



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**RECEPCIÓN MÓVIL DE LA SEÑAL DRM EN LA
BANDA DE 26 MHZ EN MÉXICO**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

PRESENTA:

ORLANDO LEONEL CRUZ MARTÍNEZ

ASESORA DE TESIS:

DRA. FATIMA MOUMTADI



CD. UNIVERSITARIA

2008



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos

Con este trabajo termina una etapa importante de mi vida, con el llegar al final de un camino lleno de éxitos, logros y también de tropiezos. Este camino me ha formado y me ha hecho ser lo que soy actualmente, por ello en este momento importante para mí, quiero agradecer:

A Dios.

Por darme una hermosa familia,
Por permitirme aprender y conocer para seguir adelante en la vida, y
Por darme todo lo necesario para continuar y alcanzar mis objetivos.

A mis Padres.

Marisela Martínez Torres y Cecilio Cruz Hernández.

Por darme su amor e inculcarme buenos valores,
Por confiar en mí y darme su apoyo incondicional, y
Por estar conmigo en tiempos buenos y malos.
Sin ustedes esto no sería posible,
Los quiero mucho y son parte importante de mi vida.

A mis Hermanos.

María Isabel y Sergio Raúl Cruz Martínez.

Isa gracias por apoyarme y estar conmigo.
Por que se que les alegra mi felicidad.

A mis Sobrinos.

Said, José y Xochiquetzal.

Por que llenan de dicha y alegría mi vida, y
Por que eso me alienta a seguir adelante.

A mis Abuelos, Tíos y Primos.

Por que comparten conmigo este logro con alegría.

A mis Amigos.

Por que me han brindado su apoyo y han estado conmigo siempre.

A mis Profesores.

Dra. Fátima Moumtadi e Ing. José María Matías
Por su apoyo, paciencia y dedicación, y
Por ayudarme a dar este paso importante.

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

Por todos los conocimientos adquiridos,
Por hacer de mí un verdadero mexicano,
Por darme la oportunidad de ser alguien mejor, y
Por que nunca olvidare mi paso por esta grandiosa Universidad.

Índice

Capítulo 1. Introducción	7
1.1 Objetivo	7
1.2 Definición del problema	8
1.3 Aportaciones	9
1.4 Estructura de la tesis	9
Capítulo 2. Radiodifusión digital	11
2.1 Sistemas de radiodifusión analógicos	11
2.1.1 Amplitud Modulada (AM)	12
2.1.2 Frecuencia Modulada (FM)	13
2.2 Sistemas de radiodifusión digital	14
2.2.1 Eureka 147	15
2.2.2 HD Radio	18
2.2.3 Digital Radio Mondiale (DRM)	21
2.2.4 Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB) y Digital Multimedia	26
2.2.5 Radio satelital	30
2.2.5.1 Digital Audio Radio Satellite (DARS)	31
2.2.5.2 World Space	33
Capítulo 3. Arquitectura del estándar DRM	35
3.1 Características generales del sistema	35
3.2 Codificación de la fuente	38
3.2.1 Codificación de audio AAC	39
3.2.2 Codificación de voz CELP	39
3.2.3 Codificación de voz HVXC	40
3.2.4 Codificación con SBR	40
3.2.5 Codificación con PS	41
3.3 Multiplexación	41
3.3.1 Canal de Servicio Principal (MSC)	42
3.3.2 Canal de Acceso Rápido (FAC)	43
3.3.3 Canal de Descripción del Servicio (SDC)	45
3.3.4 Aplicación de mensajes de texto	48
3.3.5 Modo paquete	48
3.4 Codificación de canal	49
3.4.1 Modulación COFDM	49
3.4.2 Adaptación del múltiplex al transporte	52
3.4.3 Distribuidor de energía	52
3.4.4 Codificación multinivel	52
3.4.5 Proceso de entrelazado	53
3.5 Modos de transmisión	54
3.5.1 Estructura de transmisión	54
3.5.2 Parámetros relacionados a la propagación	56

