		
5 - Recepción perfecta	35	79.5	100.00	99.01
4 - Pocos cortes. Casi imperceptible	2	4.5	98.54	92.46
3 - Pocos cortes. Aceptable	0	0.0	0.0	0.0
2 - Muchos cortes	7	15.9	80.40	8.49
1 - No se ha grabado nada	0	0.0	0.0	0.0

Tabla 5.10: Evaluaciones subjetivas de audios recibidos en la frecuencia 21495 [kHz], modo B/64/16/1/L.

El valor mínimo del criterio de evaluación “5 - Recepción perfecta” es 99.01%, que está por arriba del umbral de AQ \geq 98%, para el criterio de evaluación “4 - Pocos cortes. Casi imperceptible” su rango está por encima de 90%, pero su máximo esta por arriba del 98%, indicando que las grabaciones cuentan con cortes esporádicos, que son percibidos por los oyentes y califican con “4 - Pocos cortes. Casi imperceptible”.

Como se muestra gráficamente en la Figura 5.4, nuevamente para la calificación de “5” se tiene un rango compacto y para la calificación “4” el rango es mucha más amplio, para las transmisiones a 21495 [kHz] y un modo de transmisión B/64/16/1/L se tiene cerca del 16% de archivos calificados con el criterio de evaluación “2 - Muchos cortes”, que es igual a porcentaje de archivos evaluados en el capítulo anterior con un AQ<90%.

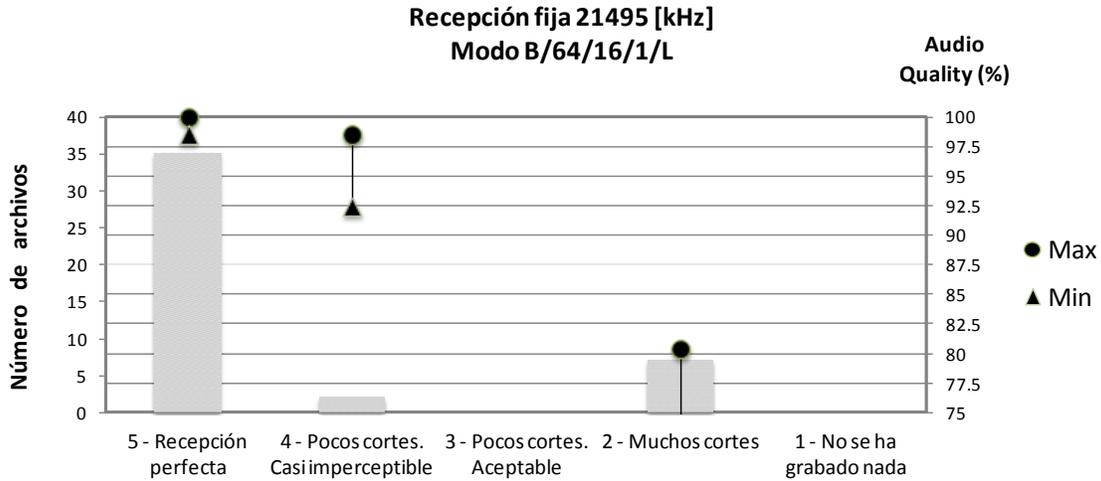


Figura 5.4: Gráfico que muestra el rango de AQ y cada criterio evaluación de los audios recibidos en la frecuencia 21495 [kHz].

5.5 Recepción móvil 17495 [kHz], modo B/64/16/0/L.

Como se mencionó en el capítulo 2 de este trabajo, fueron realizadas mediciones móviles, que fueron hechas en una frecuencia de 17495 [kHz] y un modo de transmisión B/64/16/0/L. En la Tabla 5.11 se reiteran los resultados ya mostrados en el capítulo anterior, con un total de 8 archivos, pero sólo 7 se tomaron en cuenta ya que un archivo se descartó por fallas en el transmisor, y de igual forma se descartará en la evaluación subjetiva.

Recepción móvil 17495 [kHz] Modo B/64/16/0/L		
	Medidas	Porcentaje %
Total	7	100.0
AQ ≥ 98%	7	100.0
90% ≤ AQ < 98%	0	0.0
AQ < 90%	0	0.0

Tabla 5.11: Evaluación de AQ en la frecuencia 21495 [kHz], modo B/64/16/1/L (Recepción móvil).

En la Tabla 5.11 se muestran los 7 archivos evaluados subjetivamente por los oyentes, la mayoría de los archivos tienen una calificación de “5”. El 85% de los archivos tiene una calificación de “5 - Recepción perfecta” y el 15% restante está valorado con “4 - Pocos cortes. Casi imperceptible”.

Recepción móvil 17495 [kHz] Modo B/64/16/0/L				
	Medidas	Porcentaje %	Max AQ	Min AQ
Total	7	100.0		
5 - Recepción perfecta	6	85.7	100	99.59
4 - Pocos cortes. Casi imperceptible	1	14.3	89.11	89.11
3 - Pocos cortes. Aceptable	0	0.0	0.0	0.0
2 - Muchos cortes	0	0.0	0.0	0.0
1 - No se ha grabado nada	0	0.0	0.0	0.0

Tabla 5.12: Evaluaciones subjetivas de audios recibidos en la frecuencia 21495 B/64/16/1/L (Recepción móvil).

El archivo calificado con “4 - Pocos cortes. Casi imperceptible”, corresponde al apagado del transmisor hacia el final del archivo, como se puede observar en la Figura 5.5, y tiene un 89.11% de AQ como se indica en la Tabla 6.10. Sin embargo en la evaluación que se realizó en el capítulo anterior, se consideró que posee un $AQ \geq 98\%$ pues no se toma en cuenta la parte final del archivo.

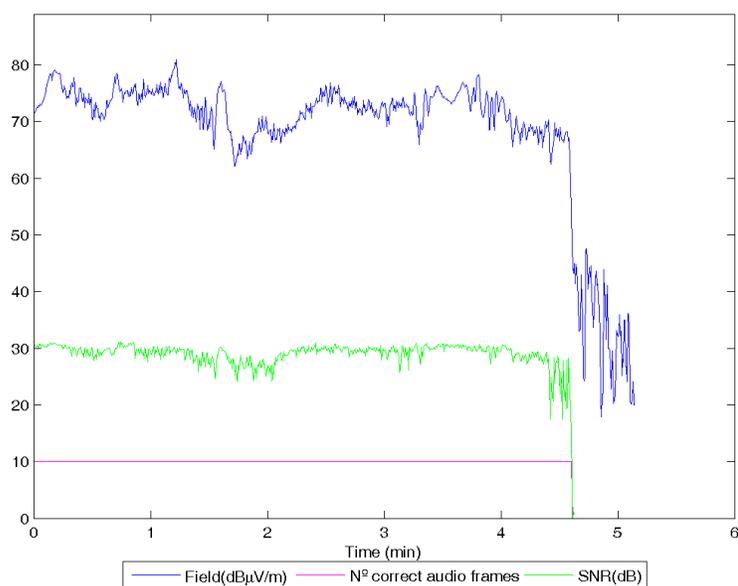


Figura 5.5: Archivo *.rsA calificado con “4 - Pocos cortes. Casi imperceptible”.

En la Figura 5.6 se muestra gráficamente los resultados de la Tabla 6.10, con la modificación de que el archivo calificado con 4 se ha considerado con una evaluación de 5 omitiendo la parte final del archivo debido a lo ya comentado con el transmisor y le corresponde un AQ del 100%.

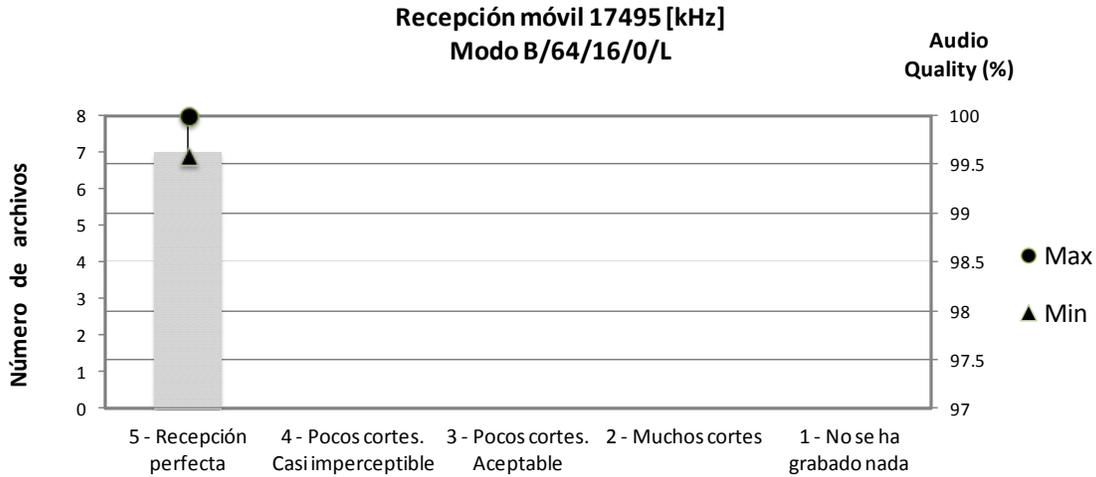


Figura 5.6: Gráfico que muestra el rango de AQ y cada criterio evaluación de los audios recibidos en la frecuencia 21495 B/64/16/1/L (Recepción móvil).

5.6 Resumen.

En este apartado se muestran las estadísticas globales de ambas frecuencias de transmisión y de ambos modos de transmisión, incluyendo la recepción móvil.

En el nivel de evaluación “5 - Recepción perfecta” se podría esperar que el valor mínimo de AQ fuera cercano al 100%, sin embargo el valor mínimo es de 92.8%, muy por debajo de lo esperado. En “4 - Pocos cortes. Casi imperceptible” se tiene el mínimo en 96.2, por debajo del valor esperado del 98%. Mientras que para las últimas dos categorías el máximo es de 88.6%, se afirma que un AQ menor al 90% es una transmisión de pobre calidad que generará malas sensaciones a los oyentes.

Con las dos primeras categorías se puede decir que teniendo un AQ mayor al 95%, la percepción de los probables escuchas sea de una transmisión buena, sin ningún corte prolongado que afecte la experiencia y provoque quejas del usuario final.

Desgraciadamente hay pocos archivos con valores de AQ entre el 90% y el 98% para definir mejor los umbrales.

Estadísticas Globales				
	Medidas	Porcentaje %	Max AQ	Min AQ
Total	154	100		
5 - Recepción perfecta	128	83.1	100.0	98.0
4 - Pocos cortes. Casi imperceptible	8	5.2	99.2	96.2
3 - Pocos cortes. Aceptable	0	0.0	0.0	0.0
2 - Muchos cortes	14	9.1	88.6	4.4
1 - No se ha grabado nada	4	2.6	2.6	0.0

Tabla 5.13: Evaluaciones subjetivas de todos los audios recibidos, en ambas frecuencias (17495 y 21495 [MHz]).

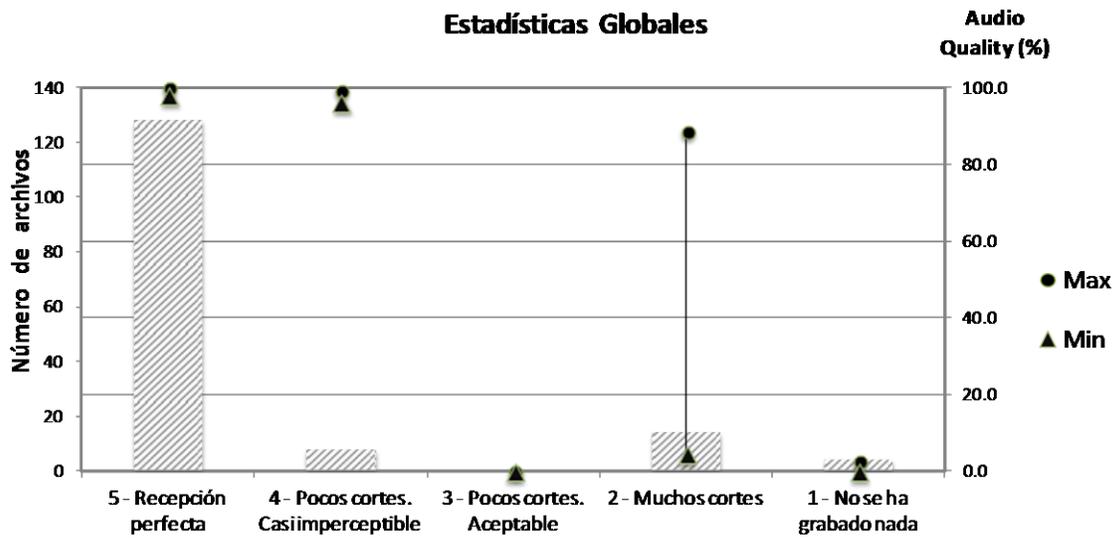


Figura 5.7: Gráfico que muestra el rango de AQ y cada criterio evaluación de todos los audios recibidos, en ambas frecuencias (17495 y 21495 [MHz]).

Con estos resultados se concluye que los valores de AQ del 90% para recepción "regular" y del 98% para recepción correcta son ligeramente conservadores. Y por tanto, y debido a la escasa aparición de estos valores, también se acepta el uso de dichos valores del 90% y del 98% como valores de referencia.

Referencias.

[1] Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). *Medições de Campo do Sistema DRM30 (Digital Radio Mondiale) na Faixa de Ondas Médias em São Paulo com a Rádio Cultura AM.* 2011

[2] Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). *Medições de Campo do Sistema DRM+ (Digital Radio Mondiale) em Baixa Potência na Faixa de FM em Xerém, Duque de Caxias / RJ.* 2012

[3] *International Telecommunication Union. Recomendación UIT-R BS.1284-1. Métodos generales para la evaluación subjetiva de la calidad de sonido.* 2003.

6. Análisis y resultados de las pruebas de DRM en SW.

Dado el capítulo anterior como precedente, en este capítulo se tienen los resultados en base al procesamiento informático de los datos recibidos incluyendo los resultados obtenidos de AQ, resultados de SNR, de la magnitud de campo eléctrico y gráficas de la densidad espectral de potencia. Se realiza toda la presentación de datos para definir umbrales de campo y SNR donde se logra una buena recepción y además, se analizara las posibles causas de la mala recepción de las pruebas de DRM en SW.

Como se mencionó en el capítulo 3, con base a rutinas informáticas se procesaron los datos contenidos en cada archivo *.rsA, los cuales contienen los valores de cada uno de los parámetros que se propuso analizar. En las secciones subsecuentes se incluyen los resultados obtenidos de los diferentes parámetros presentados en tablas y gráficos, donde se muestra su comportamiento y se realiza el análisis de los mismos. Este análisis se realiza por frecuencia y modo de transmisión, por lo general cada sección cuenta con una tabla de datos y dos gráficas; la tabla resume el total de medidas analizadas y cuántas de ellas pertenecen a cada rango de AQ, la primera gráfica ubica la fecha y hora local de la realización de las medidas, la segunda gráfica exhibe la magnitud del campo eléctrico medio respecto al SNR promedio de cada archivo. Dados los resultados del capítulo anterior, los rangos de AQ se mantienen como en la bibliografía, es decir, buena recepción $AQ \geq 98\%$, regular $98\% < AQ \leq 90\%$ y mala recepción $AQ < 90\%$.

De la presentación de datos y análisis anterior, se observaron casos recurrentes o especiales donde el campo eléctrico sufría variaciones similares por lo que se presenta una sección donde se analizan y determinan las probables causas de ello. El estudio se realiza basándose en otros parámetros como la densidad espectral de potencia y en las simulaciones realizadas de los escenarios de propagación presentadas en el capítulo 4.

6.1 Recepción fija 17495 [kHz] modo B/64/16/0/L.

En esta frecuencia y modo se tiene el mayor número de minutos de pruebas, con 66 medidas (cada archivo tiene en promedio una duración de 5 min.). Los resultados fueron casi perfectos en términos de su AQ, como se puede observar en la Tabla 6.1. Solo un archivo de los 66 tiene un AQ por debajo de 98%. Dicha medida se tomó aproximadamente al mediodía de Brasilia el primer día de pruebas y tiene un AQ de 97.26.

Recepción Fija 17495 [kHz] Modo B/64/16/0/L		
	Medidas	Porcentaje %
Total	66	100.0
AQ \geq 98%	65	98.4
98%<AQ \leq 90%	1	1.6
AQ<90%	0	0.0

Tabla 6.1: Porcentajes totales en la frecuencia 17945 [kHz] y modo B/64/16/0/L.

Dos días se realizaron pruebas por la mañana y cuatro días fue por la tarde y tarde noche, por lo que se probó en un rango amplio del día, resultando que bajo esta frecuencia y modo de transmisión no se tuviera mayores problemas de propagación. En la Figura 6.1 se muestra la gráfica donde se muestran las medidas realizadas ubicadas por día y por hora local, también están iluminadas según el AQ de cada una de ellas, color verde para un AQ \geq 98%, color amarillo para 98%<AQ \leq 90% y color rojo para AQ<90%. Para cada sección se muestra una gráfica con las mismas características.

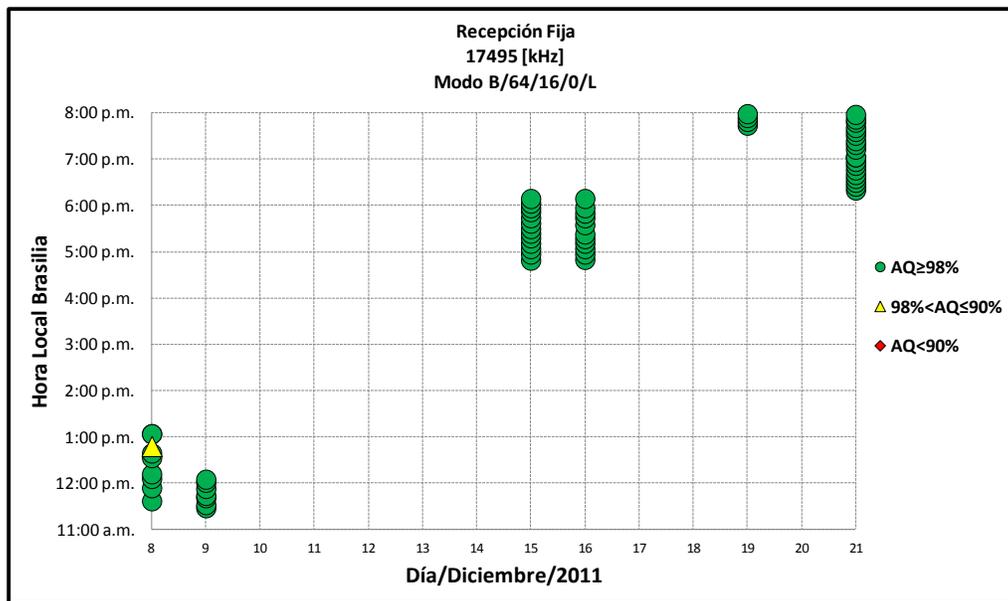


Figura 6.1: Disposición por día y hora de las pruebas en la frecuencia 17945 [kHz] y modo B/64/16/0/L.

En la Figura 6.2 se muestra otro tipo de gráfica que será muy usada en este capítulo, se ubican las medidas según la magnitud del campo eléctrico medio y la SNR promedio a lo largo de cada archivo, de la misma forma que en la Figura 6.1, también cada medida se ilumina según el AQ que tenga.

En la Figura 6.2 se observa que el campo eléctrico medio ronda como mínimo aproximadamente 54 [dB μ V/m], manteniendo un SNR por arriba de los 26 [dB], por lo que teniendo estos valores se tiene un AQ casi del 100%. Dado que no se tienen mayores medidas con resultados con un AQ por

debajo del 98%, no se puede asegurar que los valores mínimos para una recepción óptima sean los mostrados en la Figura 6.2.

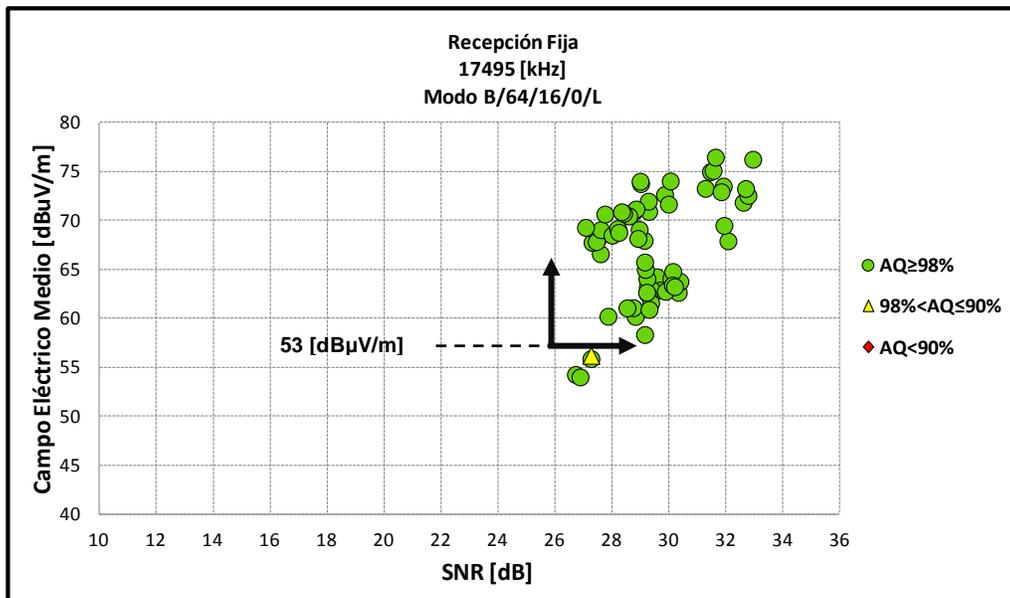


Figura 6.2: SNR vs campo eléctrico en la frecuencia 17945 [kHz] y modo B/64/16/0/L.

6.2 Recepción fija 17495 [kHz] modo B/64/16/1/L.

Para esta frecuencia y modo en particular se tienen resultados perfectos, todos los archivos muestran un AQ mayor o igual a 98% (Tabla 6.2) y se tiene un AQ promedio de global del 99.11%.