3.5.3 Parámetros relacionados al ancho de banda	57
Capítulo 4. Propagación en las bandas de radiodifusión	61
4.1 Ondas superficiales	63
4.1.1 Ondas directas	64
4.1.2 Ondas reflejadas	64
4.2 Ondas espaciales	68
4.2.1 Ondas troposféricas	69
4.2.2 Ondas ionosféricas	71
4.3 Propagación en la banda de los 26 MHz	81
Capítulo 5. Desarrollo del programa que permita analizar la recepción móvil de la señal DRM	89
5.1 Descripción de las pruebas realizadas a la señal DRM en México	89
5.1.1 Descripción del sistema empleado	90
5.1.2 Descripción de las rutas de medición	91
5.1.3 Descripción del equipo empleado	92
5.1.4 Descripción de las pruebas realizadas	94
5.2 Diseño del programa en matlab	95
5.3 Análisis de las pruebas de la señal DRM en los 26 MHz	99
5.3.1 Calidad de audio	99
5.3.2 Fiabilidad de la transmisión	100
5.3.3 Área de cobertura	100
5.4 Análisis de los resultados obtenidos con el programa desarrollado en matlab	106
5.4.1 Recepción móvil en un entorno típico mexicano	107
5.4.2 Recepción móvil en un entorno urbano denso	115
5.4.3 Recepción móvil en un entorno industrial poco denso	121
5.4.4 Recepción móvil en un entorno residencial abierto	122
5.4.5 Resultados	126
Capítulo 6. Conclusiones	129
Referencias	131
Glosario de abreviaciones	135
Apéndice. Programa para analizar la recepción móvil de la señal DRM	137

Capítulo 1

Introducción

1.1 Objetivo

El espectro radioeléctrico ha estado gobernado por frecuencias debajo de los 30 MHz, principalmente por la amplitud modulada (AM), desde los inicios de la radio. Desde la introducción del CD en 1982 el radioescucha se ha vuelto cada vez más exigente con el audio, por lo que ha aumentado la investigación en sistemas de radio de mayor calidad, estableciéndose así la necesidad de crear nuevos estándares para la radiodifusión.

Actualmente se encuentra ante una tendencia global por digitalizar los sistemas de comunicaciones, incluyendo a la radio. Emplear sistemas digitales ofrece ventajas importantes tanto para radiodifusores como para radioescuchas.

En la radiodifusión analógica de frecuencia modulada (FM), de mejor calidad auditiva que la de AM, se están generando algunas modificaciones hacia la transformación de la radiodifusión digital, sin embargo la cobertura de FM, situada entre los 88 y 108 MHz es limitada.

Por ello es necesario, una alternativa de radio digital que permita aprovechar las frecuencias actualmente destinadas a la radiodifusión. Pensar en implementar un sistema de radio digital en las bandas de AM (frecuencias por debajo de los 30 MHz), donde los servicios actuales son de baja calidad, presentará enormes beneficios para los servicios de radiodifusión.

Algunas ventajas de contar con un sistema de radio digital son: mejor recepción y calidad de audio, uso más eficiente de las frecuencias destinadas a la radiodifusión, menor consumo de energía, fácil sintonía, transmisión de programas con información asociada de texto y control del área de cobertura.

El presente trabajo utiliza como estándar de radiodifusión digital al sistema DRM (Digital Radio Mondiale) para realizar un estudio y análisis de la calidad de la recepción móvil de la señal de audio de AM digital en distintos entornos ambientales de la ciudad de México

El objetivo principal de este trabajo es realizar un programa en el entorno de Matlab que permita simular y definir el comportamiento de la señal DRM recibida con un receptor en movimiento y transmitida en la banda de frecuencias de 26 MHz, destinada a la radiodifusión local.

Para ello, se emplearan las pruebas realizadas con un receptor móvil en la ciudad de México en julio de 2005, donde se realizaron medidas de algunos parámetros de la señal DRM. En el presente trabajo se tomaron en cuenta las medidas de

campo eléctrico, señal a ruido y calidad de audio, en distintos entornos ambientales de la ciudad.

1.2 Definición del problema

La radio de FM, de mejor calidad de sonido que la de AM, tiene el inconveniente de alcanzar una menor cobertura, lo que puede apreciarse más en el medio rural, cubrir mayores zonas con la radio de FM implicaría una mayor inversión, al aumentar el número de estaciones de transmisión. La radio analógica de AM en onda media presenta una mayor cobertura, debido a las características de propagación de su banda de frecuencias, sin embargo durante la noche se amplía más, por lo que se reduce la cobertura final debido a las interferencias.