Recepción Fija 17495 [kHz] Modo B/64/16/1/L		
	Medidas	Porcentaje %
Total	12	100
AQ ≥ 98%	12	100
98% < AQ ≤ 90%	0	0.0
AQ < 90%	0	0.0

Tabla 6.2: Porcentajes totales en la frecuencia 17945 [kHz] y modo B/64/16/1/L.

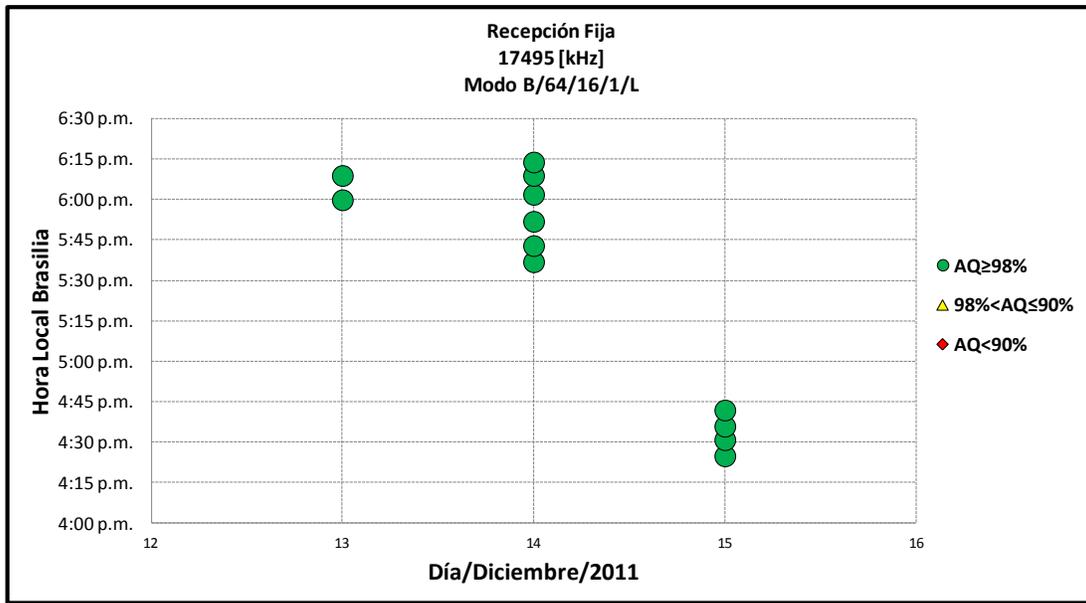


Figura 6.3: Disposición por día y hora de las pruebas en la frecuencia 17495 [kHz] y modo B/64/16/1/L.

Como se observa en la Figura 6.3, las pruebas se han realizado en la tarde, a partir de las 4:00 pm y hasta las 6:30 pm aproximadamente.

En este modo también no es posible definir un umbral, por la ausencia de medidas con malos resultados. Aun así se tienen valores mínimos con los cuales se lograron buenos resultados, por lo que se muestra gráficamente una comparación de los valores mínimos obtenidos para la misma frecuencia, pero con el modo B/64/16/1/L (flechas rojas) y el modo B/64/16/0/L (flechas negras) en la Figura 6.4. La comparación realizada es de forma general, mostrando todos los archivos, independientemente de la hora y día de la realización de las pruebas.

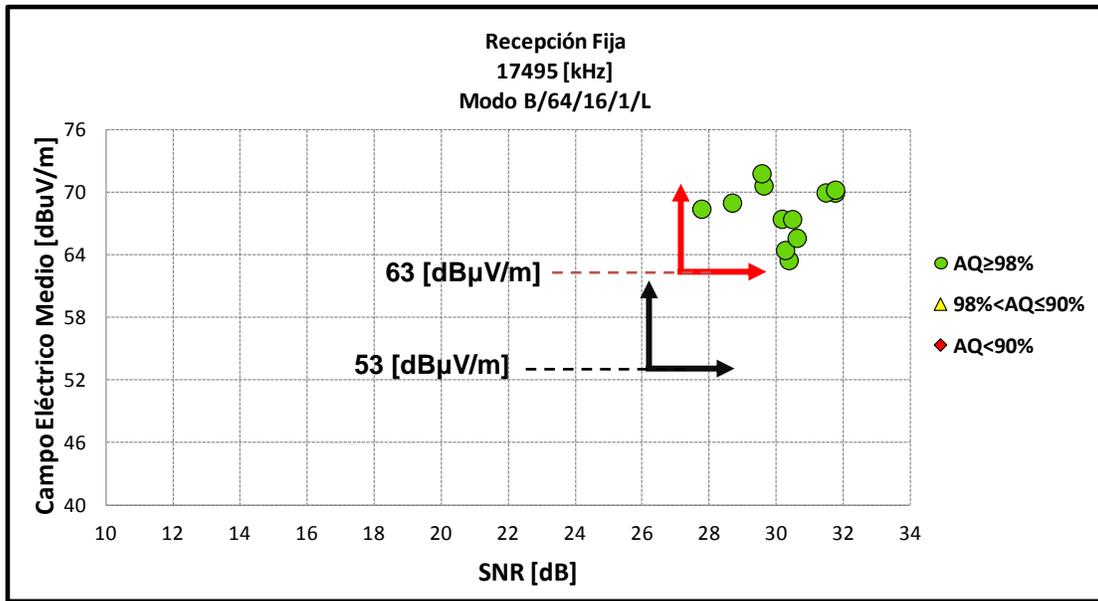


Figura 6.4: SNR vs campo eléctrico en la frecuencia 17495 [kHz] y modo B/64/16/1/L. Comparación de los dos modos en la frecuencia 17495 [kHz]

En la Figura 6.5 se realiza la comparación, pero tomando en cuenta solo los archivos grabados por la tarde. Comparando los valores mínimos que se observan en las gráficas, con el modo B/64/16/0/L tiene valor menor en 4 [dBuV/m].

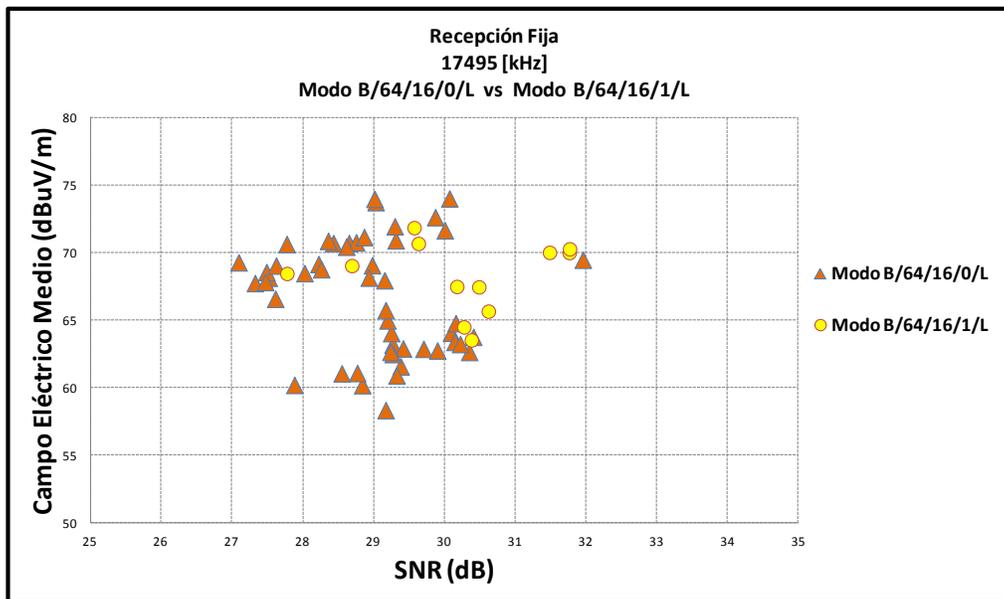


Figura 6.5: Comparación de los dos modos en la frecuencia 17495 [kHz]. Considerando solo archivos por la tarde.

6.3 Recepción fija 21495 [kHz] modo B/64/16/0/L.

Para esta frecuencia y este modo, en la Tabla 5.3 se resume el porcentaje de AQ del total de archivos, y en la Figura 6.6 se muestra la distribución de hora y día en que se realizaron las pruebas. Donde se resalta que el día 12/Diciembre/2011 se reportó que existieron problemas con el transmisor a partir de las 14:01 (UTC time), traducándose en 11 archivos que por la tarde de ese mismo día tengan un AQ por debajo del 90%, es decir que tuvo mala recepción.

Recepción Fija 21495 [kHz] Modo B/64/16/0/L		
	Medidas	Porcentaje %
Total	28	100
AQ\geq98%	17	60.7
98%<AQ\leq90%	0	0.0
AQ<90%	11	39.3

Tabla 6.3: Porcentajes totales en la frecuencia 21495 [kHz] y modo B/64/16/0/L.

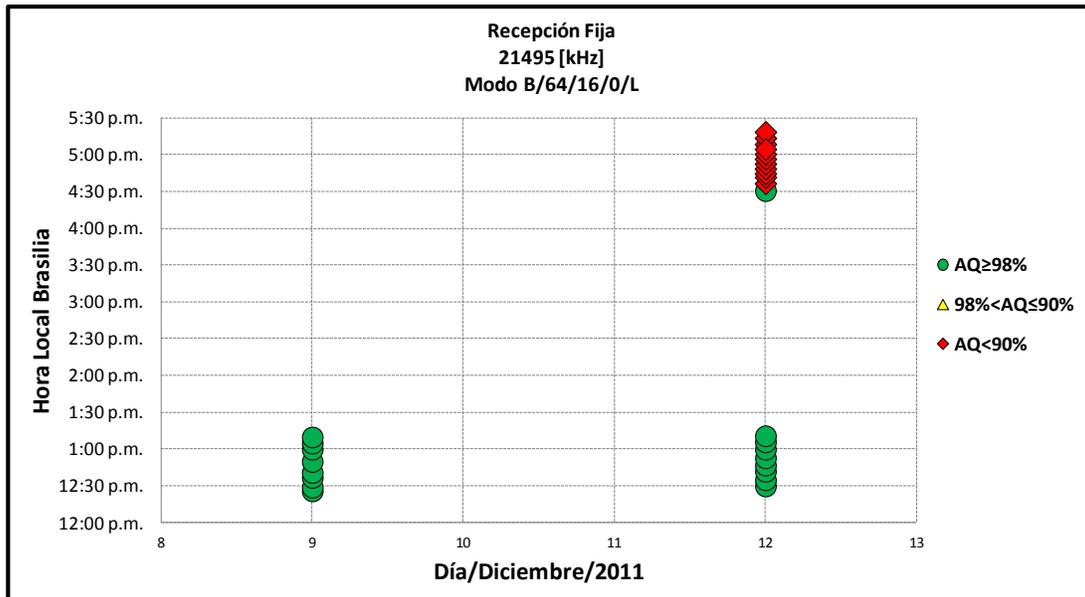


Figura 6.6: Disposición por día y hora de las pruebas en la frecuencia 21495 kHz y modo B/64/16/0/L.

En la Figura 6.6 se observan las pruebas realizadas por la mañana, que están todas agrupadas y presentan una SNR por arriba de 28 [dB] y un campo por encima de los 75 [dB μ V/m], mientras que los 12 archivos que se tienen de pruebas por la tarde se agrupan con una SNR por debajo de los 24 [dB] y un campo por debajo de 70 [dB μ V/m].

En la parte central de la gráfica de la Figura 6.7 se tiene dos puntos, los cuales son las dos primeras medidas de la tarde del día 12. Los dos archivos son: *rec_21495_20111212_173250_000.rsA* (marcado con "1") y *rec_21495_20111212_140653_000.rsA* (marcado con "2"). En la sección 6.6 se trata más a detalle lo sucedido con estos dos archivos.

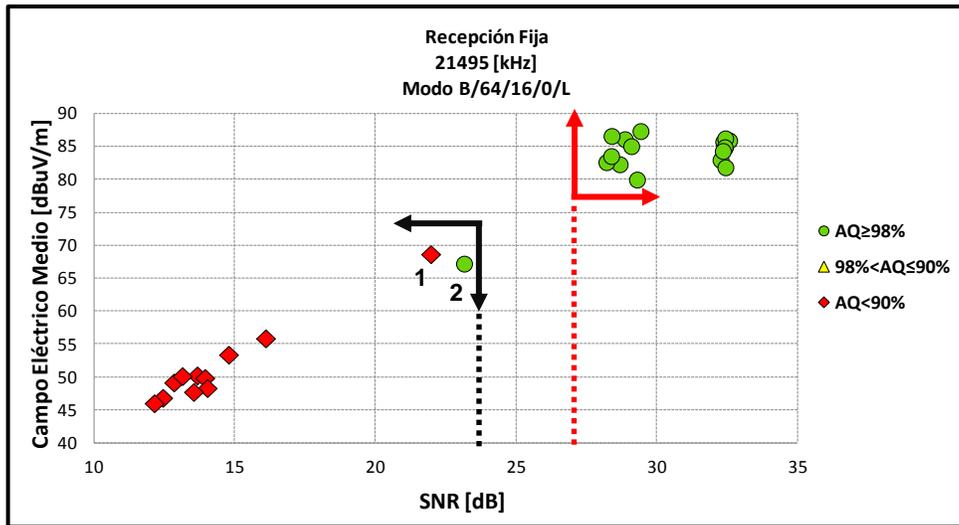


Figura 6.7: SNR vs campo eléctrico en la frecuencia 21495 [kHz] y modo B/64/16/0/L.

6.4 Recepción fija 21495 [kHz] modo B/64/16/1/L.

Se tienen pruebas alrededor del mediodía y se cuenta con un gran número de archivos distribuidos en 4 días, el resumen se muestra en la Tabla 6.4.

Recepción Fija 21495 [kHz] Modo B/64/16/1/L		
	Medidas	Porcentaje %
Total	61	100
AQ ≥ 98%	48	78.7
98% < AQ ≤ 90%	1	1.6
AQ < 90%	12	19.7

Tabla 6.4: Porcentajes totales de AQ en la frecuencia 21495 [kHz] y modo B/64/16/1/L.

En la Figura 6.8 se tiene la distribución de los archivos según el AQ, para un $AQ < 90\%$ la mayor parte se concentra hacia el final de las pruebas para los días exceptuando para el día 13/Diciembre, donde además, hay una medida con mala recepción al comienzo de las pruebas.

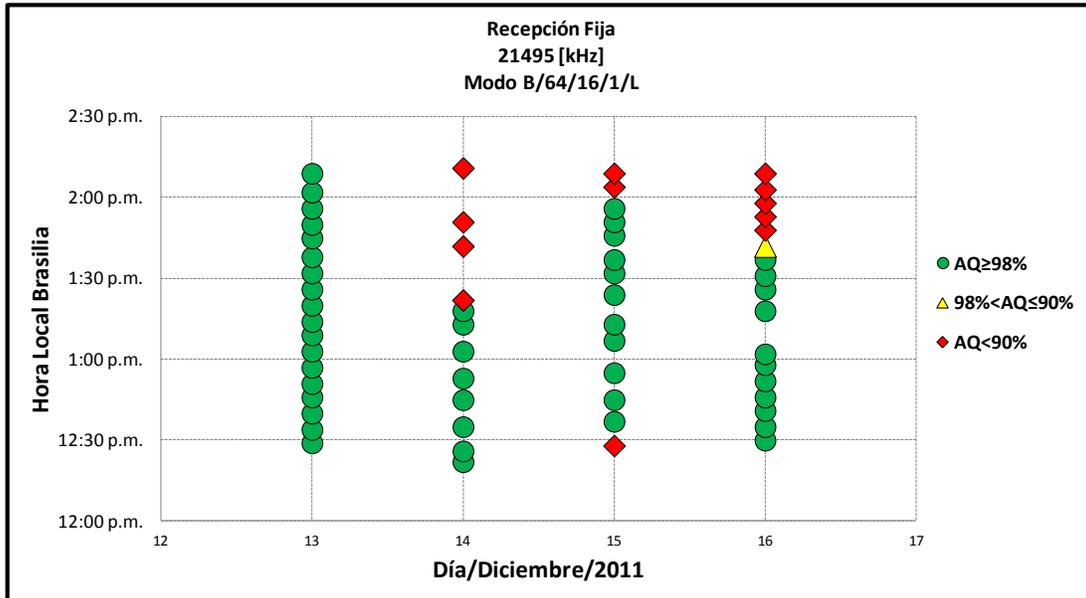


Figura 6.8: Disposición por día y hora de las pruebas en la frecuencia 21495 [kHz] y modo B/64/16/0/L.

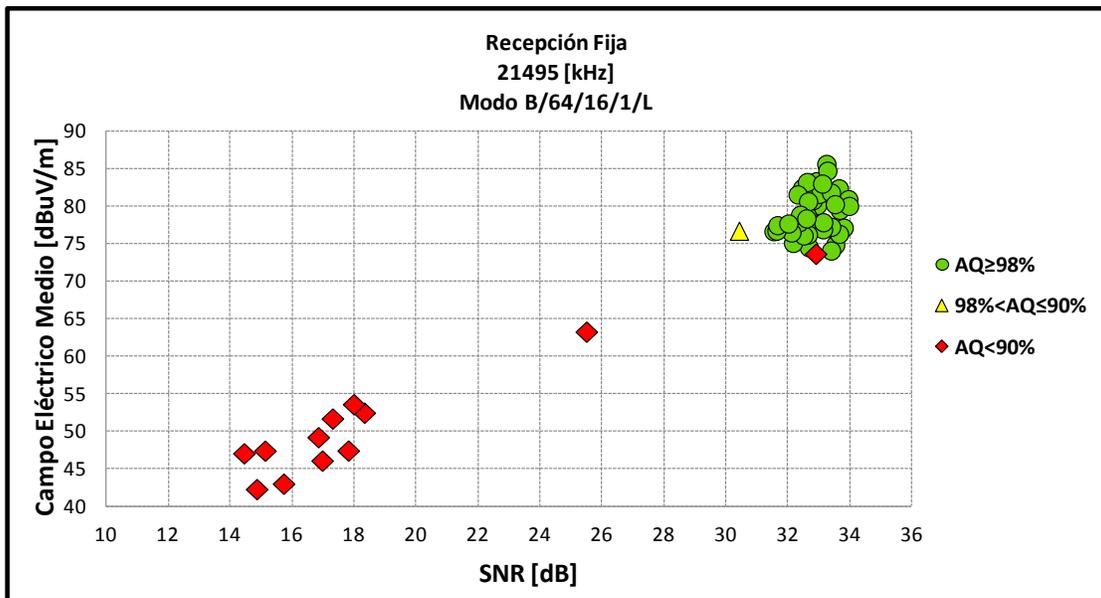


Figura 6.9: SNR vs campo eléctrico en la frecuencia 21495 [kHz] y modo B/64/16/1/L.

En los días 14,15 y 16 de Diciembre en que se llevaron a cabo pruebas con esta frecuencia y modo, existen archivos con un AQ<90%, por lo que los archivos se analizarán por cada día en la sección 6.6.

Como se realizó en la sección anterior, también se comparan los valores mínimos dos modos de transmisión en la misma frecuencia. En la Figura 6.9 se observa dicha comparación. Dado que se tienen medidas con mala recepción se pueden estimar valores umbrales para una buena recepción. Para el modo “0” se tiene una SNR mínima de 28 [dB] y 31 [dB] para el modo “1”.

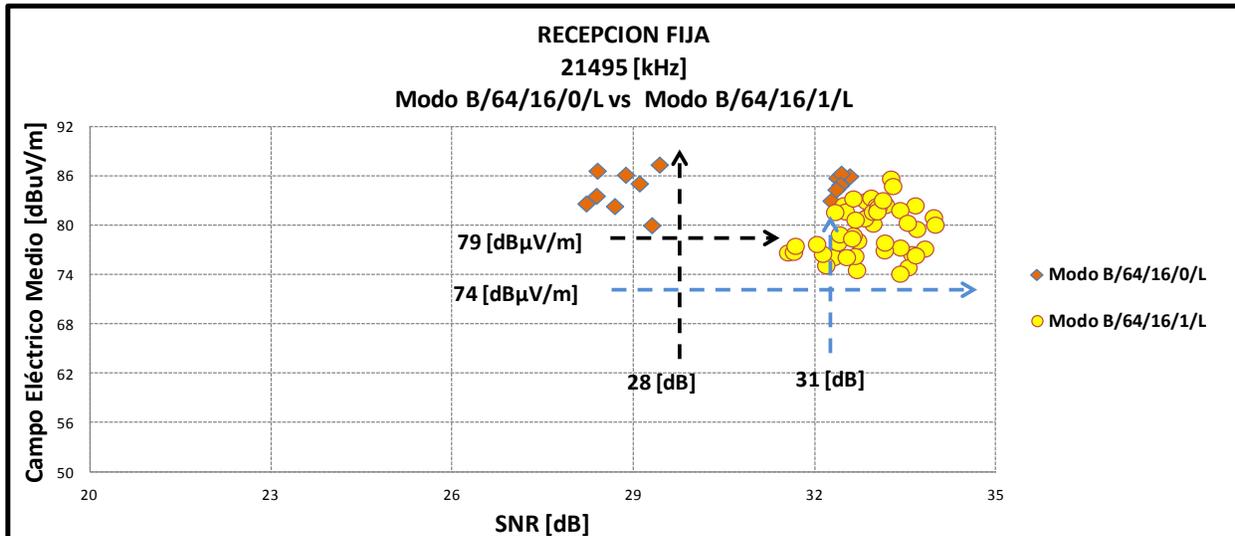


Figura 6.9: Comparación de los dos modos en la frecuencia 21495 [kHz].

6.5. Recepción móvil 17495 [kHz] modo B/64/16/0/L.

Para estas pruebas se tuvo una ruta de 45 [km] (Figura 6.10) que atraviesa ambientes urbanos y rurales. Se tienen solo 8 medidas, aunque de un promedio de duración de 7 minutos cada una.