La radio digital llegará a sustituir a las redes de difusión analógicas y se convertirá en la radio del futuro, con una mejor calidad de audio y que además prestara más y mejores servicios a los radioescuchas. Actualmente, el estándar DRM, es un sistema empleado mundialmente para la radiodifusión digital en onda corta y es utilizado en onda media en Europa, por lo que será de gran importancia para la radiodifusión internacional.

Es por ello que ha sido necesario realizar en distintos países, entre ellos México, una serie de pruebas a través de un sistema digital experimental de DRM en la banda de onda media, que permita conocer mejor las posibilidades de este sistema.

Parte de este estudio, es realizar una simulación y análisis de la señal DRM recibida en distintos entornos ambientales por un receptor móvil, permitiendo así, entender las características de su propagación.

En este trabajo, se diseñó un programa que simula la recepción de la señal DRM que permitirá, a su vez, analizar el comportamiento de esta señal, y con ello se podrán realizar estudios más precisos de los parámetros y de la cobertura de la señal DRM en la banda de radiodifusión de 26 MHz. Los parámetros medidos durante la recepción de la señal, que pueden analizarse con este programa son el campo eléctrico, la relación señal a ruido y la calidad de audio obtenida.

Se cuenta para esta simulación con los registros de las pruebas tomadas por la Universidad del País Vasco y el Consorcio DRM con la colaboración en México de Radio Educación y Radio Ibero, en julio de 2005.

Aunque las pruebas realizadas son de dos tipos, con el receptor en un punto fijo y con el receptor móvil, es decir, pruebas tomadas durante el trayecto de una ruta predefinida, para esta simulación y análisis solo se consideraron las últimas.

1.3 Aportaciones

Las principales aportaciones de este trabajo se resumen a continuación:

- Realizar una descripción del estándar DRM, el cual es un sistema de radiodifusión digital que emplea las bandas de frecuencias actualmente empleadas para la transmisión analógica de amplitud modulada (AM), y describir algunas características de su propagación dentro de las distintas bandas de frecuencias inferiores a los 30 MHz (ondas cortas, ondas medias y ondas largas).
- Realizar un programa en Matlab que permita reproducir el comportamiento de la señal DRM transmitida en la banda de 26 MHz, utilizando como referencia los resultados obtenidos en las pruebas realizadas con un receptor en movimiento tomadas en distintos entornos ambientales de la ciudad de México.
- Analizar los distintos entornos ambientales de la ciudad de México, en base a los resultados de las pruebas con ayuda del programa desarrollado en Matlab, a fin de realizar estudios más precisos de los parámetros de campo eléctrico, relación señal a ruido y calidad de audio, y de la cobertura de la señal DRM en la banda de radiodifusión de 26 MHz.

1.4 Estructura de la tesis

En este primer capítulo se ha señalado principalmente el objetivo de este trabajo "*Recepción móvil de la señal DRM en la banda de 26 MHz en México*", se describe su aportación en el contexto actual y su empleo para el análisis de la recepción móvil de la señal DRM.

La digitalización de la radio pretende dar más y mejores servicios. Por ello, el capítulo 2 está dedicado a la *Radiodifusión digital*, donde se mencionan algunos estándares de la radio digital terrestre. Dichos sistemas de radio son el sistema europeo Eureka 147 o DAB (Digital Audio Broadcasting), HD Radio o Radio de Alta Definición en FM generado en los Estados Unidos y se encuentra basado en canales de servicio suplementario.

Para frecuencias menores a 30 MHz, el estándar Digital Radio Mondiale (DRM), permitirá cambiar la calidad en la recepción de onda corta, ya que presenta ventajas sobre el desvanecimiento y la propagación.

El ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting) o difusión digital de servicios integrados es un sistema japonés, empleado para servicios de radio y televisión y el sistema DMB (Digital Multimedia Broadcasting) creado en Corea del Sur.

Dentro de este Capítulo, también se describen algunos sistemas de radio satelital DARS (Digital Audio Radio Satellite), como por ejemplo XM Satellite Radio de los Estados Unidos, basado en satélites geoestacionarios, el Sirius Satellite Radio que emplea satélites de alta órbita elíptica y World Space.

En el capítulo 3 titulado *Arquitectura del estándar DRM*, se realiza una descripción profunda de las etapas de este formato, como la codificación de la fuente de audio, para la que existen tres esquemas: MPEG-4 AAC (Advanced Audio Coding), CELP (Code-book Excited Linear Prediction) y HVXC (Harmonic Vector eXcitation Coding).