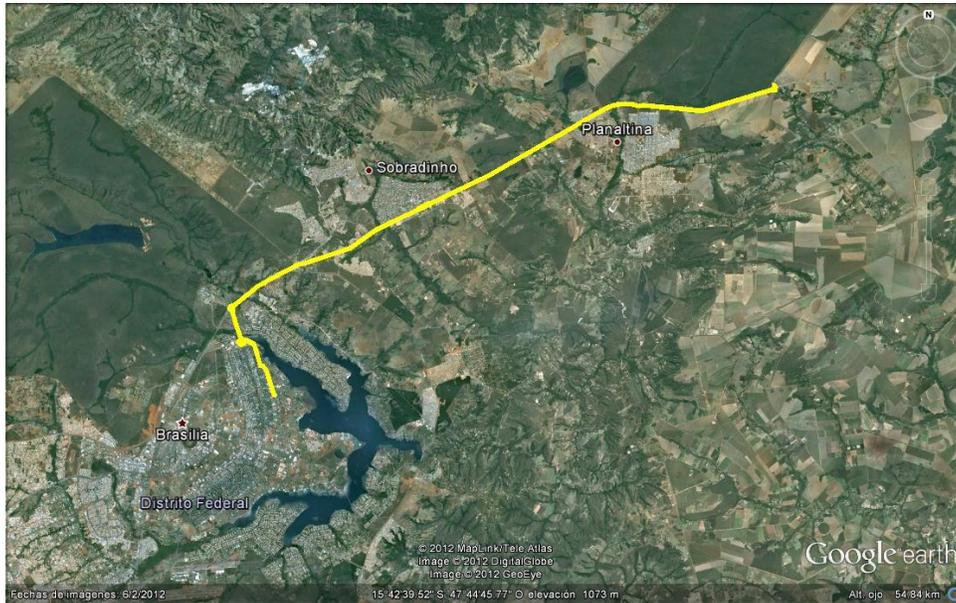


Figura 6.10: Ruta de prueba de recepción móvil.

Las pruebas para recepción móvil fueron realizadas por la tarde y solamente un archivo de ellos tiene un $AQ \leq 98\%$, como se muestra en la Figura 6.11 y en la Tabla 6.6.

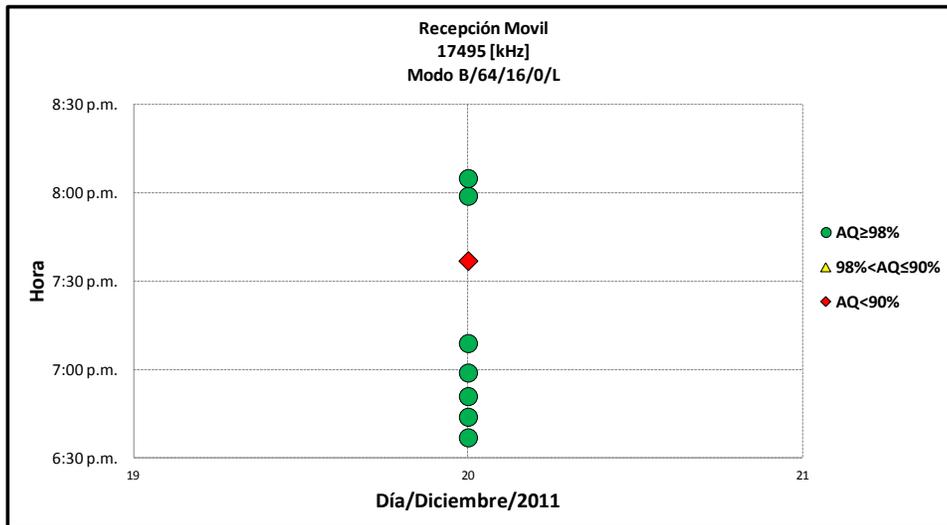


Figura 6.11: Disposición por día y hora de las pruebas en la frecuencia 21495 [kHz] y modo B/64/16/0/L (Recepción Móvil).

Durante la realización de estas pruebas para recepción móvil, se reportaron fallas en el transmisor cerca de las 19:00 durante algunos minutos, por lo que el archivo con $AQ \leq 98\%$: el rec_17495_20111220_201004_000.rsA fue descartado de este análisis.

Como se muestra en la Figura 6.12, existen cerca de 5 minutos que el receptor no decodifica ninguna trama recibida, como consecuencia tiene un AQ de 79.6%.

Recepción Móvil 17495 [kHz] Modo B/64/16/0/L		
	Medidas	Porcentaje %
Total	8	100.0
AQ \geq 98%	7	87.5
98%<AQ \leq 90%	0	0.0
AQ<90%	1*	12.5

Tabla 6.6: Porcentajes totales de AQ en la frecuencia 17495 kHz y modo B/64/16/0/L (Recepción Móvil).
* Retirando este archivo, se tiene que el total de archivos tiene AQ \geq 98%

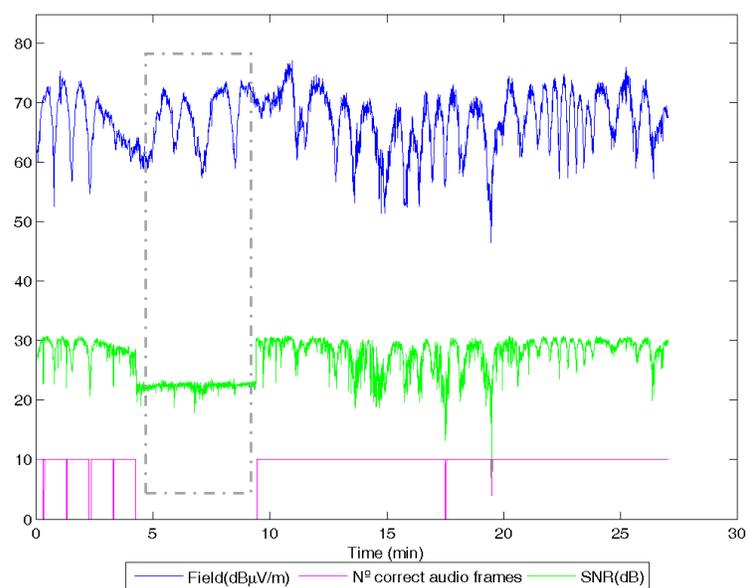


Figura 6.12: Magnitud del campo, SNR y AQ del archivo: rec_17495_20111220_201004_000.rsA a través de su duración.

Todos los casos tuvieron un valor promedio de campo eléctrico por arriba de 62 [dB μ V/m] y una SNR por arriba de 26 [dB] con lo que se tuvo una buena recepción. Los 7 archivos considerados tienen promedio de 98.38 de AQ.

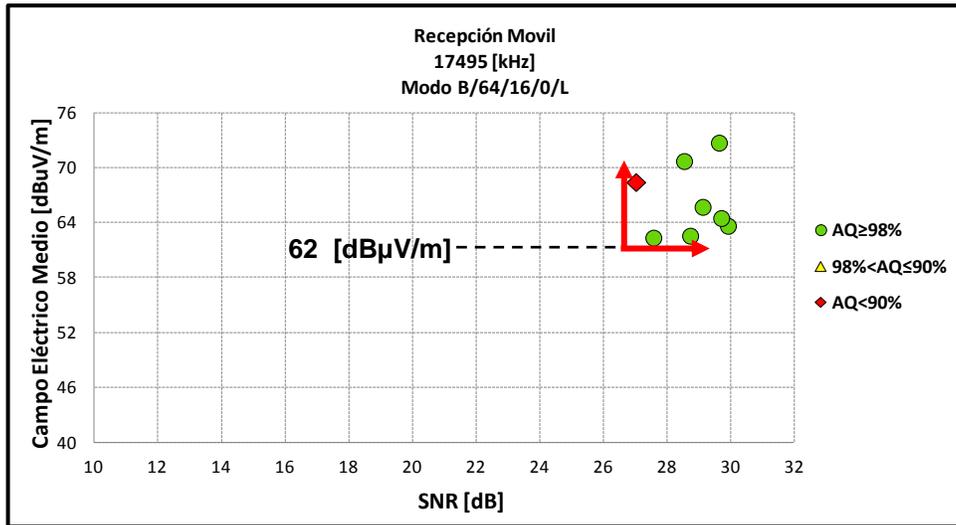


Figura 6.13: SNR vs campo eléctrico en la frecuencia 17495 [kHz] y modo B/64/16/0/L (Recepción Móvil).

De los siete archivos restantes, solamente en el archivo rec_17495_20111220_203722_000.rsA se tiene un sólo momento en el cual el número de tramas recibidas cae (Figura 6.14). Se observa que la SNR cae cerca de 10 [dB] propiciando el efecto negativo en las tramas correctamente recibidas.

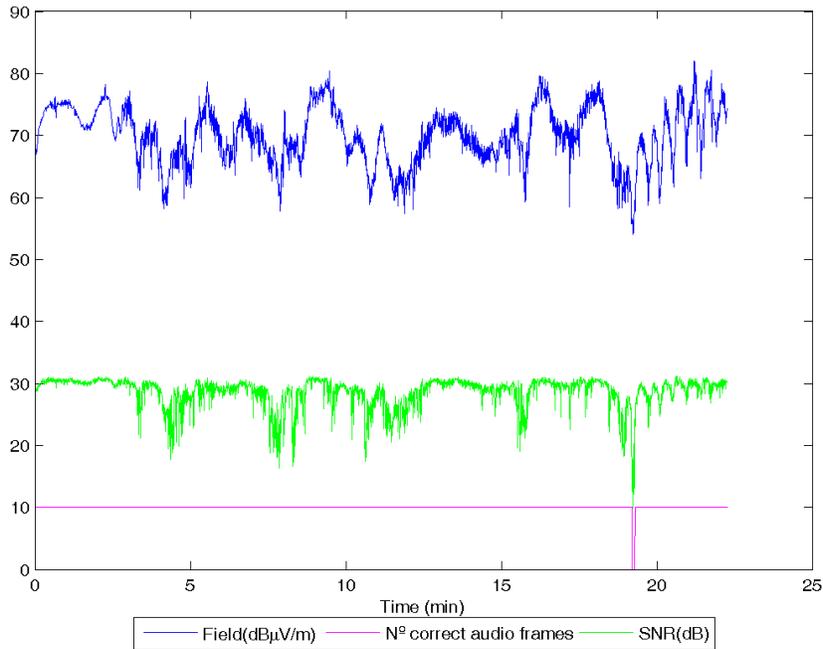


Figura 6.14: Magnitud del campo, SNR y AQ del archivo: rec_17495_20111220_203722_000.rsA a través de su duración.

6.6. Campo eléctrico con variaciones periódicas.

En las secciones siguientes se muestran los casos recurrentes o especiales donde el campo eléctrico presenta variaciones periódicas o esporádicas.

Al inicio de cada caso se dice a que frecuencia y modo de transmisión pertenece. Para cada caso se muestran las gráficas de AQ, SNR y densidad espectral de frecuencia (PSD) según sea el caso.

En esta sección se muestran los casos donde el campo eléctrico presenta variaciones periódicas.

Para la frecuencia de 21495 [kHz] y modo B/64/16/0/L se tienen archivos con caídas del campo eléctrico, en la Figura 6.15 se muestra el archivo *rec_21495_20111212_140653_000.rsA*, este archivo presenta un fenómeno de caídas de campo eléctrico con cierta periodicidad en el tiempo siendo un indicio de la presencia del multitrayecto y se presentará en más archivos en las secciones siguientes.

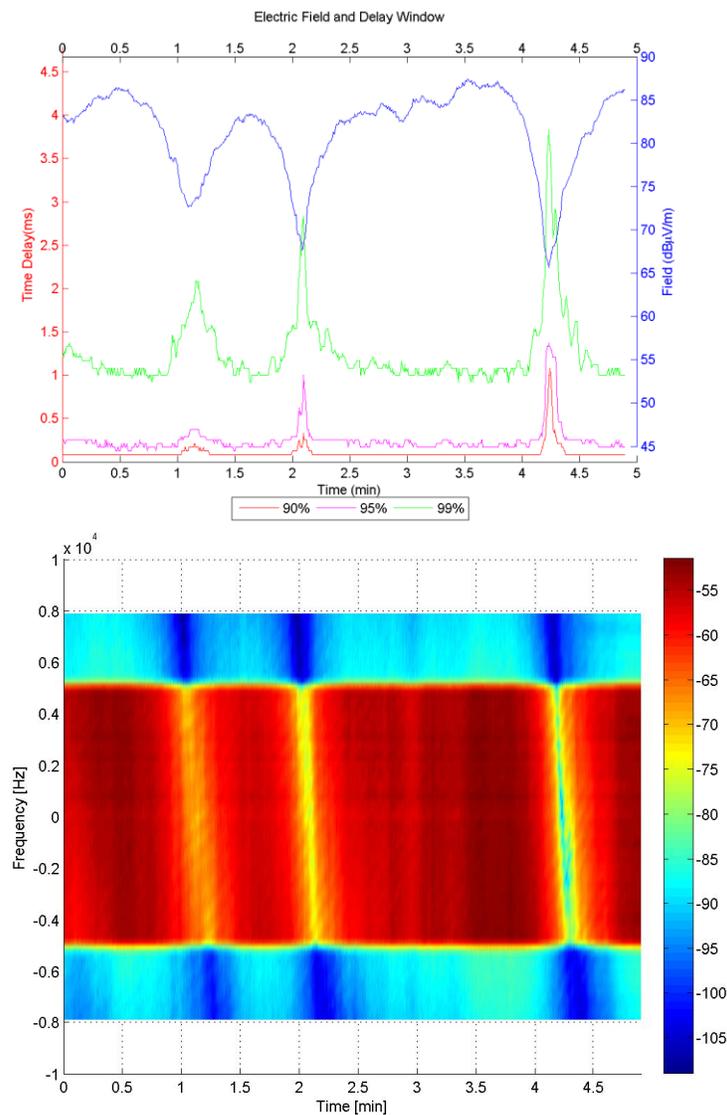


Figura 6.15: Campo eléctrico y la PSD del archivo *rec_21495_20111212_140653_000.rsA*.

El multitrayecto se origina por los diferentes caminos en los que la señal llega al receptor, al tener diferentes rutas por las cuales llega, recorre una distancia diferente, implicando que cada una de estas señales llega desfasada una con otra. Por lo tanto, la amplitud de la señal se ve afectada dependiendo el desfase existente, esta afectación se muestra en la Figura 6.16.

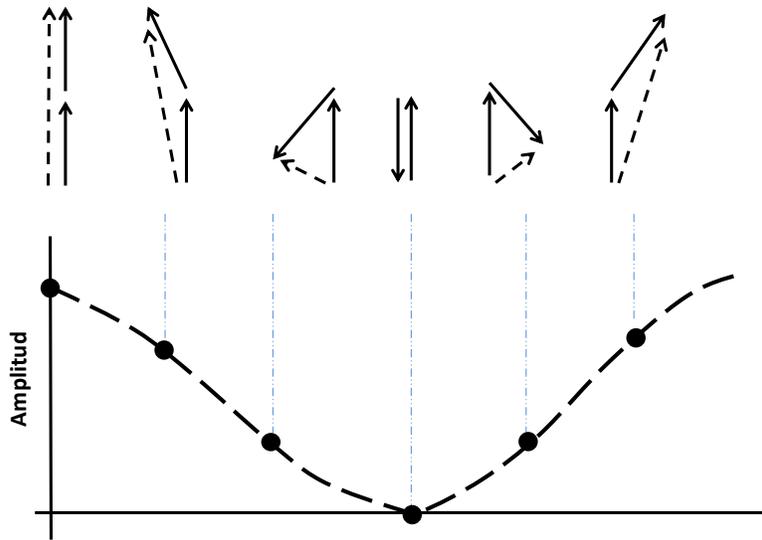


Figura 6.16: Dos señales que se suman o restan dependiendo del desfase. [1]

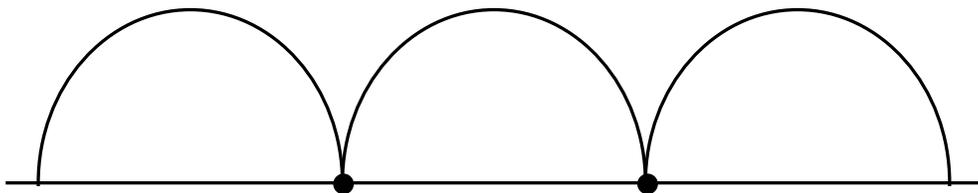


Figura 6.17: Patrón de multitrayecto.

Un patrón típico de multitrayecto se ve en la Figura 5.13, existen puntos en los cuales la señal se anula completamente y se traduce en una mala recepción.

Para la misma frecuencia pero de modo B/64/16/1/L se tiene el mismo fenómeno, para el día 15/Diciembre los archivos *rec_21495_20111215_132620_000.rsA* (1) y el archivo *rec_21495_20111215_145723_000.rsA* (2) grabados a las 11:28 y 13:04 respectivamente (hora local de Brasilia). En las Figuras 6.18 y 6.19 se ubican en las gráficas pertinentes.

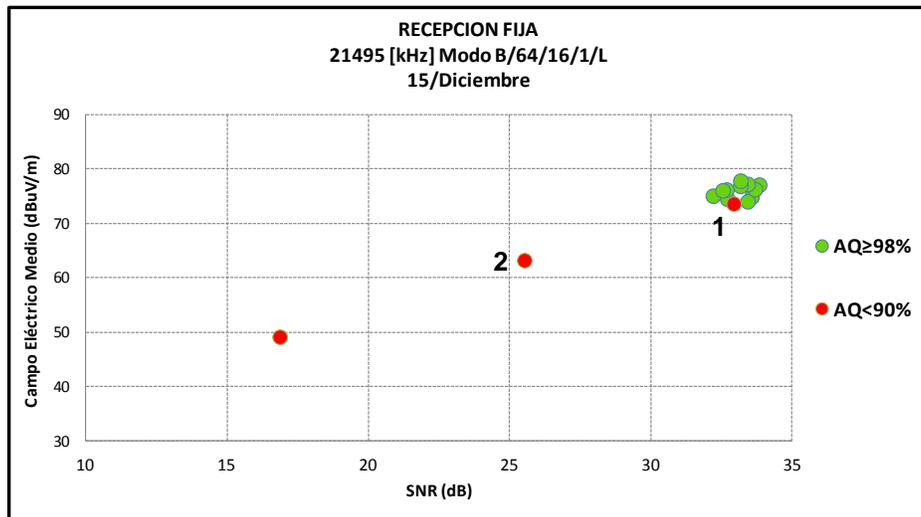


Figura 6.18: SNR vs campo eléctrico de los archivos del 15/Diciembre.

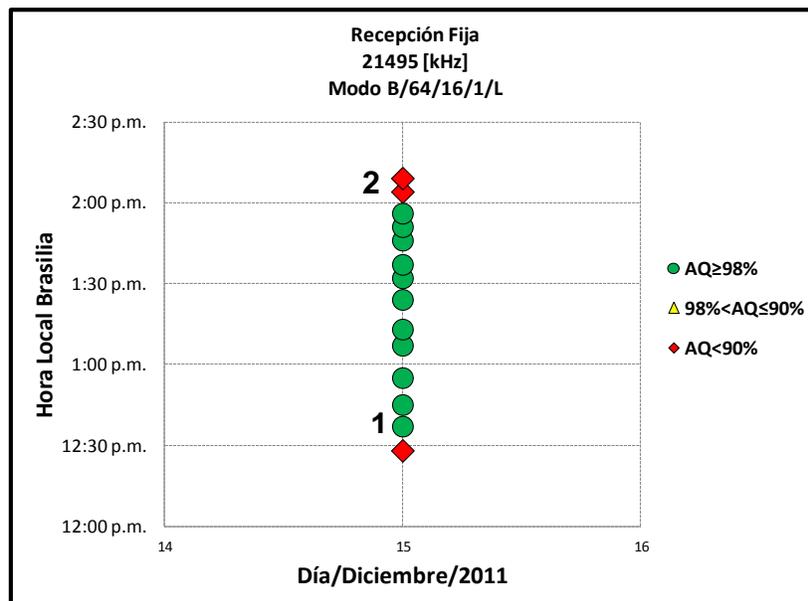


Figura 6.19: Disposición por hora de las pruebas en la frecuencia 21495 [kHz] y modo B/64/16/1/L el 15/Diciembre.

Como se observa, el primer archivo marcado con el número 1 tiene un AQ de 64.1% y antecede archivos con un $AQ \geq 98\%$, mientras que el archivo marcado con el número 2 es el penúltimo y viene precedido de archivos que también tiene un alto desempeño en AQ resultando interesante enfocarse en estos dos archivos.

El archivo marcado con el número 1 nunca sufre una degradación en cuanto al campo eléctrico como se observa en a Figura 6.20, tiene un promedio de magnitud de campo eléctrico de 73.28 [dB μ V/m], cuando se dejan de decodificar las tramas en el receptor coincide con la caída de la SNR, dado que el campo eléctrico se mantiene, se intuye que el ruido que capta el receptor aumenta.

El archivo que le sucede (*rec_21495_20111215_133007_000.rsA*) grabado a las 11:37 presenta una magnitud del campo eléctrico de 75.15 [dB μ V/m] en promedio, pero una forma de “rizado” mucho más constantes en gran parte del tiempo.