En la codificación de canal se organiza la información en tres canales: Main Service Channel (MSC), Fast Access Channel (FAC) y Service Description Channel (SDC).

En la siguiente etapa se realiza el proceso de codificación de canal y modulación, se conforma la trama de transmisión OFDM, empleando constelaciones QAM y seleccionando el nivel de protección, para posteriormente elegir el modo de transmisión (A, B, C o D) y fijar los parámetros que condicionan la robustez de la trama OFDM.

En el capítulo 4, *Propagación en las bandas de radiodifusión*, se describe el tipo de propagación empleada: Onda de superficie, (para frecuencias bajas y medias), onda ionosférica (para frecuencias medias y altas) y se menciona la propagación en la banda de los 26 MHz.

En el capítulo 5, se describen las pruebas realizadas de la señal DRM en la ciudad de México, se realiza el diseño del programa generado en matlab que permite analizar, mediante las pruebas efectuadas para la señal DRM en julio de 2005, los parámetros de campo eléctrico, relación señal a ruido y calidad de audio en los diferentes entornos ambientales. Por último, se presentan las conclusiones de dicho análisis, así como algunas sugerencias para la óptima recepción de la señal DRM en la ciudad de México.

Capítulo 2

Radiodifusión digital

2.1 Sistemas de radiodifusión analógicos

Un sistema de radiodifusión se encarga de producir y difundir, mediante un medio de transmisión, señales electromagnéticas de audio o video destinadas a un público determinado. La radiodifusión analógica de audio emplea como medio de transmisión al aire y utiliza las técnicas de modulación conocidas como Amplitud Modulada (AM) y Frecuencia Modulada (FM).

Antes de describir las técnicas de modulación analógica, recordemos que las ondas electromagnéticas están formadas por la conjunción de un campo eléctrico y otro magnético, esta unión permite la transmisión de las ondas por el espacio, es decir, su propagación. Para caracterizar una onda electromagnética se establecen tres parámetros:

- **Frecuencia:** Define el número de ondas que se transmiten en un segundo.
- **Velocidad:** Es igual a la velocidad de la luz (300.000 km/s) y es independiente de la frecuencia.
- **Longitud de onda:** Es la velocidad de propagación (velocidad de la luz) dividida entre la frecuencia.

Así mismo, cabe mencionar que el espectro electromagnético es muy amplio y comprende desde los rayos gama hasta las microondas. Las ondas de radio se encuentran entre las microondas y el espectro infrarrojo. La música y todos los sonidos que escucha el ser humano se encuentran entre los 20 Hz y 20 kHz.

Para realizar una radiodifusión el audio, que se encuentra en señales eléctricas, debe convertirse mediante un emisor en corrientes de Radio Frecuencia (RF), estas a su vez se transforman en ondas electromagnéticas al aplicarse a una antena de emisión. Por el contrario, estas ondas al ser captadas por la antena de un receptor, se convierten en débiles corrientes eléctricas; las cuales son amplificadas y tratadas para que puedan excitar el altavoz o bocina.

Para transmitir información es necesario manipular la onda de emisión. A la onda que se genera en el transmisor mediante un circuito electrónico, conocido como oscilador, se le llama onda portadora y es la que transporta la información.

Es necesario realizar una sintonización para recibir la información adecuadamente, es decir, el oscilador del receptor y del transmisor deberán estar trabajando a la misma frecuencia. En el receptor la onda portadora es anulada o seleccionada y amplificada gracias a la sintonización.

El tipo de transmisor más empleado utiliza dos osciladores, el de RF, que genera la portadora, y el de Audio Frecuencia (AF); ambas señales se mezclan de forma que la señal de AF se monta sobre la señal de RF, lo que se conoce como modulación. Los métodos de modulación más conocidos para la transmisión de sonido e imagen son modulación de amplitud y modulación de frecuencia.

2.1.1 Amplitud Modulada (AM)

Debido a que las señales de AF (20 Hz - 20 kHz) no pueden viajar largas distancias, y dado que las señales de RF son de frecuencia más elevada, es decir, pueden desplazarse a mayores distancias con una potencia mucho menor, es por ello que para transmitir información (señal de AF) a gran distancia, esta señal se modula o codifica con una portadora (señal RF)

En un modulador AM las señales de entrada son la RF de amplitud y frecuencia constante y la AF o moduladora y el parámetro que se modifica en la señal portadora por la señal moduladora es la amplitud.

Un transmisor de AM cuenta con un oscilador que produce una corriente eléctrica de muy alta frecuencia (radiofrecuencia), cuyo valor se encuentra entre los 30 kHz y 300 MHz; esta corriente se amplifica y se aplica a un modulador. Por otra parte, una señal con frecuencias acústicas (audiofrecuencia) se transforma en una corriente eléctrica, esta se amplifica y se alimenta al modulador.

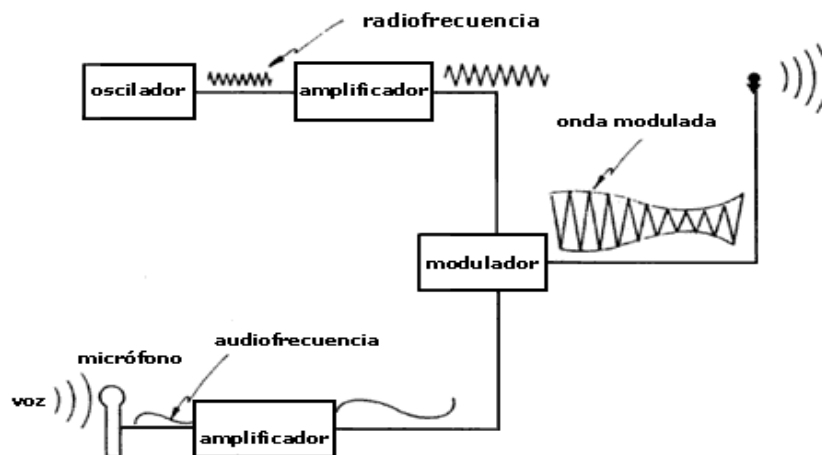


Figura 2.1 Transmisor de AM

Éste mezcla de ambas señales produce una corriente de alta frecuencia modulada en amplitud, que lleva incorporadas las características de la señal de audiofrecuencia. Finalmente, la corriente modulada se hace pasar por la antena que emite ondas electromagnéticas con la misma frecuencia y amplitud que tiene la corriente que la alimentó. La frecuencia de emisión de la estación de radio es la frecuencia que produce el oscilador (figura 2.1).

En la recepción, las ondas electromagnéticas son captadas por medio de una antena, en la que inducen una corriente eléctrica con las mismas características de frecuencia y amplitud de las ondas. La corriente es seleccionada de cualquier otra emisión o ruido, con un sintonizador de frecuencia. Posteriormente, se

amplifica, se hace pasar por un filtro, que elimina la componente de alta frecuencia y se hace pasar a una bocina que la transforma en una onda de sonido (figura 2.2).

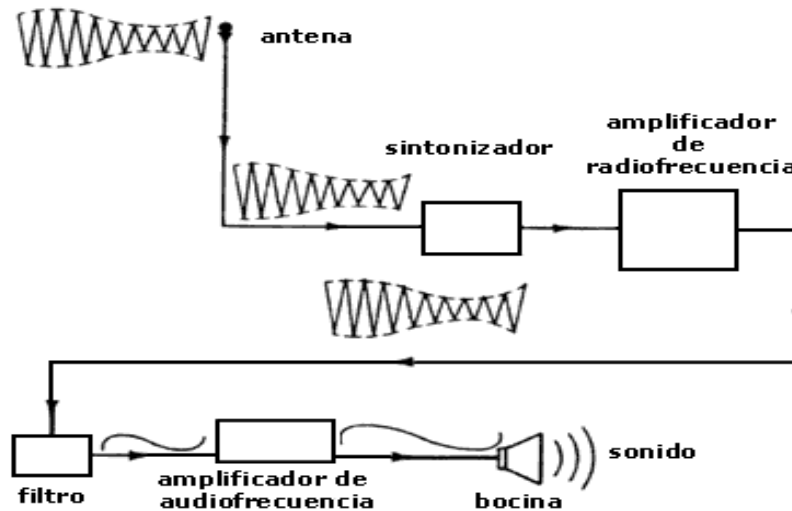


Figura 2.2 Receptor de AM

Al realizar el proceso de modulación se tienen tres frecuencias: La frecuencia de la portadora f , la frecuencia suma de la portadora y la información, y la frecuencia diferencia de la portadora y la información.

Esto significa que la información no la compone una onda única, sino varias dentro de una misma banda; por ello, se requiere de un gran ancho de banda para transmitir información con buena calidad de audio.