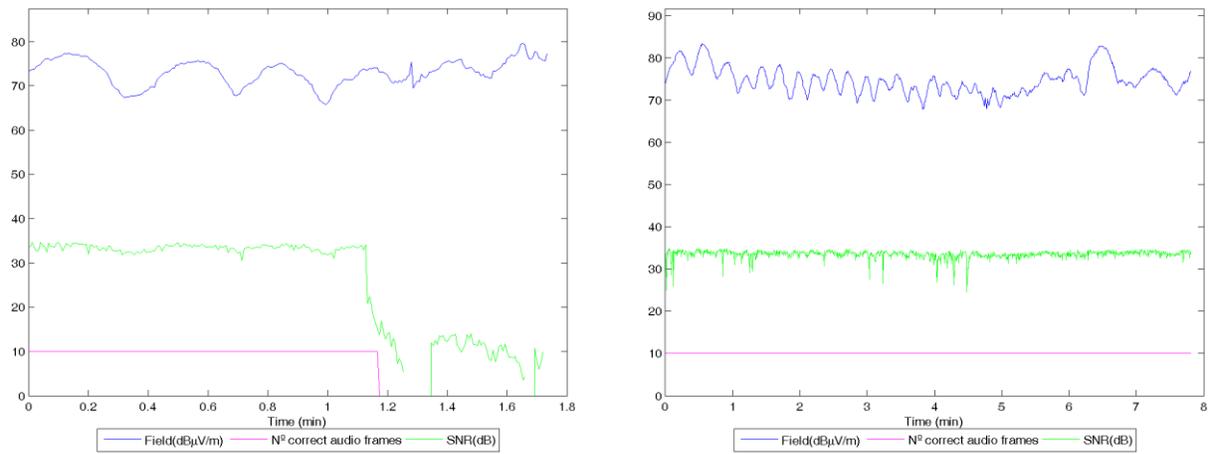


Figura 6.20: *rec_21495_20111215_132620_000.rsA* (izquierda) y *rec_21495_20111215_133007_000.rsA* grabado unos minutos más tarde (11:37).

En las Figuras 6.21 y 6.22 se muestran las densidades espectrales de potencia (PSD) de los dos archivos. En la PSD del archivo *rec_21495_20111215_132620_000* (Figura 6.21) se observa el multitrayecto que existe y lo que provoca que la magnitud del campo eléctrico oscile.

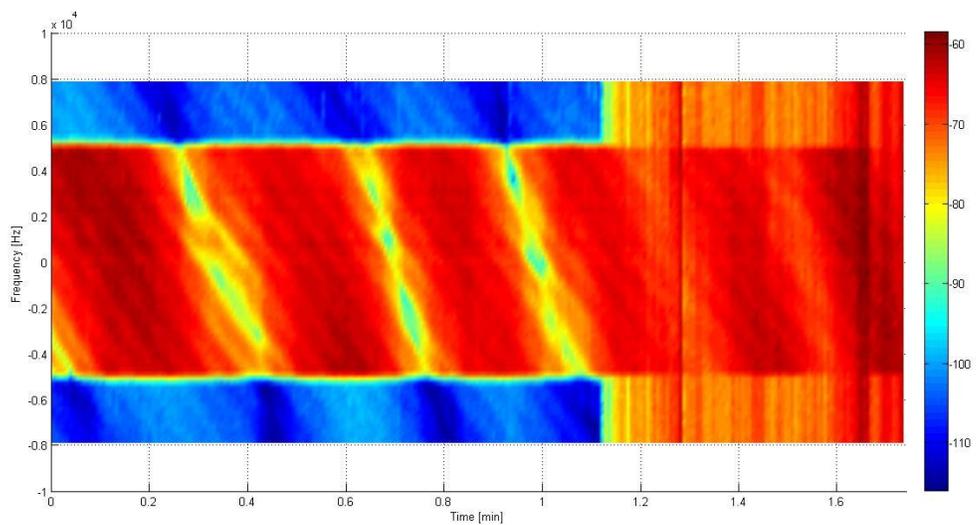


Figura 6.21: Densidad espectral de potencia del archivo: *rec_21495_20111215_132620_000.rsA*.

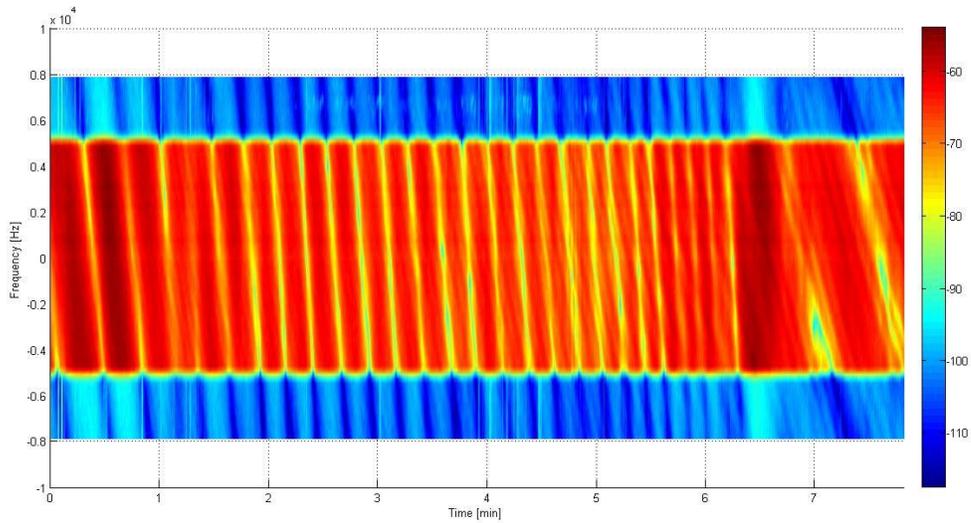


Figura 6.22: Densidad espectral de potencia del archivo: rec_21495_20111215_133007_000.rsA.

En el caso del archivo marcado con el numero 2, aproximadamente hasta el minuto 2:45 la magnitud del campo eléctrico no presenta mayores variaciones, después el campo cae de forma paulatina en más de 20 [dB] en alrededor de 1:30 minutos, pasado este tiempo y con la magnitud del campo eléctrico disminuida el receptor empieza a tener problemas para decodificar las tramas recibidas. Se observa que el archivo que le precede (rec_21495_20111215_145145_000.rsA) se mantiene con una magnitud de campo eléctrico por arriba de 70 [dB μ V/m].

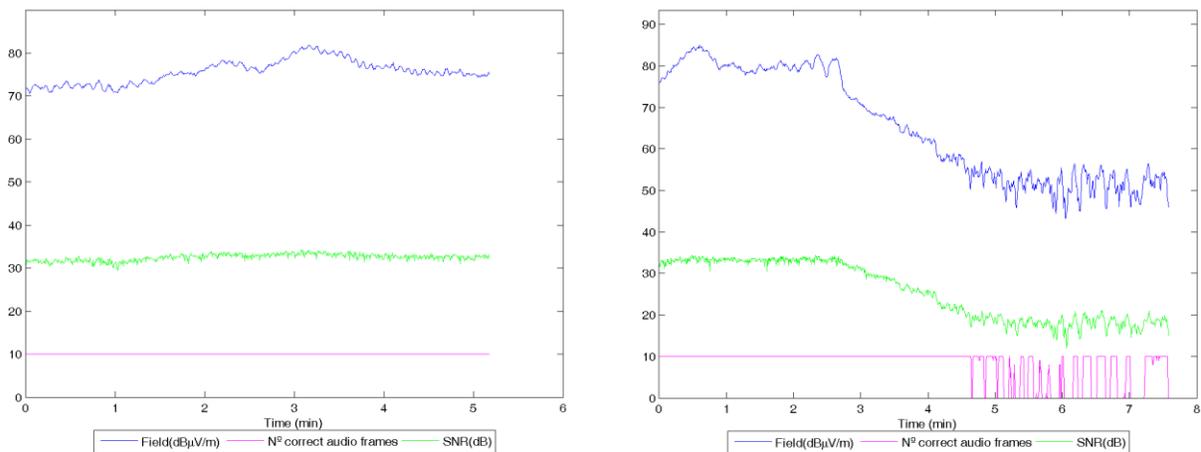


Figura 6.23: rec_21495_20111215_145145_000.rsA (izquierda) y rec_21495_20111215_145723_000.rsA (derecha).

Se vuelve a presentar el mismo “rizado” en el campo eléctrico, al observar la densidad espectral de potencia en la Figura 6.24 y 6.25 se observa mucho más claro este efecto.

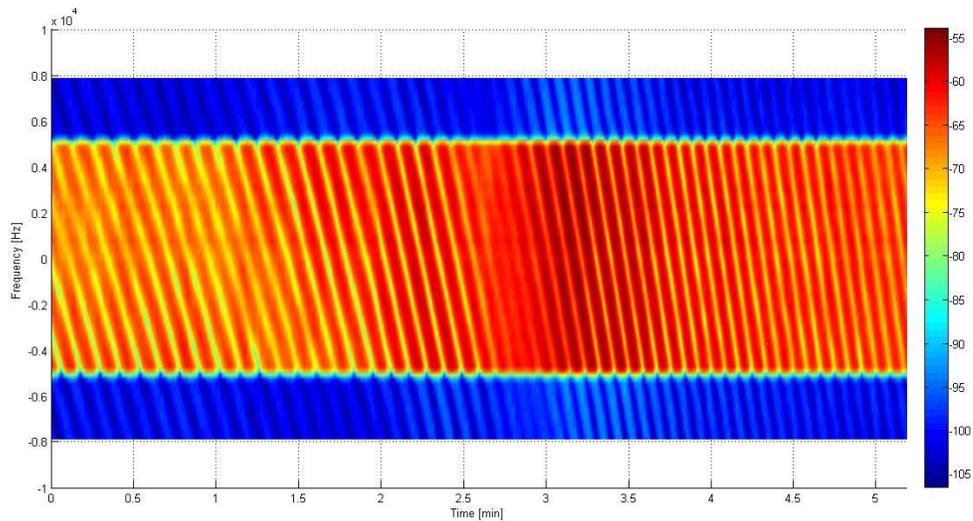


Figura 6.24: Densidad espectral de potencia del archivo: *rec_21495_20111215_145145_000.rsA*.

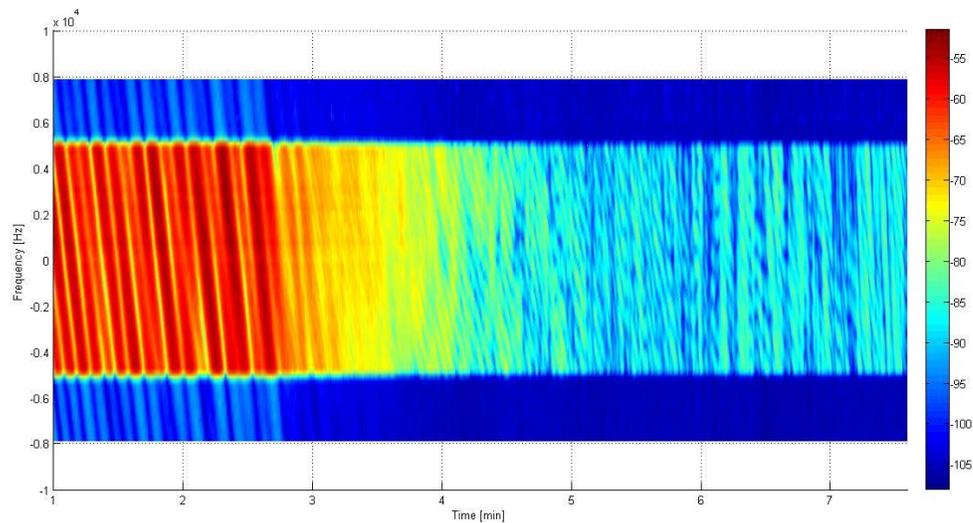


Figura 6.25: Densidad espectral de potencia del archivo: *rec_21495_20111215_145723_000.rsA*.

6.7. Campo eléctrico con variaciones esporádicas.

Para la frecuencia de 17494 [kHz] modo B/64/16/0/L, se tiene un archivo aislado que tiene un AQ por debajo de 98%, se muestra la Figura 6.26 del archivo *rec_17495_20111208_134006_000.rsA* grabado a las 12:48 (Hora local) del día 8 de Diciembre de 2011, en la cual se muestran dos caídas del campo al final del archivo.

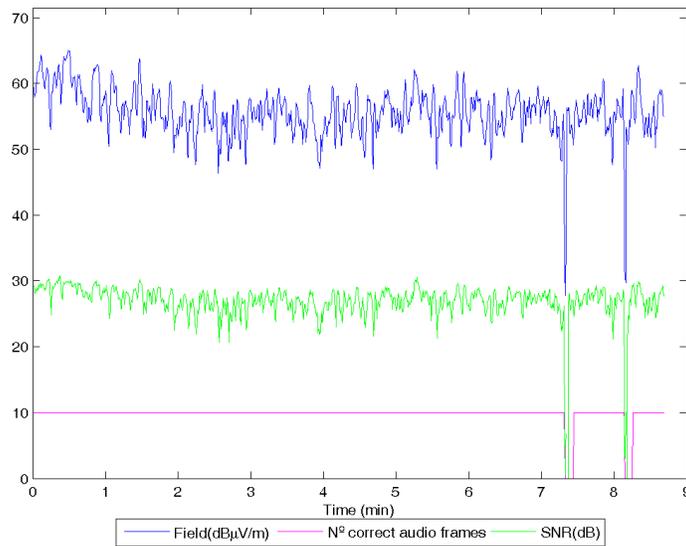


Figura 6.26: Magnitud del campo eléctrico, SNR y AQ del archivo rec_17495_20111208_134006_000.rsA a lo largo de su duración.

Este tipo de caídas del campo eléctrico también son vistas en algunos otros archivos en la misma frecuencia y modo, pero en horas y días diferentes (como se muestra en la Figura 6.27), pero presentan la diferencia de no ser demasiado largas en tiempo para que afecten considerablemente el AQ.

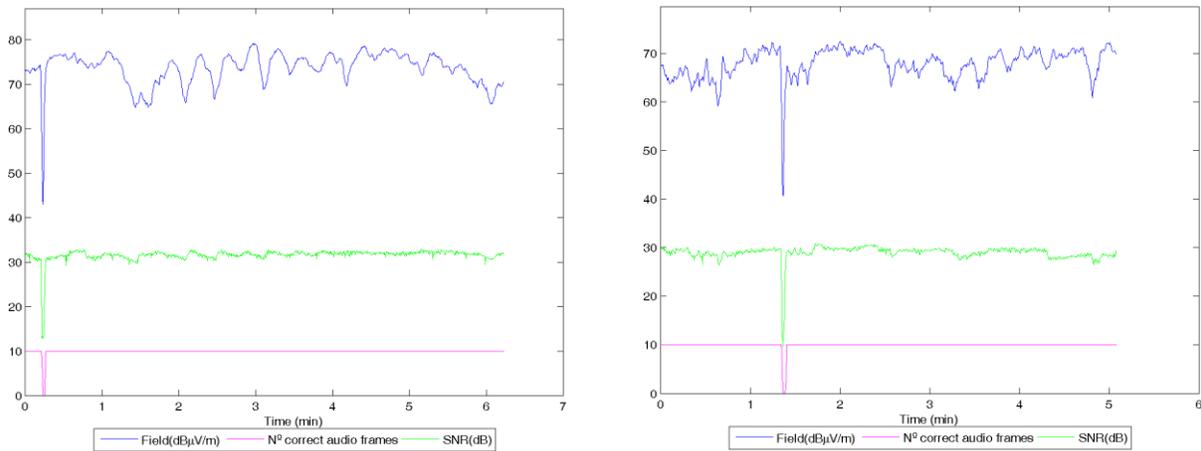


Figura 6.27: rec_17495_20111208_124821_000.rsA (izquierda) grabado a las 11:54 del día 8/Diciembre y rec_17495_20111221_191501_000.rsA (derecha) grabado a las 18:20 el día 21/Diciembre.

Para la frecuencia de 21495 [kHz] y modo B/64/16/1/L, el día 16/Diciembre se tiene un único archivo en amarillo (Figura 6.28), el cual se encuentra en el área donde se observan solamente archivos con el $AQ \geq 98\%$. Este apartado se centrará en él y también los archivos que le preceden y suceden.

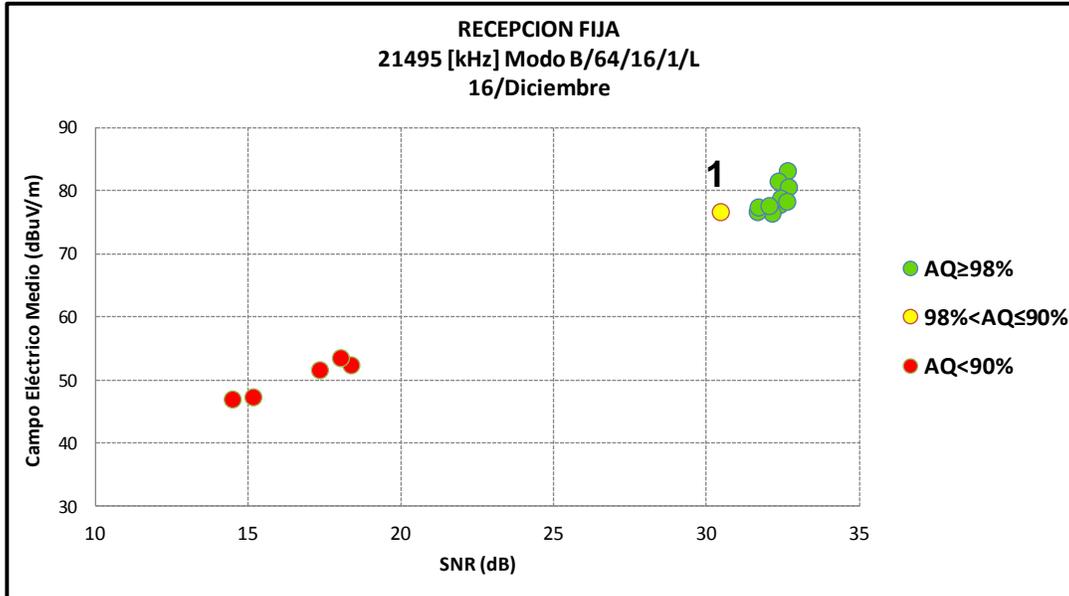


Figura 6.28: SNR vs campo eléctrico de los archivos del 16/Diciembre.

En la Figura 6.29 se observa que el archivo que le precede es el rec_21495_20111216_143145_000.rsA (marcado con el numero 1 en verde) grabado a las 12:37, el archivo es el rec_21495_20111216_143731_000.rsA (marcado con el número 2 en amarillo) a las 12:42 y el que le sucede es el rec_21495_20111216_144235_000.rsA (marcado con el número 3 en rojo) grabado a las 12:48 del día 16 de Diciembre.

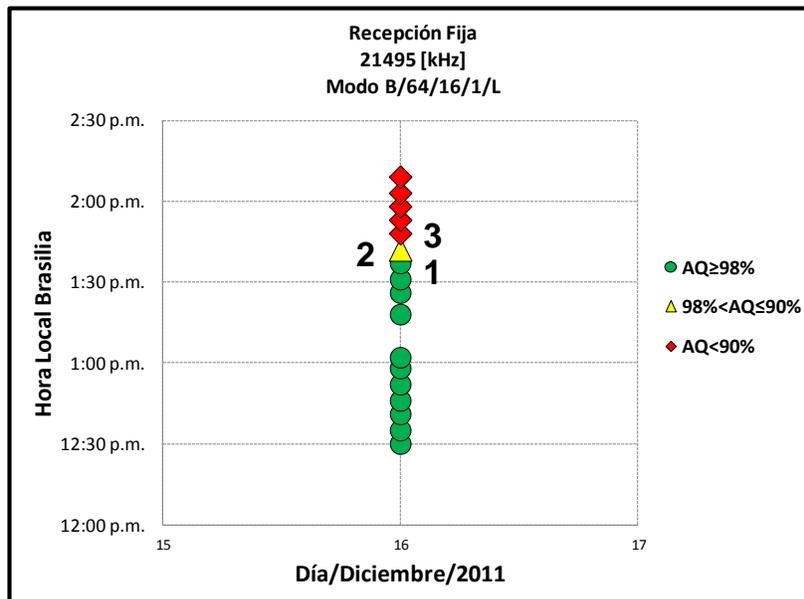


Figura 6.29: Disposición por hora de las pruebas en la frecuencia 21495 [kHz] y modo B/64/16/1/L el 16/Diciembre.

En el primer archivo, el `rec_21495_20111216_143145_000.rsA` no se tiene mayores problemas para decodificar la información recibida, tiene un AQ de 100%, una magnitud del campo en promedio de 76.78 [dB μ V/m].

En la Figura 6.30 se muestran los otros dos archivos. A la izquierda (`rec_21495_20111216_143731_000.rsA`) se tiene que a los 2:30 minutos, existe una caída en la SNR que propicia que este sea un archivo con un AQ por debajo de 98%, mientras que el campo eléctrico se mantiene oscilando por arriba de los 70 [dB μ V/m] durante toda la duración con un valor promedio de 76.4 [dB μ V/m].

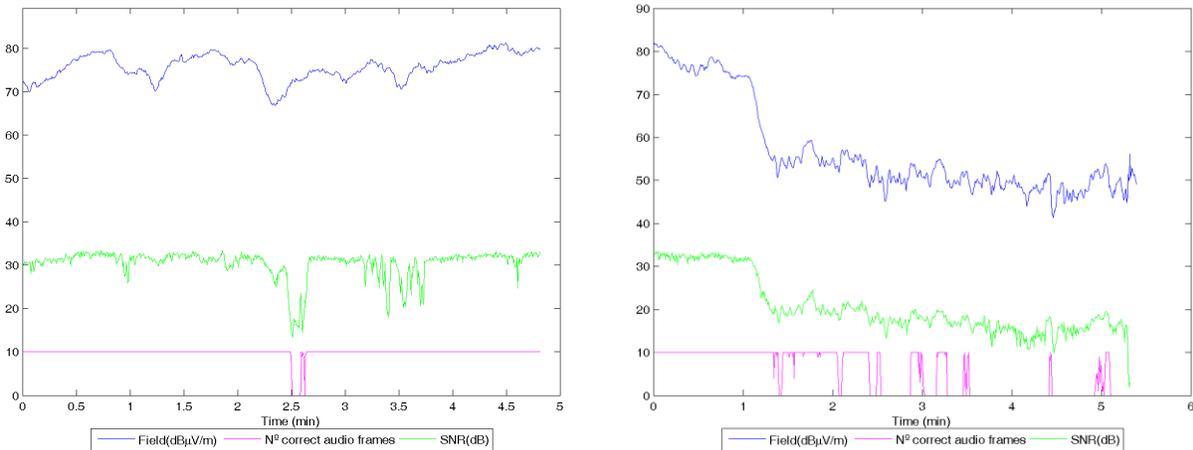


Figura 6.30: `rec_21495_20111216_143731_000.rsA` (izq.) y `rec_21495_20111216_144235_000.rsA` (der.) Magnitud del campo, SNR y AQ.

A la derecha (`rec_21495_20111216_144235_000.rsA`), después del primer minuto se observa cómo hay una degradación en el campo eléctrico, cae cerca de 30 [dB]. Se mantiene oscilando por arriba de 40 [dB μ V/m] a partir de ese momento y en los archivos que se han grabado posteriormente.

Como se observó anteriormente, en los segundos donde el receptor no decodifica todas las tramas, el campo eléctrico sigue oscilando y la SNR es la que condiciona la decodificación. En la Figura 6.31 se muestra la SNR vs el número de tramas correctamente decodificadas desde el minuto 2 hasta el minuto 3 para establecer la correspondencia que existe.

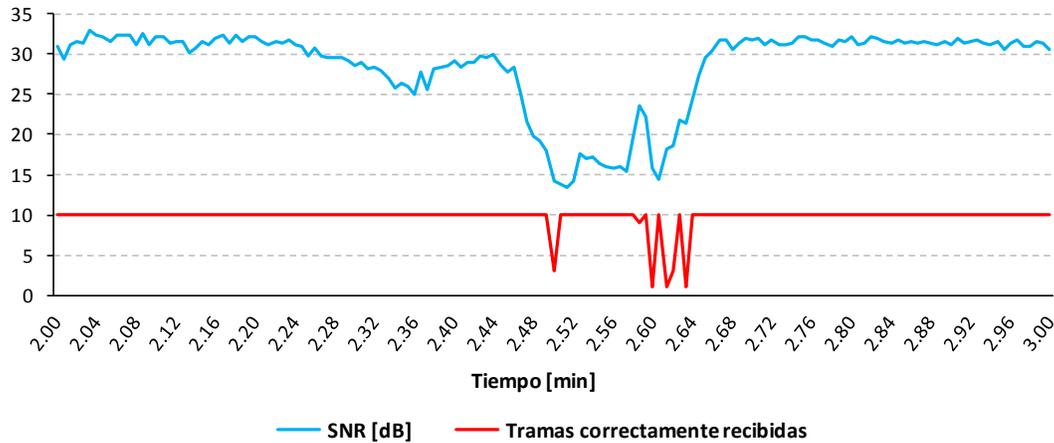


Figura 6.31: SNR y tramas recibidas del archivo *rec_21495_20111216_144235_000.rSA* durante un minuto de duración.

6.8. Casos especiales de caídas del campo eléctrico.

Como se ha mencionado, se analizaran los casos en los que el campo eléctrico se degrada debido a cuestiones más específicas o circunstanciales.

Para la frecuencia de 21495 [kHz] y modo B/64/16/0/L se tiene el archivo *rec_21495_20111212_140653_000.rsA* en su duración total tiene un AQ<90%, pero se sabe que al final hubo problemas con el transmisor (últimos 29 segundos), por lo que se considera que en el tiempo que el transmisor trabajo correctamente no se tuvieron problemas de recepción, la magnitud del campo eléctrico se mantuvo en un nivel por arriba de 65 [dB μ V/m] hasta que se detecta el problema con el transmisor, se observa en la Figura 6.32. Y por tanto se consideró que su AQ es mayor o igual a 98%. En la misma Figura se muestra una comparativa en magnitud del campo eléctrico con los dos archivos (marcado con “1” y “2”) en donde se observa que el segundo archivo a partir de 150 segundos el campo eléctrico cae abruptamente y nunca se recupera. La caída del campo y de la SNR provoca que el numero de tramas decodificadas correctamente disminuya.

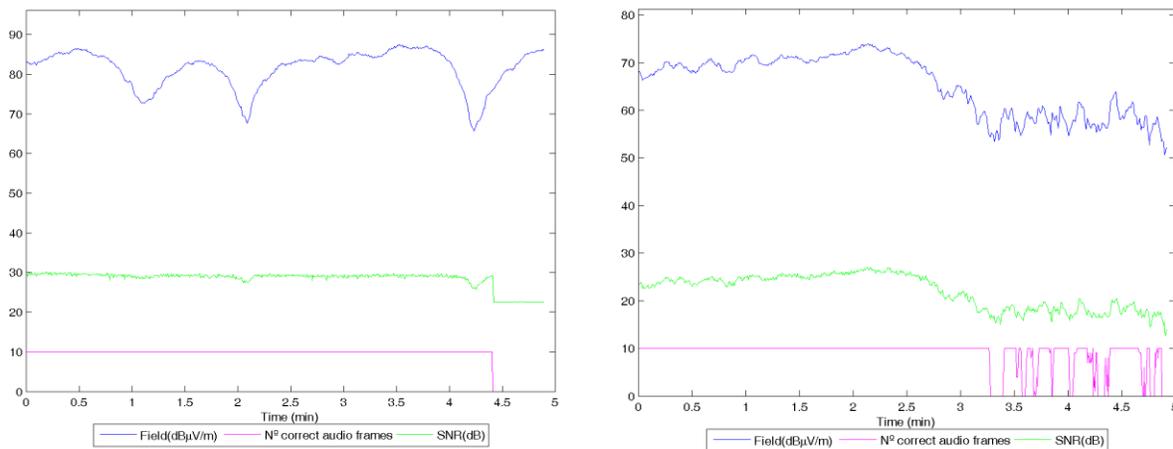


Figura 6.32: *rec_21495_20111212_140653_000.rsA* (izquierda) grabado a las 13:11 del día 12/Diciembre y *rec_21495_20111212_173250_000.rsA* (derecha) grabado a las 14:37 el día 12/Diciembre.

Para la frecuencia de 21495 [kHz] y modo B/64/16/1/L, el día 14/Diciembre, se tiene un caso especial donde existe una transición de buena recepción a una mala recepción. Se centrara en dos archivos: *rec_21495_20111214_141322_000.rsA* (1) *rec_21495_20111214_141839_000.rsA* (2); en la Figura 6.34 se muestra el comportamiento del campo eléctrico de los dos archivos mencionados.

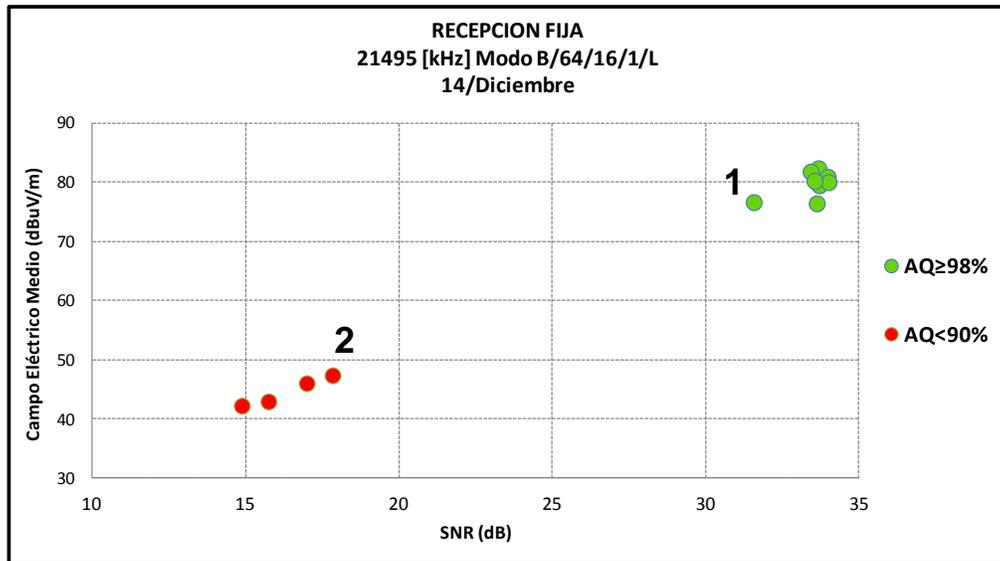


Figura 6.33: SNR vs campo eléctrico de los archivos del 14/Diciembre.

En el archivo *rec_21495_20111214_141322_000.rsA* se observa como la magnitud del campo eléctrico cae 20 dB aproximadamente después tercer minuto, pero el receptor decodifica las tramas correctamente cuando se mantiene por arriba de 50 [dBμV/m] y la SNR se mantiene por arriba de 20 [dB]. En el archivo *rec_21495_20111214_141839_000.rsA* el campo eléctrico empieza a oscilar alrededor de 45 [dBμV/m] y la SNR empieza a oscilar por debajo de la línea de los 20 [dB], cuando está por debajo es cuando se experimenta los lapsos de tiempo en que no se decodifican las tramas.

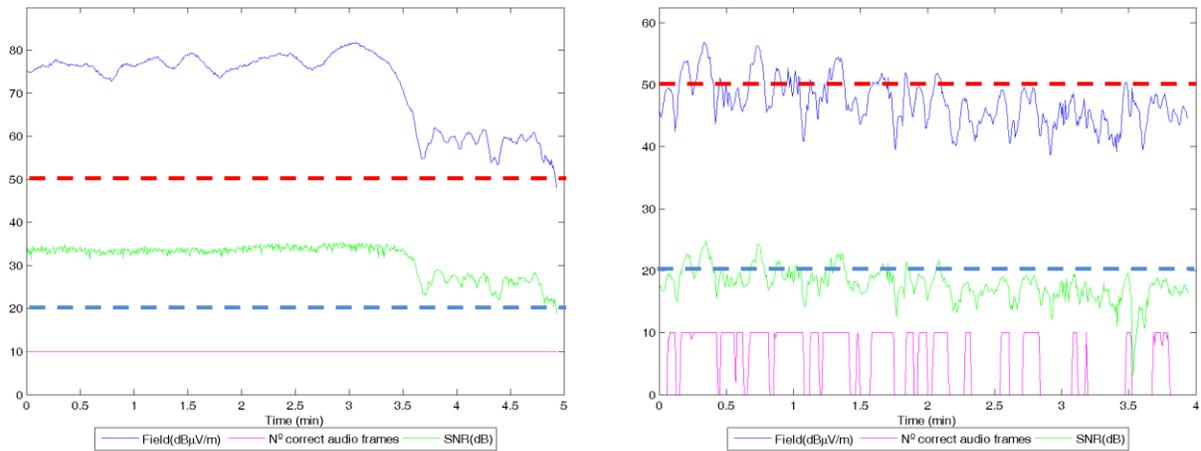


Figura 6.34: rec_21495_20111214_141322_000.rsA (izquierda) grabado a las 13:18 del día 14/Diciembre y rec_21495_20111214_141839_000.rsA (derecha) grabado a las 13:22 el día 14/Diciembre.

En la Tabla 6.7 se muestra los valores mínimo, máximo y promedio de SNR cuando se tienen las tramas decodificadas correctamente (N+) o no (N-), cuando se reciben correctamente tiene un promedio de 19.37 [dB], mientras que cuando no se decodifican se tiene un promedio de 16.08 [dB], una diferencia de 3.3 [dB] por debajo.

	N+	N-
Mínimo	15.50	3.11
Máximo	24.85	19.29
Promedio	19.37	16.03

Tabla 6.7: Valores mínimo, máximo y promedio de SNR [dB] del archivo rec_21495_20111214_141839_000.rsA

6.9. Resumen

En este apartado se muestran las estadísticas globales. Primeramente, el mismo tipo de gráficas para todo el universo de archivos tomados en cuenta, después, los resultados agrupados por frecuencia, y por último, los resultados agrupados por modos de transmisión. En todas las gráficas también se toma en cuenta la recepción móvil.

En la Figura 6.35 se tiene la distribución total de los archivos, clasificados según su AQ, mientras que en la Figura 6.36 se tiene el total de archivos según la SNR y magnitud de campo eléctrico.

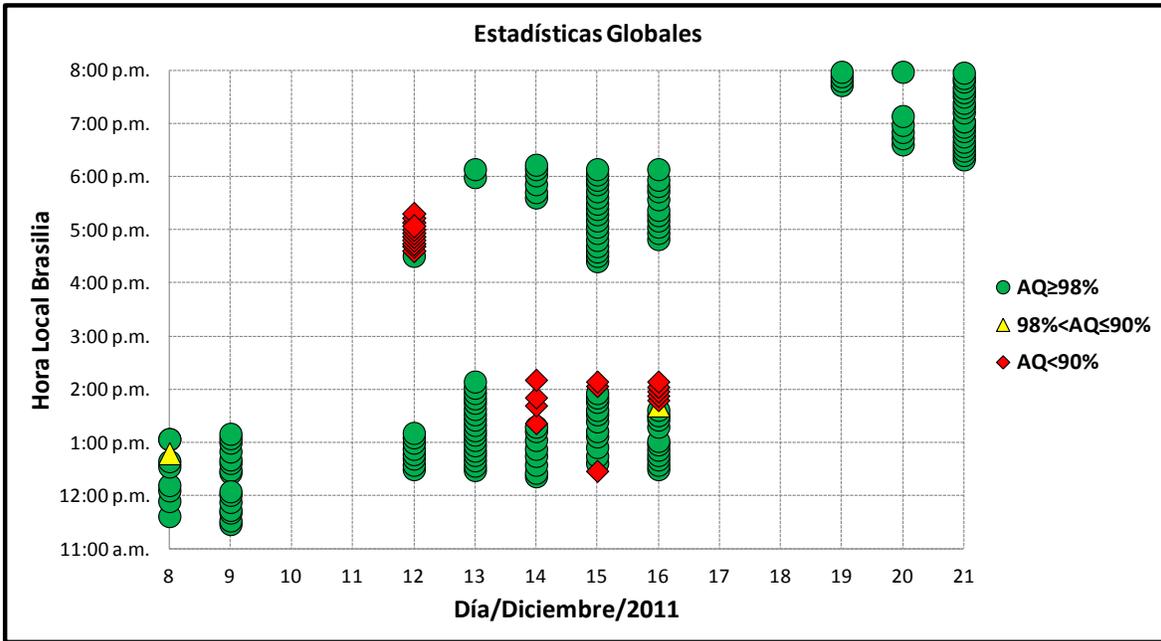


Figura 6.35: Disposición por día y hora del total de las pruebas para DRM en SW.

Se tiene un 97.4% de archivos que superan el 26 [dB] de SNR con que la señal fue recibida correctamente.

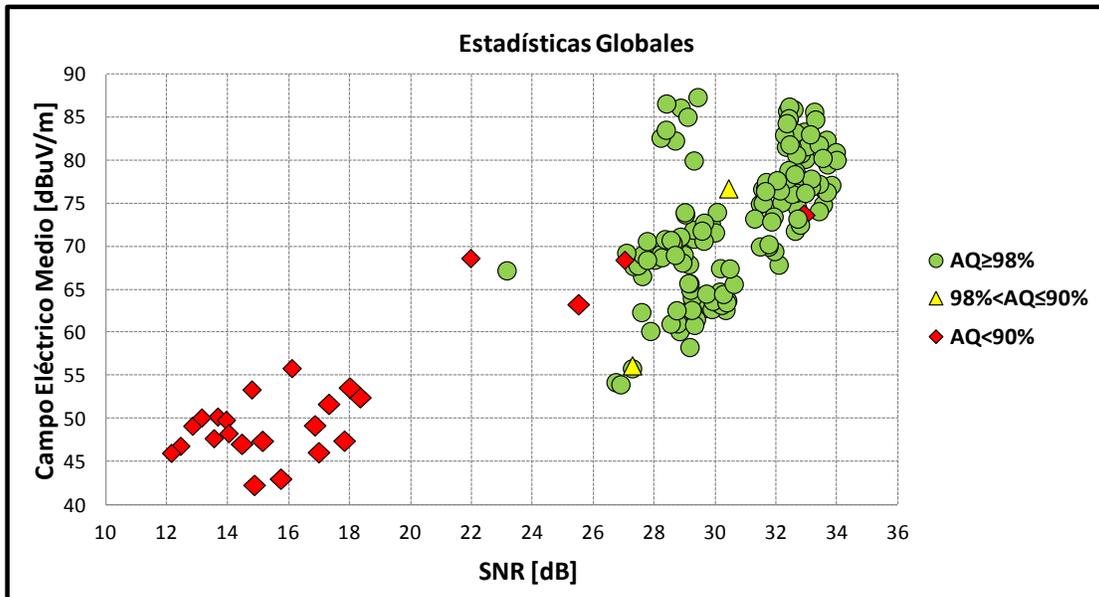


Figura 6.36: SNR vs campo eléctrico del total de las pruebas para DRM en SW.

En la Figura 6.37 se presentan los resultados globales divididos por frecuencia. En la frecuencia de 17495 [MHz] se tienen mejores resultados que en 21495 [MHz], como en 17495 [MHz] no se dieron resultados malos, no se puede estimar cual es el rango de valores mínimo para una recepción correcta y en ese sentido no es posible comparar con 21495 [MHz].

En 21495 [MHz] se observa como existe un rango de 20 a 27.5 [dB] de SNR en que los resultados pueden llegar a ser de regulares a malos, por arriba de este rango parece existir una certeza de que se tendrá una recepción correcta.

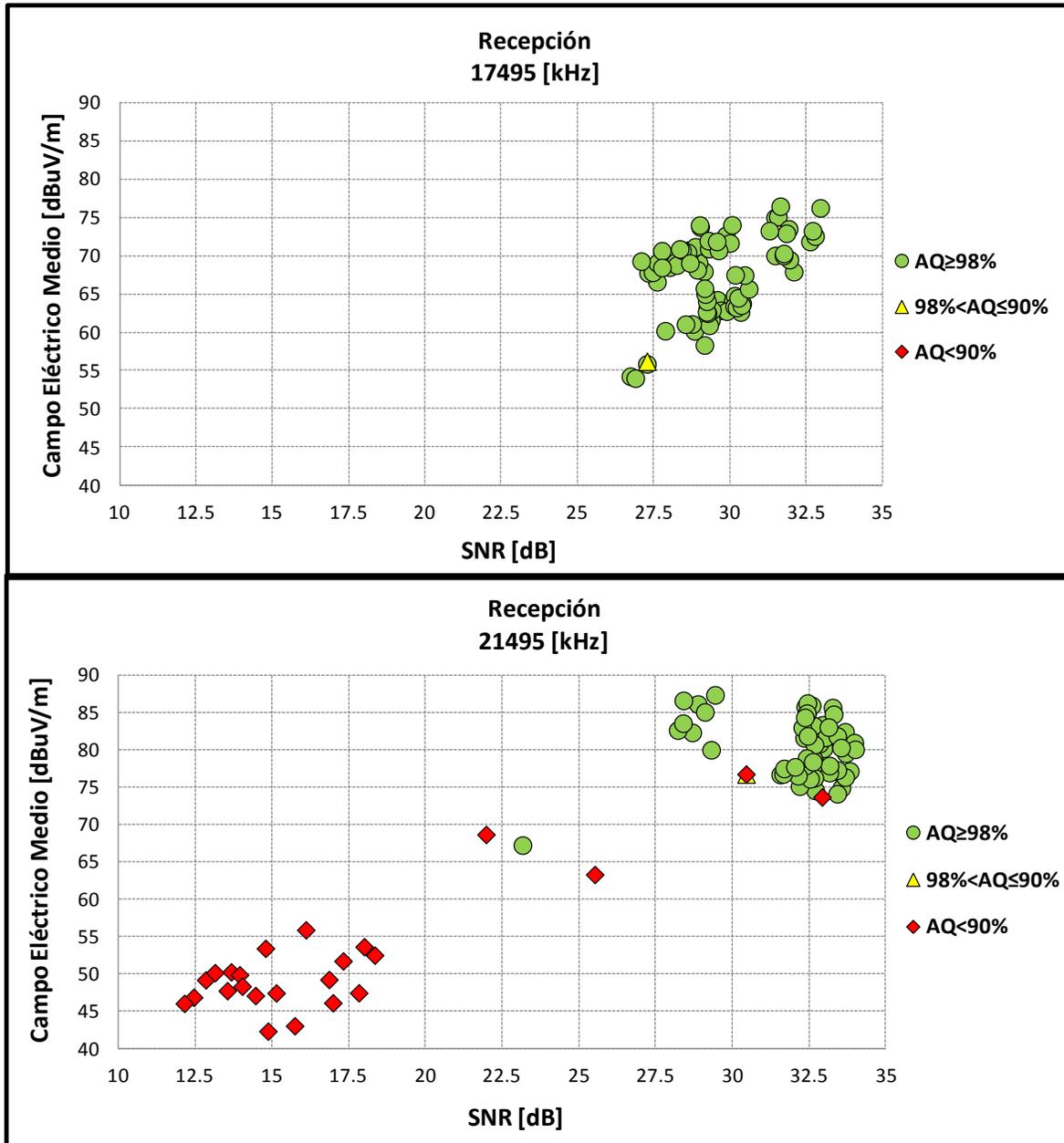


Figura 6.37: SNR vs campo eléctrico del total de las pruebas en 17495 [kHz] (arriba) y en 21495 [kHz] (abajo) para DRM en SW.

Como últimas gráficas, en la Figura 6.38 se tiene el total de pruebas divididas por modo de transmisión. Recordando que el modo de transmisión define la capacidad de transmisión de DRM y que se usaron dos diferentes configuraciones (Tabla 6.8).

	OFDM (Modo de robustez)	Ancho de banda [kHz]	Modulación del MSC	Modulación del SDC	Tasa de codificación	Entrelazado	Bit-rate (kbps)
Modo 0	B	10	64-QAM	16-QAM	0.5	Longitud de 2 s	17.46
Modo 1	B	10	64-QAM	16-QAM	0.6	Longitud de 2 s	20.96

Tabla 6.8: Características de los modos de transmisión de DRM usados en las pruebas.

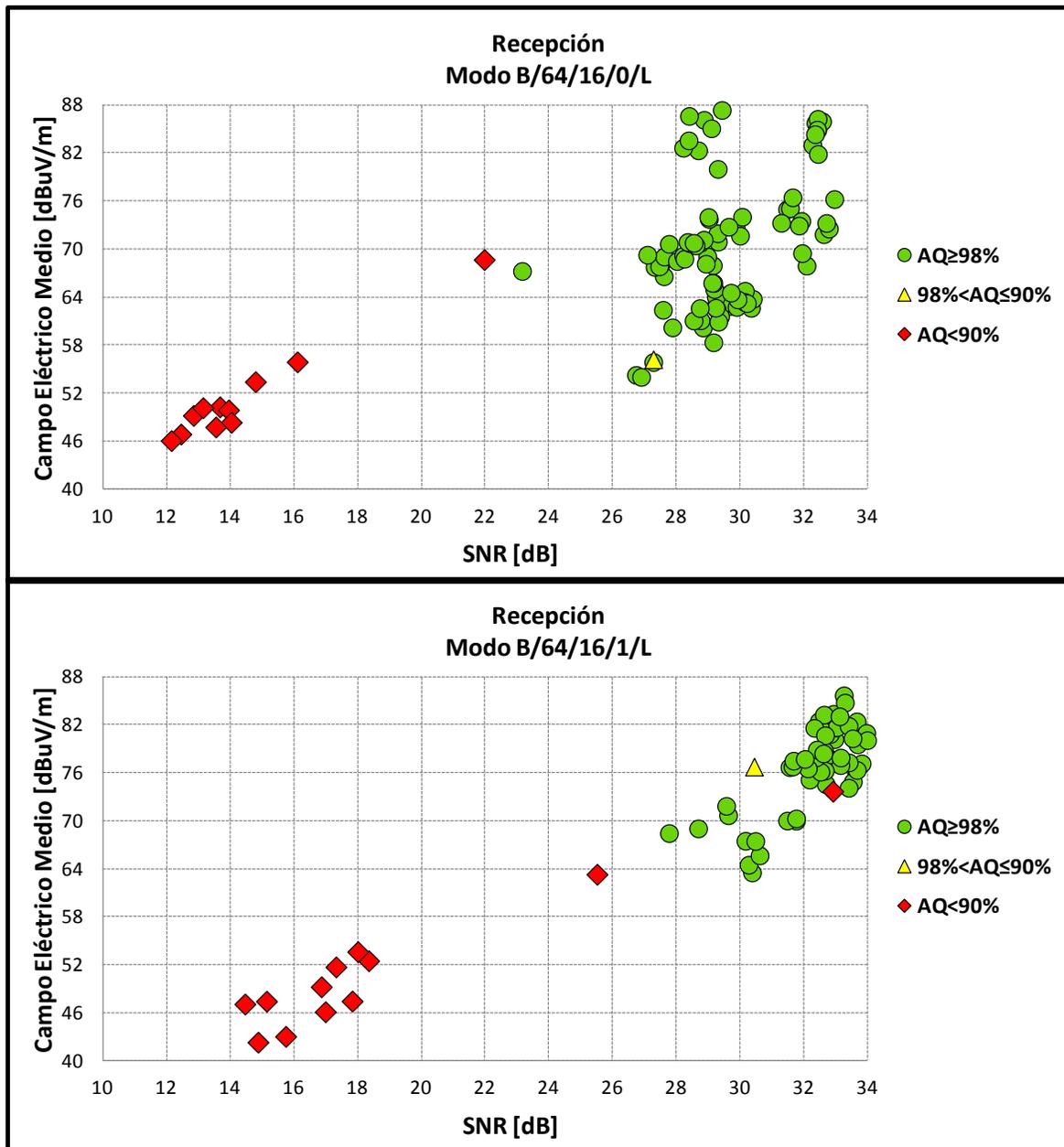


Figura 6.38: SNR vs campo eléctrico del total de las pruebas en el Modo 1 (arriba) y en el Modo 2 (abajo) para DRM en SW.

Para el Modo 0 se tiene que por arriba de 23 [dB] de SNR (considerando el ultimo mejor caso) se tiene una recepción correcta, de igual modo, pero por arriba de 27 [dB] para el Modo 1. Alrededor de 4 [dB] de diferencia.

Referencias.

[1] Parsons, J.D. *The mobile radio propagation channel*. 2nd Edition. 2000

7. Conclusiones.

En capítulos anteriores se han mostrado las simulaciones, los resultados y análisis llevados a cabo para las pruebas de DRM en SW realizadas en Brasilia. De todo ello se han obtenido conclusiones acerca del funcionamiento y desempeño de DRM en Onda Corta.

Primeramente se realizó una estimación de cobertura por medio del Software gratuito VOACAP. Se encontraron los periodos de 5:00 UTC a las 9:00 UTC y de 12:00 UTC a las 18:00 UTC donde el nivel de campo eléctrico y probabilidad de recepción tuvieron los niveles más bajos, pero aun adecuados para que la señal se recibiera correctamente.

Al tratar de definir o corroborar los niveles de AQ para “recepción correcta”, “recepción con deficiencias” y “recepción mala”, se encontró que debido a la poca aparición de resultados con valores de AQ entre el 90% y el 98%, se usaron los valores de AQ del 90% y del 98% como referencias de recepción regular y buena recepción, tal y como aparecen en la literatura científica.

En el capítulo 4 se estimaron los valores de SNR y campo eléctrico mínimos necesarios para tener una buena recepción, valores que pueden servir para los programas de estimación de cobertura e incluso para normativas técnicas. En la Tabla 7.1 se resumen los valores obtenidos. En la Tabla 7.2 se resumen los resultados más importantes de las pruebas. Comparando ambas tablas se observa que en cuanto a magnitud de campo eléctrico los resultados de las pruebas de campo resultan satisfactorias puesto que los niveles de las pruebas de campo están por arriba de los valores mínimos estimados para tener una recepción correcta; respecto a la SNR, los resultados obtenidos están por debajo del rango de valores estimados, teniendo como consecuencia que los porcentajes de medidas con $AQ \geq 98\%$ sea deficiente en algunos casos y principalmente en la frecuencia de 21495 [kHz].

	Recepción 17495 [kHz]	Recepción 21495 [kHz]	SNR [dB]
	Campo eléctrico [dB μ V/m]	Campo eléctrico [dB μ V/m]	
Modo 0	28.8 – 32.0	28.1 – 31.3	20.1 - 23.3
Modo 1	31.4 – 34.1	30.7 – 33.4	22.7 - 25.4

Tabla 7.1: Valores estimados de mínimo Campo eléctrico y mínima SNR para una correcta recepción.

Recepción 17495 [kHz]					
	Campo eléctrico [dB μ V/m]	SNR [dB]	AQ \geq 98%	98%<AQ \leq 90%	90%<AQ
Modo 0	53.9 – 76.4	26.7 – 32.9	98.4	1.6	0
Modo 1	63.5 – 71.8	27.7 – 31.7	100	0	0
Modo 0 (Recepción móvil)	62.3 – 72.7	27.0 – 29.9	100	0	0

Recepción 21495 [kHz]					
	Campo eléctrico [dB μ V/m]	SNR [dB]	AQ \geq 98%	98%<AQ \leq 90%	90%<AQ
Modo 0	46.0 – 87.3	12.1 – 32.5	60.7	0	39.3
Modo 1	42.4 – 85.6	14.4 – 32.9	78.7	1.6	19.7

Tabla 7.2: Resultados de Campo eléctrico y SNR para las pruebas de campo, incluyendo porcentajes de AQ.

Tomando en cuenta todo el universo de medidas, las pruebas de campo hechas en 17495 [kHz] tiene mejores resultados que en 21495 [kHz], además, comparando ambos modos de transmisión se tiene que por debajo del rango de 22 – 26 [dB] de SNR la recepción es mala, y por arriba de este rango la recepción es correcta. Sin embargo es necesario tener más medidas en este rango para estimar cual sería el valor mínimo requerido para una recepción correcta, ya que las estimaciones realizadas están hechas con pocas medidas. Además, de modo general por arriba de 26 [dB] de SNR existe una certeza de que la señal será correctamente recibida.

Algo característico que fue encontrado fue el comportamiento oscilatorio del campo eléctrico, principalmente este fenómeno fue registrado en la frecuencia de 21495 [kHz]. Este aspecto da a conocer la existencia del multitrayecto que es originado por la ionosfera que provoca diferentes caminos en los que la señal llega al receptor, y es una posible causa de mala recepción. Adicionalmente se registraron caídas aisladas del campo eléctrico en algunos casos, varias fueron de tal magnitud que se perdió la recepción.

En general el desempeño de DRM en SW para el caso específico de estas pruebas es bueno, sin embargo sería recomendable una transmisión y monitoreo ininterrumpido con el fin de tener un mayor tiempo de medidas y en horarios que no fueron considerados para las pruebas analizadas en este trabajo.

Anexo 1. Configuración de VOACAP y REC533.

El objetivo principal de este anexo es dar a conocer los aspectos que se configuraron para realizar las simulaciones mostradas en el capítulo 4, paralelamente se desea que este trabajo sea una guía rápida y básica para simular condiciones parecidas a las que se simulan en el capítulo 4.

1a. Configuración de VOACAP.

La configuración de VOACAP requiere conocer las principales características del enlace de radio a simular. En esta sección se abordarán los diferentes parámetros y aspectos que se deben tomar en cuenta para llevar a cabo simulaciones con este software.

1a.1. Aspectos generales.

En la Figura A.1 se observa la pantalla principal de VOACAP donde se eligen los diferentes aspectos a modificar del enlace. Del lado izquierdo (rectángulo rojo) se muestran los botones donde se escogen los parámetros de configuración del enlace. En la parte derecha (rectángulo azul) están todos los valores de los parámetros ya establecidos y con los cuales se realiza la predicción de la propagación.

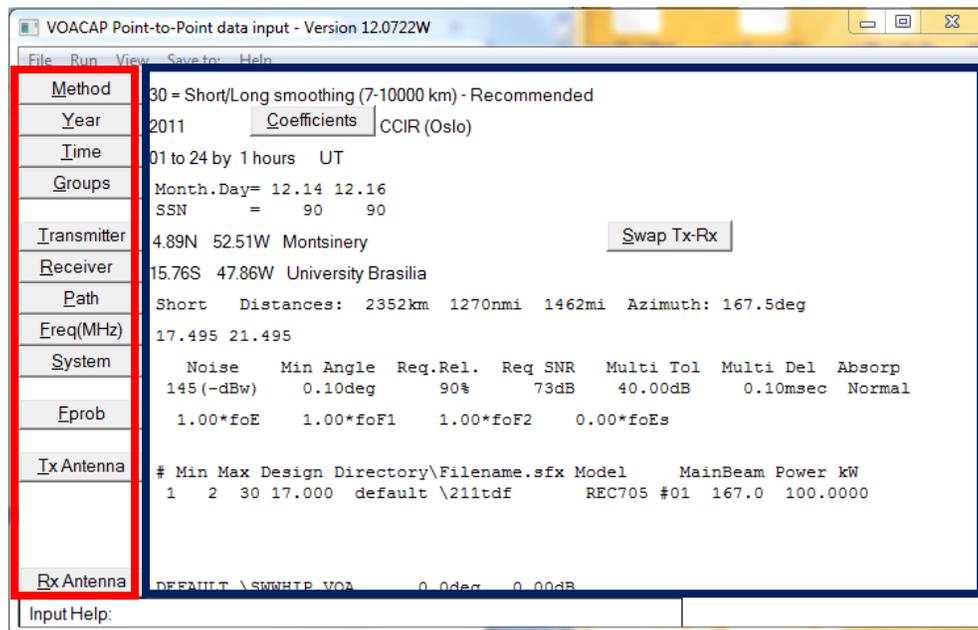


Figura A.1: Pantalla principal de VOACAP.

1a.2. Sitio transmisor y receptor.

Para el cálculo del enlace en VOACAP se debe tener la localización tanto del sitio transmisor como receptor mediante sus coordenadas de latitud (Norte y Sur) y longitud (Oeste y Este), en este caso el transmisor se ubica en la Guyana Francesa (Montsinery) y el sitio receptor fue en el estacionamiento de la Universidad de Brasilia, Brasil. En la Tabla A.1 están las coordenadas geográficas de ambos sitios.

Localidad	Latitud		Longitud	
Montsinery	4.89	N	52.51	W
Universidad de Brasilia	15.76	S	47.86	W

Tabla A.1: Ubicación geográfica del transmisor y del receptor.

VOACAP contiene una lista de ciudades que se ubican por continente o región para poder elegir y que tienen configurada su posición geográfica.

1a.3. Antenas transmisora y receptora.

VOACAP cuenta con una base de antenas ya dispuestas para su selección, tanto para la antena transmisora como la antena receptora. En caso de que se requiera tener una antena que no se encuentre en dicha base, se puede recurrir a la herramienta HFant (incluida en el mismo paquete de instalación de VOACAP). En la herramienta HFant se puede definir una antena de uso en HF para VOACAP.

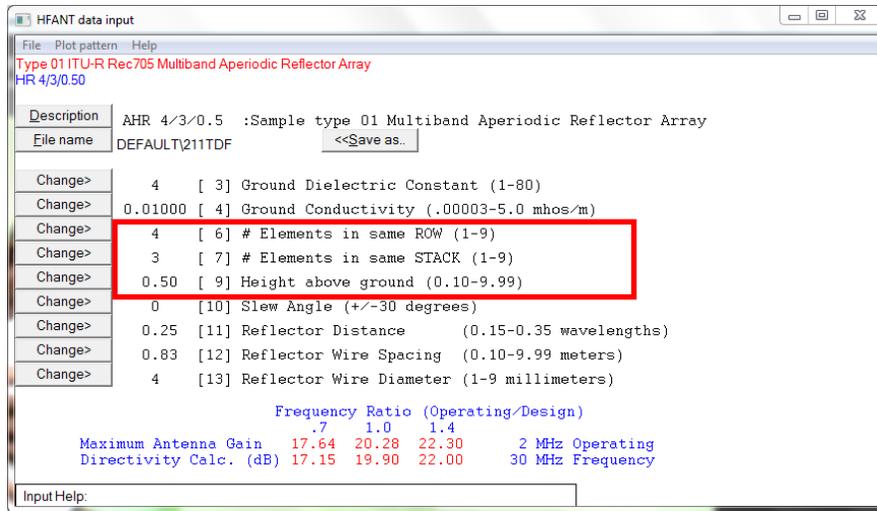


Figura A.2: Menú principal de HFant. Definición de antenna AHR 4/3/0.5.

La antena que se usó a la transmisión fue una Alliss, la cual tiene la clave 211 en los códigos de referencia de la UIT [1]. La UIT define la antena como “Curtain antenna, half-wave dipole array, multi band, centre-fed, aperiodic reflector”, está referenciada como AHR 4/3/0.5, lo cual significa 4 elementos (n) en una misma fila, 3 elementos (m) en la misma columna y 0.5λ (h) por encima del suelo. En la Figura A.2 se muestra la definición de la antena ALLISS (AHR 4/3/0.5), los campos que se modifican se resaltan en dicha Figura. En la Figura A.3 se muestra un diagrama donde se muestra la disposición grafica de los elementos antes mencionados.

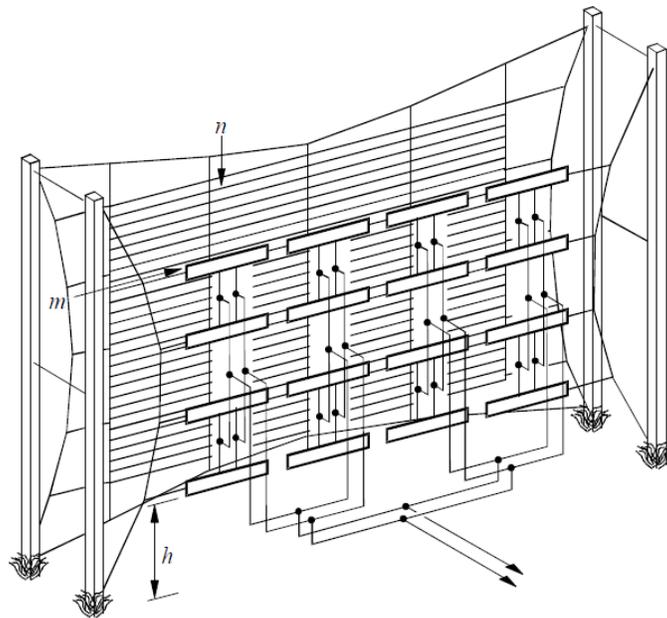


Figura A.3: Disposición general de los elementos de una antena clasificada como AHR(S) m/n/h. [1]

Como se menciona en el capítulo 2, la antena cuenta con un azimut de 168° y la potencia de transmisión de 100 [kW] que también estos datos se agregan a VOACAP, en la sección donde se agrega la antena transmisora.

La antena que se utilizó a la recepción fue un monopolo, para simular las antenas de los receptores de DRM y también los monopolos que usan los autos. El monopolo tiene un patrón omnidireccional. La antena monopolo está definida en VOACAP con el nombre de SWWhip.voa.



Figura A.4: Receptor UniWave Di-Wave 100 (izquierda). Antena convencional de auto (derecha).

1a.4. Manchas solares (SSN).

El número de manchas solares es un parámetro fundamental para la estimación de propagación en onda corta, y por ello se toma en cuenta en el software. A mayor número de manchas solares, existe una mayor ionización de la atmosfera y por lo tanto las señales de radio se reflejan de mejor manera en la ionosfera. El número de manchas solares responde a un ciclo de 11 años, en el cual aumenta y disminuye el número de SSN, como se observa en la Figura A.5.

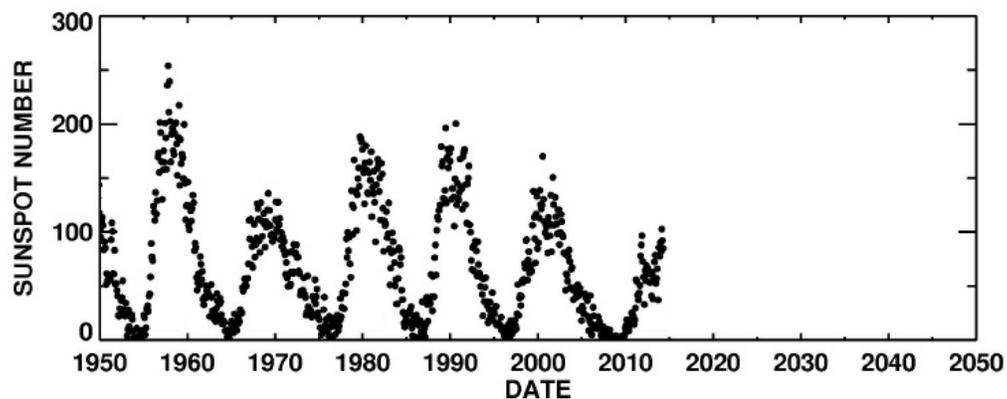


Figura A.5: Promedio de SSN medidos desde 1950. [2]

En el enlace ya mencionado en el Capítulo 4 [2], se muestran los valores medidos históricos por fecha desde 1749. Por ejemplo, para la fecha en que se han realizado las simulaciones se tienen los valores medidos, se muestran en la Tabla A.2.

Año	Mes	SSN	Des. Std.
2011	8	50.6	22.2
2011	9	78	21.2
2011	10	88	23.4
2011	11	96.7	14.6
2011	12	73	17.7
2012	1	58.3	18.6
2012	2	32.9	10.6
2012	3	64.3	16.2
2012	4	55.2	28.6

Tabla A.2: Valores de SSN usados para las simulaciones realizadas en el capítulo 4. [2]

1a.5. Parámetros del sistema.

Es un grupo de seis parámetros que definen diversos aspectos del enlace. Se pueden modificar o dejar los valores por default. De ellos se han modificado solo dos de ellos: Ruido Artificial y SNR (S/R) requerida. Estos parámetros ya se han calculado en el capítulo 4.

El ruido es un “fenómeno electromagnético variable que se manifiesta en las radiofrecuencias, aparentemente no lleva información y es susceptible de superponerse o combinarse como una señal útil” [3]. El ruido artificial es uno de los tipos de ruido radioeléctrico.

Las fuentes de ruido artificial son “la suma de radiación no intencionada procedente de maquinaria eléctrica, equipos eléctricos y electrónicos, líneas de transmisión de energía o sistemas de encendido de motores de combustión interna” [3].

Dada la Recomendación ITU-R P.372-11 (09/2013) “Radio noise” [3], la figura de ruido externo se calcula con la siguiente expresión:

$$F_N = c - d \log(f)$$

Donde c y d son coeficientes que varían según el entorno de recepción en que se desee calcular y f la frecuencia en [MHz]. En la Tabla A.3 se muestran estos entornos y sus coeficientes respectivos.

Categoría del entorno	c	d
Zona urbana	76.8	27.7
Zona residencial	72.5	27.7
Zona rural	67.2	27.7
Zona rural tranquila	53.6	28.6
Ruido galáctico	52	23

Tabla A.3: Valores de las constantes c y d. [3]

Los datos sobre ruido artificial indicados proceden de mediciones efectuadas hace años y que se han confirmado en 2006/2007.

Por ejemplo, para una zona urbana y una zona rural tranquila, los niveles de ruido calculados para una frecuencia de 17.495 [MHz] son:

$$F_N = c - d \log(f)$$

$$F_{N_{urbana}} = 76.8 - 27.7 \log(f)$$

$$F_{N_{urbana}} = 42.3[dB]$$

$$F_{N_{rural}} = 53.6 - 28.6 \log(f)$$

$$F_{N_{rural}} = 18.1[dB]$$

La "Relación señal a ruido" (S/N ó SNR) es "la razón entre el valor promedio de la potencia de la señal útil respecto al valor promedio de la potencia de ruido" [4]. El cálculo de la S/N mínima requerida para una correcta recepción de una señal DRM viene dada en la Recomendación UIT-R BS.1615-1 (05/2011). "Parámetros de planificación para la radiodifusión sonora digital en frecuencias inferiores a 30 MHz" [5].

Para conseguir una calidad de servicio suficientemente elevada en un servicio de audio digital DRM, es necesario que el BER (Bit Error Rate) sea menor a 1×10^{-4} . La S/N requerida a la entrada del receptor para conseguir dicha BER es función, además de los parámetros del sistema, de las

condiciones de propagación en las distintas bandas de frecuencia (el canal de propagación) y del ruido externo recibido por el receptor.

Las condiciones de propagación en las distintas bandas de frecuencia dan lugar a los diferentes Modelos de Canal [5], los diferentes canales recolectados de la recomendación se muestran en la Tabla A.4.

Modelo de Canal	Tipo de Transmisión Modelada			Numero de trayectos
	Buena	Típica/ Moderada	Mala	
1 (ruido Gaussiano blanco aditivo)	OK, OH, y OD	OK con S/N variable		1
2 (onda de superficie + ionosférica)		OH y OD		2
3		OD	OH	4
4		OD		2
5		OD		2
6 (incidencia casi vertical en zonas tropicales)		OD		6

OK= Ondas kilométricas.
OH= Ondas hectométricas.
OD= Ondas decamétricas.

Tabla A.4: Modelos de Canal de la Rec. UIT-R BS.1615. [5]

De los modelos de canal expuestos en la Tabla A.4, los modelos 3,4 y 5 son los que sirven para emular transmisiones de onda corta a larga distancia. El modelo 2 se usa cuando además de la onda ionosférica existe propagación de la onda de superficie, que no es el caso. Y el modelo 6 se usa para el caso en que la cobertura esté alrededor del transmisor, que tampoco es el caso.

Los valores dados en la Recomendación [5] de mínima S/N necesaria para recibir correctamente se muestran en la Tabla A.5.

Esquema de modulación	Nivel de protección	Índice de codificación	Modelo de Canal		
			3°	4°	5°
64-QAM	0	0.5	23.3	21.3	20.1
	1	0.6	25.4	23.5	22.7

Tabla A.5: S/N [dB] para conseguir una BER de 1×10^{-4} en el modo de robustez B de DRM. [5]

Una vez que se tienen los valores umbrales de S/N, para obtener los valores umbrales de campo eléctrico (señal) hay que sumarle el ruido. La recomendación indica que el ruido intrínseco de un receptor de DRM en Onda Corta se estima en 4.5 [dB μ V/m] [5]. Para encontrar el valor mínimo de

intensidad de campo eléctrico necesario para la correcta recepción, sin embargo, hay que tener en cuenta el ruido externo, importante en esta banda de frecuencia. Cuando el efecto del ruido externo estimado es superior al del ruido intrínseco del receptor, el valor de ruido estimado se debe sustituir al correspondiente valor de ruido intrínseco, como se ha calculado en el capítulo 4.

Para calcular el ruido se utiliza la Recomendación ITU-R P.372-11 [3] (09/2013) "Radio noise". En onda corta y en recepción en zona urbana, el ruido externo (E_N) más importante es el *ruido artificial*. Se tiene que el factor de ruido (f_N) y la figura de ruido (F_N) se calculan como:

$$f_N = \frac{P_N}{kTB}$$

$$F_N = 10 \log(f_N)$$

Donde:

P_N : Potencia de ruido

k: Constante de Boltzmann, $1.38(10)^{-23}$ J/K

T: Temperatura de referencia, 290 K

B: Ancho de banda Hz

Operando:

$$F_N = 10 \log\left(\frac{P_N}{kTB}\right) = 10 \log\left(\frac{1}{kT}\right) + 10 \log\left(\frac{P_N}{B}\right)$$

Suponiendo ruido Gaussiano, la densidad espectral de potencia es una constante. Se despeja la densidad de potencia de ruido (DP_N):

$$DP_N [dBW / Hz] = 10 \log\left(\frac{P_N}{B}\right) = F_N + 10 \log(kT)$$

De la recomendación se obtiene la figura de ruido [3],

$$F_N = c - d \log(f)$$

$$DP_N [dBW / Hz] = c - d \log(f) + 10 \log(kT)$$

donde:

f: Frecuencia en MHz.

Para un entorno de recepción urbano la recomendación dice que el factor de ruido se estima con los valores de $c=76.8$ y $d=27.7$ [1]. Por lo que sustituyendo para cada frecuencia se tiene:

Para $f=17.495$ [MHz]:

$$DP_N [dBW / Hz] = c - d \log(f) + 10 \log(kT)$$

$$DP_N = 76.8 - 27.7 \log(17.495) + 10 \log(1.38 * 10^{-23} * 290)$$

$$DP_N = -161.60 [dBW / Hz]$$

Para $f=21.495$ [MHz]:

$$DP_N [dBW / Hz] = c - d \log(f) + 10 \log(kT)$$

$$DP_N = 76.8 - 27.7 \log(21.495) + 10 \log(1.38 * 10^{-23} * 290)$$

$$DP_N = -164.08 [dBW / Hz]$$

Como el ancho de banda de la señal de DRM es de 10 [kHz], se tiene:

$$P_N = -121.60 [dBW] \dots\dots\dots (17.495 MHz)$$

$$P_N = -124.08 [dBW] \dots\dots\dots (21.495 MHz)$$

Ahora, se conoce la potencia de ruido y se desea obtener este valor en densidad de potencia (W_N), para posteriormente calcularlo en magnitud de campo eléctrico. Para ello se pueden usar las siguientes fórmulas, y considerando una antena omnidireccional para la recepción:

$$P_N = W_N A_{ef} = W_N \frac{\lambda^2}{4\pi} G$$

$$W_N = \frac{4\pi}{\lambda^2 G} P_N = \frac{4\pi \cdot f^2}{c^2 G} P_N$$

Donde:

W_N : Densidad de potencia del ruido

A_{ef} : Área efectiva de la antena

λ : Longitud de onda

G : Ganancia de la antena

c : Velocidad de la luz, 3×10^8 m/s

Se sustituye la densidad de potencia (W_N), en el modelo de la magnitud del ruido externo (E_N).

$$E_N = \sqrt{W_N \eta_0} = \sqrt{\frac{4\pi f^2}{c^2 G} P_N \eta_0}$$

$$E_N [dBV / m] = 10 \log \left[\frac{4\pi f^2}{c^2 G} P_N \eta_0 \right]$$

Donde:

Impedancia del medio (η_0) es $120\pi \Omega$

Ahora, se calcula para cada frecuencia:

$$E_N [dBV / m] = 10 \log \left[\frac{4\pi (17.495 * 10^6)^2}{(3 * 10^8)^2 (1)} 10^{\frac{-121.6}{10}} * 120\pi \right]$$

$$E_N = -109.52 [dBV / m]$$

$$E_N = 10.48 [dB\mu V / m]$$

$$E_N [dBV / m] = 10 \log \left[\frac{4\pi (21.495 * 10^6)^2}{(3 * 10^8)^2 (1)} 10^{\frac{-124.08}{10}} * 120\pi \right]$$

$$E_N = -110.22 [dBV / m]$$

$$E_N = 9.78 [dB\mu V / m]$$

Dados los valores obtenidos, se tiene que el ruido externo estimado es mayor que al ruido intrínseco en el receptor mencionado por la REC. UIT-R BS.1615-1 [5]. Dados estos nuevos valores se calculan los umbrales de campo eléctrico para cada frecuencia. (Tablas A.6 y A.7).

Los valores de la Tabla A.6 y A.7 se obtiene al sumar los valores de ruido externo E_N a los valores de S/R de la Tabla A.5.

$$E_{umbrales} = SNR_{umbrales} + E_N$$

Esquema de modulación	Nivel de protección	Índice de codificación	Modelo de Canal			Rango [dBμV/m]
			3°	4°	5°	

64-QAM	0	0.5	33.8	31.8	30.6	30.6 – 33.8
	1	0.6	35.9	34.0	33.2	33.2 – 35.9

Tabla A.6: Valores umbrales de campo eléctrico de los tres modelos de canal, para la frecuencia de 17.495 [MHz].

Esquema de modulación	Nivel de protección	Índice de codificación	Modelo de Canal			Rango [dBμV/m]
			3°	4°	5°	
64-QAM	0	0.5	33.1	31.1	30.0	30.0 – 33.1
	1	0.6	35.2	33.3	32.5	32.5 – 35.2

Tabla A.7: Valores umbrales de campo eléctrico de los tres modelos de canal, para la frecuencia de 21.495 [MHz].

Los valores mínimos de campo eléctrico son mayores a los que se habrían considerado tomando en cuenta solo el ruido intrínseco del receptor de 4.5 [dBμV/m].

Una vez obtenidos los umbrales de SNR y de campo, se indica en la Figura A.6 donde se han modificado los valores correspondientes en VOACAP. En realidad VOACAP no requiere el umbral de campo, pero ese valor sirve para entender mejor las simulaciones de campo eléctrico en recepción. VOACAP requiere el nivel de ruido y el umbral de SNR.

La recepción de la señal se hará en Brasilia, por lo que se considera ruido artificial urbano, y por ello el valor considerado para el ruido es -164.03 [dBW/Hz].

Tomando una modulación de 64-QAM, índice de modulación de 1 y nivel de protección 1 e índice de codificación de 0.6 se tiene un umbral de SNR entre 22.7 y 25.4 [dB] y para el nivel de protección 0, e índice de codificación de 0.5 se tiene un umbral de SNR entre 20.1 y 23.3 [dB] (ver tabla A.5).

El valor que hay que introducir en VOACAP de S/R se le suma 40 [dB], ya que le VOACAP mide la S/N sobre el ruido en 1 Hz de ancho de banda, y no sobre los 10 kHz de la señal DRM.

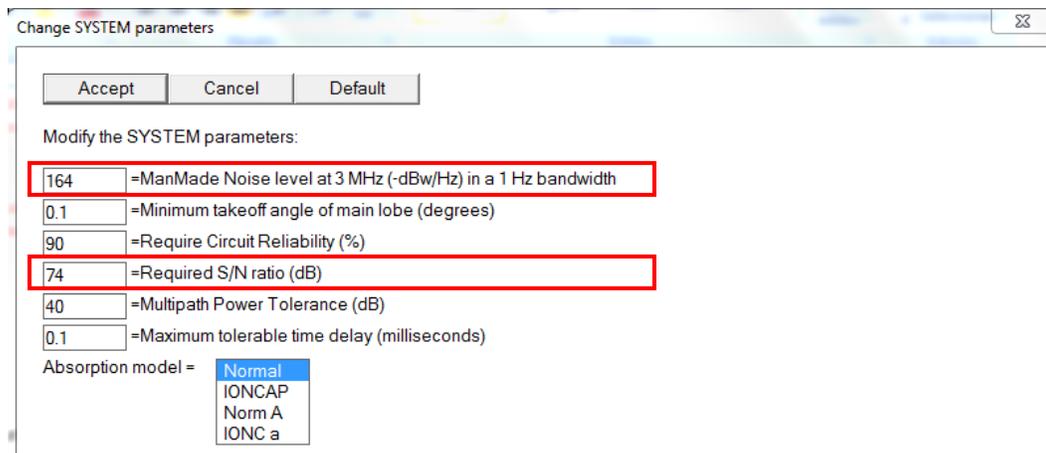


Figura A.6: Modificación de parámetros del “sistema” en VOACAP.

1a.6. Reporte de salida de VOACAP.

Igualmente como se puede obtener resultados de manera gráfica de VOACAP (como la magnitud del campo eléctrico en el tiempo, vista en el capítulo 4), VOACAP genera un archivo de texto *voacapx.out*. Este archivo contiene datos de cada parámetro de salida que tiene VOACAP.

```

Dec,09 2011          SSN = 90.          Minimum Angle= 0.100 degrees
Montsinery          University Brasilia  AZIMUTHS          N. MI.          KM
4.89 N  52.51 W - 15.76 S  47.86 W  167.52 347.07 1270.2 2352.2
XMTR 2-30 REC705 #01[default\211tdf ] Az=167.0 OFFaz= 0.5 100.000kw
RCVR 2-30 2-D Table [DEFAULT\SWWHIP.VOA ] Az= 0.0 OFFaz=347.1
3 MHz NOISE = -145.0 dBW      REQ. REL = 90%      REQ. SNR = 73.0 dB

```

SUMMARY	2 MODES	FREQ = 21.5 MHZ	UT = 5.0	
				← Modo de propagación
				← Ángulo de elevación
				← Probabilidad de un modo adicional
TIME DEL.	1. E	1.F2	1.F2	
ANGLE	7.96	8.47	8.47	
VIR. HITE	0.72	12.41	12.41	
TRAN. LOSS	125.30	387.74	387.74	
T. GAIN	451.77	131.23	131.23	
R. GAIN	1.97	20.46	20.46	
ABSORB	-15.70	-0.78	-0.78	
FS. LOSS	0.81	0.52		
FIELD ST.	126.65	127.20		
SIG. POW.	-252.22	53.40	53.40	
SNR	-401.77	-81.23	-81.23	
MODE PROB	-228.38	92.17	92.17	
R. PWRG	0.00	0.31	0.31	
RELIABIL	1000.00	1000.00	7.64	
SERV PROB	0.00	0.82	0.82	
SIG LOW	0.00	0.41	0.41	
SIG UP	8.97	25.00	25.00	
NOISE =	4.67	17.02	17.02	
SIGNAL =	-173	S. POWER =	-81.2	
NOISE =	9.0	8.5	4.7	1.6 5.6 0.6
NOISE =	9.7	-173.4	5.9	1.5 5.3 1.5
RELIAB =	18.0	92.2	26.8	
SPROB =	35.0	65.3	35.0	

‡ URSI Coeff(Daily) METHOD 25 VOACAP 12.0722W PAGE 15

Figura A.7: Parte del reporte de VOACAP (Para la frecuencia de 21.495 [MHz] y 5:00 UTC).

En la Figura A.7 se tiene una parte del archivo de salida de VOACAP, ya que se tienen datos por cada hora y para cada frecuencia de cálculo. Se muestran que los resultados son para el día 09/Dic/2011, SSN=90, 21.495 [MHz], 5:00 UTC, y se indican los resultados de modo de propagación, ángulo de elevación y la probabilidad de un modo adicional.

Por ejemplo, la Figura 4.8 del capítulo 4 es producto del archivo *voacapx.out* para el día 09/Dic/2011, SSN=90 para la frecuencia de 17.495 [MHz].

1b. Configuración de REC533.

REC533 es muy similar a VOACAP, empezando por la interfaz y también en cuanto a configurar el sitio transmisor, el sitio receptor, la antena, y el número de manchas solares, que se han comentado en las secciones anteriores.

En la Figura A.8 se tiene el menú principal de REC533, donde se le configuran los diversos parámetros de configuración de la simulación a realizar.

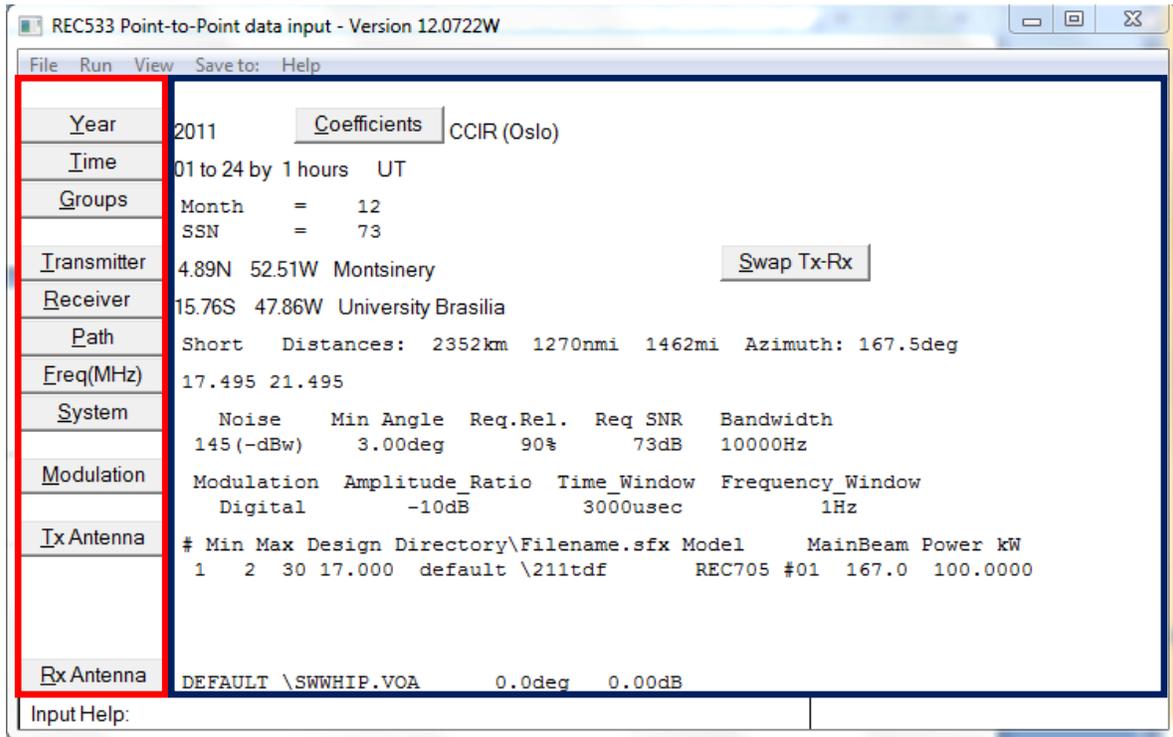


Figura A.8: Menú principal de REC533.

En cuanto a los parámetros descritos en VOACAP, la configuración de ellos en REC533 es exactamente igual a los parámetros que se han mencionado con anterioridad, cambiando únicamente el método de estimación usado por el Software. En REC533 se cargan de la misma manera los sitios transmisor y receptor, lo referente a las antenas transmisoras y receptoras, requiere el numero de SSN, también se involucra el cálculo del ruido externo y la S/R requerida para la correcta recepción. Es decir los parámetros de entrada son los mismos explicados para el VOACAP.

Referencias.

[1] Power Broadcasting: International & Domestic Broadcasting : Overview.

Disponible en: <http://hireme.geek.nz/sw.html>.

[Fecha de consulta: Junio/2014]

[2] The Sunspot cycle.

Disponible en: <http://solarscience.msfc.nasa.gov/SunspotCycle.shtml>.

[Fecha de consulta: Junio/2014]

[3] International Telecommunication Union. *Recomendación ITU-R P.372-11 "Radio noise"*. 2013

[4] Briceño Márquez, José E. *Principios de las comunicaciones*. Universidad de los Andes. 1993.

[5] International Telecommunication Union. *Recomendación UIT-R BS.1615-1 "«Parámetros de planificación» para la radiodifusión sonora digital en frecuencias inferiores a 30 MHz"*. 2011

[6] VOACAP Quick Guide.

Disponible en: <http://www.voacap.com/>.

[Fecha de consulta: Enero/2014]

Anexo II. Listado de archivos tomados en cuenta para el análisis.

Este anexo es destinado a la presentación de tablas de todos los archivos usados en este trabajo, se enumera el nombre de archivo, la fecha, la hora UTC y su duración.

II.1 Archivos considerados para los resultados del capítulo 5.

En el Anexo II se presenta la tabla con los archivos *.rsA tomados en cuenta de acuerdo al día y hora de grabación de los mismos que coinciden con los archivos *.wav.¹

Recepción Fija 17495 kHz B/64/16/1/L			
Archivo	Fecha (Dic/2011)	Hora UTC	Duración (s)
rec_17495_20111213_185453_000.rsA	13	18:00	80.1
rec_17495_20111213_190341_000.rsA	13	18:09	89.4
rec_17495_20111214_183038_000.rsA	14	17:37	104.9
rec_17495_20111214_183934_000.rsA	14	17:43	51.2
rec_17495_20111214_184731_000.rsA	14	17:52	73.1
rec_17495_20111214_185254_000.rsA	14	18:02	72.3
rec_17495_20111214_185807_000.rsA	14	18:09	67.4
rec_17495_20111214_190311_000.rsA	14	18:14	96.9
rec_17495_20111215_171828_000.rsA	15	16:25	99.0
rec_17495_20111215_172619_000.rsA	15	16:31	77.9

¹ Se realizó una aproximación con base al día, frecuencia, y hora de modificación de cada archivo *.rsA y *.wav, haciendo la consideración de que se trata de los mismos minutos y así poder realizar la comparación de los resultados obtenidos en el capítulo 5 y capítulo 6. No necesariamente el número de archivos *.rsA coincide con el número de archivos *.wav para determinada frecuencia y modo de transmisión.

rec_17495_20111215_173149_000.rsA	15	16:36	71.2
rec_17495_20111215_173700_000.rsA	15	16:42	80.3

Tabla II.1: Archivos tomados en cuenta para la Recepción Fija 17495 [kHz] modo B/64/16/1/L.

Recepción Fija 17495 kHz B/64/16/0/L			
Archivo	Fecha (Dic/2011)	Hora UTC	Duración (s)
rec_17495_20111208_130045_000.rsA	8	12:06	90.2
rec_17495_20111208_130703_000.rsA	8	12:12	71.8
rec_17495_20111208_135916_000.rsA	8	13:04	69.2
rec_17495_20111208_133320_000.rsA	8	12:39	97.1
rec_17495_20111208_140409_000.rsA	8	13:07	49.6
rec_17495_20111208_124821_000.rsA	8	11:54	91
rec_17495_20111208_123208_000.rsA	8	11:37	79.6
rec_17495_20111208_132213_000.rsA	8	12:33	163
rec_17495_20111208_134006_000.rsA	8	12:48	127.9
rec_17495_20111209_122313_000.rsA	9	11:28	72.3
rec_17495_20111209_122935_000.rsA	9	11:32	44.5
rec_17495_20111209_123743_000.rsA	9	11:41	54.8
rec_17495_20111209_124136_000.rsA	9	11:44	46.1
rec_17495_20111209_124856_000.rsA	9	11:53	62.2
rec_17495_20111209_125758_000.rsA	9	12:01	56.3
rec_17495_20111209_130211_000.rsA	9	12:05	54.6
rec_17495_20111215_174250_000.rsA	15	16:49	95.7
rec_17495_20111215_174944_000.rsA	15	16:57	110.2
rec_17495_20111215_175816_000.rsA	15	17:04	97.3
rec_17495_20111215_180523_000.rsA	15	17:11	86.3
rec_17495_20111215_181917_000.rsA	15	17:24	77.5
rec_17495_20111215_182503_000.rsA	15	17:30	73.8
rec_17495_20111215_183723_000.rsA	15	17:44	106.2
rec_17495_20111215_184444_000.rsA	15	17:52	107.5
rec_17495_20111215_185229_000.rsA	15	17:57	74.2
rec_17495_20111215_183023_000.rsA	15	17:37	99.8
rec_17495_20111215_181123_000.rsA	15	17:18	111.1
rec_17495_20111215_185759_000.rsA	15	18:03	82.4
rec_17495_20111216_174431_000.rsA	16	16:50	92
rec_17495_20111216_175117_000.rsA	16	16:57	84.5
rec_17495_20111216_175731_000.rsA	16	17:04	105.4
rec_17495_20111216_180519_000.rsA	16	17:11	89.4

rec_17495_20111216_181154_000.rsA	16	17:17	84.4
rec_17495_20111216_181755_000.rsA	16	17:23	87.9

Tabla II.2: Archivos tomados en cuenta para la Recepción Fija 17495 [kHz] modo B/64/16/0/L.

Archivo	Fecha (Dic/2011)	Hora UTC	Duración (s)
rec_17495_20111216_182819_000.rsA	16	17:35	103.5
rec_17495_20111216_183638_000.rsA	16	17:44	113.5
rec_17495_20111216_184441_000.rsA	16	17:50	83.4
rec_17495_20111216_185039_000.rsA	16	17:57	98.8
rec_17495_20111219_203707_000.rsA	19	19:44	102.1
rec_17495_20111219_204433_000.rsA	19	19:49	72.6
rec_17495_20111219_204939_000.rsA	19	19:54	71.3
rec_17495_20111219_205441_000.rsA	19	19:59	70.8
rec_17495_20111219_205940_000.rsA	19	20:04	72.2
rec_17495_20111221_192034_000.rsA	21	18:25	72.5
rec_17495_20111221_192539_000.rsA	21	18:30	73.3
rec_17495_20111221_193047_000.rsA	21	18:35	71.7
rec_17495_20111221_193559_000.rsA	21	18:40	67
rec_17495_20111221_194053_000.rsA	21	18:46	77.5
rec_17495_20111221_194617_000.rsA	21	18:52	95
rec_17495_20111221_195302_000.rsA	21	18:57	66.3
rec_17495_20111221_200352_000.rsA	21	19:03	72.4
rec_17495_20111221_200857_000.rsA	21	19:13	72.5
rec_17495_20111221_201411_000.rsA	21	19:19	73.9
rec_17495_20111221_202000_000.rsA	21	19:24	71.2
rec_17495_20111221_202614_000.rsA	21	19:31	72.7
rec_17495_20111221_203127_000.rsA	21	19:36	73.1
rec_17495_20111221_203636_000.rsA	21	19:41	73.9
rec_17495_20111221_204154_000.rsA	21	19:48	91.7
rec_17495_20111221_205305_000.rsA	21	19:58	73.5
rec_17495_20111221_205816_000.rsA	21	20:02	66.2
rec_17495_20111221_195742_000.rsA	21	19:03	85.7
rec_17495_20111221_191501_000.rsA	21	18:20	73.8
rec_17495_20111221_204815_000.rsA	21	19:52	66.9

Tabla II.2: Archivos tomados en cuenta para la Recepción Fija 17495 [kHz] modo B/64/16/0/L. (Cont.)

Recepción Fija 21495 kHz B/64/16/0/L			
Archivo	Fecha (Dic/2011)	Hora UTC	Duración (s)
rec_21495_20111209_132016_000.rsA	9	12:26	90.3
rec_21495_20111209_132630_000.rsA	9	12:29	48.4
rec_21495_20111209_133418_000.rsA	9	12:37	44.1
rec_21495_20111209_133734_000.rsA	9	12:41	53.3
rec_21495_20111209_134603_000.rsA	9	12:50	62.6
rec_21495_20111209_135538_000.rsA	9	13:00	74.7
rec_21495_20111209_140052_000.rsA	9	13:05	67.9
rec_21495_20111209_140538_000.rsA	9	13:10	69.1
rec_21495_20111212_132228_000.rsA	12	12:30	113.7
rec_21495_20111212_133040_000.rsA	12	12:35	73.9
rec_21495_20111212_134258_000.rsA	12	12:47	71.0
rec_21495_20111212_134820_000.rsA	12	12:53	77.1
rec_21495_20111212_135429_000.rsA	12	13:00	80.6
rec_21495_20111212_140007_000.rsA	12	13:06	97.0
rec_21495_20111212_172542_000.rsA	12	16:31	82.2
rec_21495_20111212_133603_000.rsA	12	12:42	97.8
rec_21495_20111212_140653_000.rsA	12	13:11	71.0
rec_21495_20111212_173250_000.rsA	12	16:37	71.4
rec_21495_20111212_173830_000.rsA	12	16:42	61.8
rec_21495_20111212_174253_000.rsA	12	16:45	41.3
rec_21495_20111212_174552_000.rsA	12	16:49	50.3
rec_21495_20111212_174928_000.rsA	12	16:53	57.0
rec_21495_20111212_175330_000.rsA	12	16:57	53.5
rec_21495_20111212_175725_000.rsA	12	17:01	60.9
rec_21495_20111212_180557_000.rsA	12	17:09	55.7
rec_21495_20111212_180957_000.rsA	12	17:14	57.7
rec_21495_20111212_181407_000.rsA	12	17:19	72.6
rec_21495_20111212_180144_000.rsA	12	17:05	59.0

Tabla II.3: Archivos tomados en cuenta para la Recepción Fija 21495 [kHz] modo B/64/16/0/L.

Recepción Movil 17495 kHz B/64/16/0/L			
Archivo	Fecha (Dic/2011)	Hora UTC	Duración (s)
rec_17495_20111220_192836_000.rsA	20	18:37	127.3
rec_17495_20111220_193718_000.rsA	20	18:44	106.8
rec_17495_20111220_194439_000.rsA	20	18:51	94.6
rec_17495_20111220_195311_000.rsA	20	18:59	96.7
rec_17495_20111220_195951_000.rsA	20	19:09	146.8
rec_17495_20111220_203722_000.rsA	20	19:59	331.5
rec_17495_20111220_205951_000.rsA	20	20:05	74.8
rec_17495_20111220_201004_000.rsA	20	19:37	403.2

Tabla II.4: Archivos tomados en cuenta para la Recepción Movil 17495 [kHz] modo B/64/16/0/L.

Recepción Fija 21495 kHz B/64/16/1/L			
Archivo	Fecha (Dic/2011)	Hora UTC	Duración (s)
rec_21495_20111213_132338_000.rsA	13	12:29	85.0
rec_21495_20111213_132939_000.rsA	13	12:34	75.4
rec_21495_20111213_133456_000.rsA	13	12:40	77.3
rec_21495_20111213_134019_000.rsA	13	12:46	83.6
rec_21495_20111213_134655_000.rsA	13	12:51	72.6
rec_21495_20111213_135159_000.rsA	13	12:57	77.6
rec_21495_20111213_135723_000.rsA	13	13:03	88.0
rec_21495_20111213_140331_000.rsA	13	13:09	82.9
rec_21495_20111213_140932_000.rsA	13	13:14	73.7
rec_21495_20111213_141442_000.rsA	13	13:20	85.8
rec_21495_20111213_142041_000.rsA	13	13:26	88.8
rec_21495_20111213_142651_000.rsA	13	13:32	87.4
rec_21495_20111213_143309_000.rsA	13	13:38	82.0

rec_21495_20111213_143856_000.rsA	13	13:45	91.6
rec_21495_20111213_144533_000.rsA	13	13:50	78.9

Tabla II.5: Archivos tomados en cuenta para la Recepción Fija 21495 [kHz] modo B/64/16/1/L.

Archivo	Fecha (Dic/2011)	Hora UTC	Duración (s)
rec_21495_20111213_145103_000.rsA	13	13:56	81.9
rec_21495_20111213_145732_000.rsA	13	14:02	79.1
rec_21495_20111213_150700_000.rsA	13	14:09	39.0
rec_21495_20111214_132942_000.rsA	14	12:35	84.2
rec_21495_20111214_133559_000.rsA	14	12:45	141.5
rec_21495_20111214_134615_000.rsA	14	12:53	107.2
rec_21495_20111214_141322_000.rsA	14	13:18	71.6
rec_21495_20111214_140403_000.rsA	14	13:13	132.1
rec_21495_20111214_131722_000.rsA	14	12:22	81.0
rec_21495_20111214_135403_000.rsA	14	13:03	140.3
rec_21495_20111214_132331_000.rsA	14	12:26	48.6
rec_21495_20111214_141839_000.rsA	14	13:22	56.7
rec_21495_20111214_145814_000.rsA	14	14:11	197.1
rec_21495_20111214_142240_000.rsA	14	13:42	286.8
rec_21495_20111214_144205_000.rsA	14	13:51	141.5
rec_21495_20111215_133007_000.rsA	15	12:37	114.7
rec_21495_20111215_133938_000.rsA	15	12:45	83.7
rec_21495_20111215_134607_000.rsA	15	12:55	138.2
rec_21495_20111215_135539_000.rsA	15	13:07	174.3
rec_21495_20111215_140729_000.rsA	15	13:13	92.7
rec_21495_20111215_141914_000.rsA	15	13:24	79.7
rec_21495_20111215_142529_000.rsA	15	13:32	102.6
rec_21495_20111215_143237_000.rsA	15	13:37	74.2
rec_21495_20111215_143755_000.rsA	15	13:46	119.0
rec_21495_20111215_144610_000.rsA	15	13:51	75.4
rec_21495_20111215_145145_000.rsA	15	13:56	75.3
rec_21495_20111215_145723_000.rsA	15	14:04	111.4
rec_21495_20111215_132620_000.rsA	15	12:28	23.6
rec_21495_20111215_150508_000.rsA	15	14:09	67.3

Tabla II.5: Archivos tomados en cuenta para la Recepción Fija 21495 [kHz] modo B/64/16/1/L. (Cont)

II.2 Archivos considerados para los resultados del capítulo 6.

Se presentan las tablas por frecuencias y modo de transmisión de todos los archivos tomados en cuenta para los resultados que se presentan en el capítulo 6.

Recepción Fija 17495 kHz B/64/16/0/L			
Archivo	Fecha (Dic/2011)	Hora UTC	Duración (s)
rec_17495_20111208_123208_000	8	11:37	79.6
rec_17495_20111208_124821_000	8	11:54	91.0
rec_17495_20111208_130045_000	8	12:06	90.2
rec_17495_20111208_130703_000	8	12:12	71.8
rec_17495_20111208_132213_000	8	12:33	163.0
rec_17495_20111208_133320_000	8	12:39	97.1
rec_17495_20111208_135916_000	8	13:04	69.2
rec_17495_20111208_140409_000	8	13:04	49.6
rec_17495_20111209_122313_000	9	11:28	72.3
rec_17495_20111209_122935_000	9	11:32	44.5
rec_17495_20111209_123743_000	9	11:41	54.8
rec_17495_20111209_124136_000	9	11:44	46.1
rec_17495_20111209_124856_000	9	11:53	62.2
rec_17495_20111209_125758_000	9	12:01	56.3
rec_17495_20111209_130211_000	9	12:05	54.6
rec_17495_20111215_174250_000	15	16:49	95.7
rec_17495_20111215_174944_000	15	16:57	110.2
rec_17495_20111215_175816_000	15	17:04	97.3
rec_17495_20111215_180523_000	15	17:11	86.3
rec_17495_20111215_181123_000	15	17:18	111.1
rec_17495_20111215_181917_000	15	17:24	77.5
rec_17495_20111215_182503_000	15	17:30	73.8
rec_17495_20111215_183023_000	15	17:37	99.8
rec_17495_20111215_183723_000	15	17:44	106.2
rec_17495_20111215_184444_000	15	17:52	107.5
rec_17495_20111215_185229_000	15	17:57	74.2
rec_17495_20111215_185759_000	15	18:03	82.4
rec_17495_20111216_174431_000	16	16:50	92.0

Tabla II.6: Archivos tomados en cuenta para la Recepción Fija 17495 [kHz] modo B/64/16/0/L.

Archivo	Fecha (Dic/2011)	Hora UTC	Duración (s)
rec_17495_20111216_175117_000	16	16:57	84.5
rec_17495_20111216_175731_000	16	17:04	105.4
rec_17495_20111216_180519_000	16	17:11	89.4
rec_17495_20111216_181154_000	16	17:17	84.4
rec_17495_20111216_181755_000	16	17:23	87.9
rec_17495_20111216_182819_000	16	17:35	103.5
rec_17495_20111216_183638_000	16	17:44	113.5
rec_17495_20111216_184441_000	16	17:50	83.4
rec_17495_20111216_185039_000	16	17:57	98.8
rec_17495_20111219_203707_000	19	19:44	102.1
rec_17495_20111219_204433_000	19	19:49	72.6
rec_17495_20111219_204939_000	19	19:54	71.3
rec_17495_20111219_205441_000	19	19:59	70.8
rec_17495_20111221_191501_000	21	18:20	73.8
rec_17495_20111221_192034_000	21	18:25	72.5
rec_17495_20111221_192539_000	21	18:30	73.3
rec_17495_20111221_193047_000	21	18:35	71.7
rec_17495_20111221_193559_000	21	18:40	67.0
rec_17495_20111221_194053_000	21	18:46	77.5
rec_17495_20111221_194617_000	21	18:52	95.0
rec_17495_20111221_195302_000	21	18:57	66.3
rec_17495_20111221_195742_000	21	19:03	85.7
rec_17495_20111221_200352_000	21	19:03	72.4
rec_17495_20111221_200857_000	21	19:13	72.5
rec_17495_20111221_201411_000	21	19:19	73.9
rec_17495_20111221_202000_000	21	19:24	71.2
rec_17495_20111221_202614_000	21	19:31	72.7
rec_17495_20111221_203127_000	21	19:36	73.1
rec_17495_20111221_203636_000	21	19:41	73.9
rec_17495_20111221_204154_000	21	19:48	91.7
rec_17495_20111221_204815_000	21	19:52	66.9
rec_17495_20111221_205305_000	21	19:58	73.5
rec_17495_20111221_205816_000	21	20:02	66.2
rec_17495_20111215_190353_000	15	18:09	85.8
rec_17495_20111216_190539_000	16	18:09	59.4
rec_17495_20111219_205940_000	19	20:04	72.2
rec_17495_20111221_210302_000	21	20:05	26.6

rec_17495_20111208_134006_000	8	12:48	127.9
-------------------------------	---	-------	-------

Tabla II.6: Archivos tomados en cuenta para la Recepción Fija 17495 [kHz] modo B/64/16/0/L. (Cont.)

Recepción Movil 17495 kHz B/64/16/0/L			
Archivo	Fecha (Dic/2011)	Hora UTC	Duración (s)
rec_17495_20111220_192836_000	20	18:37	127.3
rec_17495_20111220_193718_000	20	18:44	106.8
rec_17495_20111220_194439_000	20	18:51	94.6
rec_17495_20111220_195311_000	20	18:59	96.7
rec_17495_20111220_195951_000	20	19:09	146.8
rec_17495_20111220_203722_000	20	19:59	331.5
rec_17495_20111220_205951_000	20	20:05	74.8
rec_17495_20111220_201004_000	20	19:37	403.2

Tabla II.7: Archivos tomados en cuenta para la Recepción Movil 17495 [kHz] modo B/64/16/0/L.

Recepción Fija 17495 kHz B/64/16/1/L			
Archivo	Fecha (Dic/2011)	Hora UTC	Duración (s)
rec_17495_20111213_185453_000	13	18:00	80.1
rec_17495_20111214_183038_000	14	17:37	104.9
rec_17495_20111214_183934_000	14	17:43	51.2
rec_17495_20111214_184731_000	14	17:52	73.1
rec_17495_20111214_185254_000	14	18:02	72.3
rec_17495_20111214_185807_000	14	18:09	67.4
rec_17495_20111213_190341_000	13	18:09	89.4
rec_17495_20111214_190311_000	14	18:14	96.9
rec_17495_20111215_171828_000	15	16:25	99.0
rec_17495_20111215_172619_000	15	16:31	77.9
rec_17495_20111215_173149_000	15	16:36	71.2
rec_17495_20111215_173700_000	15	16:42	80.3

Tabla II.8: Archivos tomados en cuenta para la Recepción Fija 17495 [kHz] modo B/64/16/1/L.

Recepción Fija 21495 kHz B/64/16/0/L			
Archivo	Fecha (Dic/2011)	Hora UTC	Duración (s)
rec_21495_20111209_132016_000	9	12:26	90.3
rec_21495_20111209_132630_000	9	12:29	48.4
rec_21495_20111209_133418_000	9	12:37	44.1
rec_21495_20111209_133734_000	9	12:41	53.3
rec_21495_20111209_134603_000	9	12:50	62.6
rec_21495_20111209_135538_000	9	13:00	74.7
rec_21495_20111209_140052_000	9	13:05	67.9
rec_21495_20111212_132228_000	12	12:30	113.7
rec_21495_20111212_133040_000	12	12:35	73.9
rec_21495_20111212_133603_000	12	12:42	97.8
rec_21495_20111212_134258_000	12	12:47	71.0
rec_21495_20111212_134820_000	12	12:53	77.1
rec_21495_20111212_135429_000	12	13:00	80.6
rec_21495_20111212_140007_000	12	13:06	97.0
rec_21495_20111209_140538_000	9	13:10	69.1
rec_21495_20111212_140653_000	12	13:11	71.0
rec_21495_20111212_172542_000	12	16:31	82.2
rec_21495_20111212_173250_000	12	16:37	71.4
rec_21495_20111212_173830_000	12	16:42	61.8
rec_21495_20111212_174253_000	12	16:45	41.3
rec_21495_20111212_174552_000	12	16:49	50.3
rec_21495_20111212_174928_000	12	16:53	57.0
rec_21495_20111212_175330_000	12	16:57	53.5
rec_21495_20111212_175725_000	12	17:01	60.9
rec_21495_20111212_180557_000	12	17:09	55.7
rec_21495_20111212_180957_000	12	17:14	57.7
rec_21495_20111212_181407_000	12	17:19	72.6
rec_21495_20111212_180144_000	12	17:05	59.0

Tabla II.9: Archivos tomados en cuenta para la Recepción Fija 21495 [kHz] modo B/64/16/0/L.

Recepción Fija 21495 kHz B/64/16/1/L			
Archivo	Fecha (Dic/2011)	Hora UTC	Duración (s)
rec_21495_20111213_132338_000	13	12:29	85.0
rec_21495_20111213_132939_000	13	12:34	75.4
rec_21495_20111213_133456_000	13	12:40	77.3
rec_21495_20111213_134019_000	13	12:46	83.6
rec_21495_20111213_134655_000	13	12:51	72.6
rec_21495_20111213_135159_000	13	12:57	77.6
rec_21495_20111213_135723_000	13	13:03	88.0
rec_21495_20111213_140331_000	13	13:09	82.9
rec_21495_20111213_140932_000	13	13:14	73.7
rec_21495_20111213_141442_000	13	13:20	85.8
rec_21495_20111213_142041_000	13	13:26	88.8
rec_21495_20111213_142651_000	13	13:32	87.4
rec_21495_20111213_143309_000	13	13:38	82.0
rec_21495_20111213_143856_000	13	13:45	91.6
rec_21495_20111213_144533_000	13	13:50	78.9
rec_21495_20111213_145103_000	13	13:56	81.9
rec_21495_20111213_145732_000	13	14:02	79.1
rec_21495_20111214_131722_000	14	12:22	81.0
rec_21495_20111214_132331_000	14	12:26	48.6
rec_21495_20111214_132942_000	14	12:35	84.2
rec_21495_20111214_133559_000	14	12:45	141.5
rec_21495_20111214_134615_000	14	12:53	107.2
rec_21495_20111214_135403_000	14	13:03	140.3
rec_21495_20111214_140403_000	14	13:13	132.1
rec_21495_20111214_141322_000	14	13:18	71.6
rec_21495_20111215_133007_000	15	12:37	114.7
rec_21495_20111215_133938_000	15	12:45	83.7
rec_21495_20111215_134607_000	15	12:55	138.2
rec_21495_20111215_135539_000	15	13:07	174.3
rec_21495_20111215_140729_000	15	13:13	92.7
rec_21495_20111215_141914_000	15	13:24	79.7
rec_21495_20111215_142529_000	15	13:32	102.6
rec_21495_20111215_143237_000	15	13:37	74.2

Tabla II.10: Archivos tomados en cuenta para la Recepción Fija 21495 [kHz] modo B/64/16/1/L.

Archivo	Fecha (Dic/2011)	Hora UTC	Duración (s)
rec_21495_20111215_143755_000	15	13:46	119.0
rec_21495_20111215_144610_000	15	13:51	75.4
rec_21495_20111215_145145_000	15	13:56	75.3
rec_21495_20111216_132532_000	16	12:30	73.6
rec_21495_20111216_133104_000	16	12:35	70.6
rec_21495_20111216_133600_000	16	12:41	75.1
rec_21495_20111216_134126_000	16	12:46	67.2
rec_21495_20111216_134610_000	16	12:52	86.0
rec_21495_20111216_135227_000	16	12:58	83.6
rec_21495_20111216_135816_000	16	13:02	66.2
rec_21495_20111216_141256_000	16	13:18	87.8
rec_21495_20111216_141913_000	16	13:26	104.7
rec_21495_20111216_142636_000	16	13:31	70.3
rec_21495_20111216_143145_000	16	13:37	79.7
rec_21495_20111213_150700_000	13	14:09	39.0
rec_21495_20111216_143731_000	16	13:42	69.8
rec_21495_20111214_141839_000	14	13:22	56.7
rec_21495_20111214_142240_000	14	13:42	286.8
rec_21495_20111214_144205_000	14	13:51	141.5
rec_21495_20111214_145814_000	14	14:11	197.1
rec_21495_20111215_132620_000	15	12:28	23.6
rec_21495_20111215_145723_000	15	14:04	111.4
rec_21495_20111215_150508_000	15	14:09	67.3
rec_21495_20111216_144235_000	16	13:48	78.5
rec_21495_20111216_144834_000	16	13:53	64.6
rec_21495_20111216_145323_000	16	13:58	67.1
rec_21495_20111216_145817_000	16	14:03	71.2
rec_21495_20111216_150325_000	16	14:09	88.1

Tabla II.10: Archivos tomados en cuenta para la Recepción Fija 21495 [kHz] modo B/64/16/1/L. (Cont.)