En la recepción con AM los desvanecimientos de la señal no provocan demasiado ruido, por lo que se emplea en comunicaciones móviles, por ejemplo, entre un avión y la torre de control. Por otra parte, la modulación en amplitud tiene el inconveniente de ser vulnerable a las interferencias.

2.1.2 Frecuencia Modulada (FM)

En 1933 Armstrong inventó otro tipo de emisión de señales de radio, la frecuencia modulada. En este sistema la frecuencia emitida por el oscilador se cambia de acuerdo con el valor de la amplitud de la onda sonora que se desea transmitir. Mientras más intensa sea la onda acústica, mayor será el valor de la frecuencia de la onda emitida.

La frecuencia modulada tiene varias ventajas sobre la AM, la más importante es que casi no le afectan las interferencias y descargas estáticas. La FM se propaga por ondas directas como consecuencia de su ubicación en la banda de frecuencia de entre los 88 y 108 MHz.

La transmisión por modulación de frecuencia consiste en modular la portadora de forma que la señal de entrada o AF le haga aumentar o disminuir su frecuencia. Como en la AM, la portadora se está irradiando continuamente por la antena, en

los silencios la portadora saldrá con la frecuencia del oscilador, cuando el dispositivo de sonido capte una señal, ésta modulará la portadora haciéndole variar su frecuencia (figura 2.3).

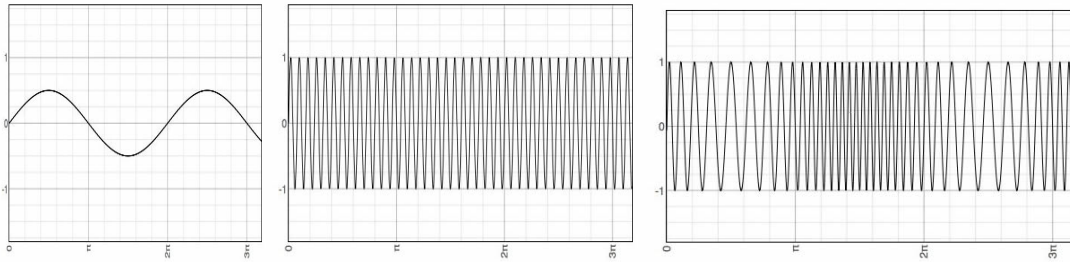


Figura 2.3 Señal moduladora, señal portadora y señal modulada

Es así como, la modulación en frecuencia permite variar la frecuencia de la portadora proporcionalmente a la frecuencia de la onda moduladora, permaneciendo constante su amplitud.

Al contrario de la AM, la FM crea un conjunto de bandas laterales cuya extensión depende de la amplitud de la onda moduladora. Por ello, el ancho de banda de un canal de FM es mayor. Desde un punto de vista práctico, se puede saber hasta donde llegan las componentes importantes, la regla de Carson dice que el ancho de banda de FM es el doble del de la señal moduladora.

La característica principal de la FM es una mayor calidad de reproducción como resultado de su casi inmunidad hacia las interferencias eléctricas. En consecuencia, es un sistema adecuado para la emisión de programas de música de alta fidelidad.

La propagación de FM en la banda de VHF (30 - 300 MHz) se realiza por medio de ondas directas, que se caracterizan por su direccionalidad y su limitada cobertura. Esto provoca que las señales de FM puedan ser fácilmente absorbidas por los obstáculos que encuentran en su trayectoria y que solo se emplee, principalmente, como servicio de radio local, ya que para incrementar su cobertura se necesitarían repetidores, lo que equivale a una mayor inversión.

Una señal modulada en FM puede ser usada para transportar una señal estereofónica, esto se logra mediante una multiplexación de los canales izquierdo y derecho de la señal estéreo antes del proceso de modulación. En el receptor se lleva a cabo la desmultiplexación después de la desmodulación de la señal FM.

2.2 Sistemas de radiodifusión digital

La radio es uno de los primeros medios de comunicación modernos que ha experimentado diversos cambios al adoptar nuevas tecnologías, desde la transmisión por onda corta, AM, FM, hasta las transmisiones por Internet y ahora la radio digital en su fase de experimentación.

La migración de la radiodifusión analógica a la digital contribuirá a expandir las posibilidades de innovación y prestara un mayor número de servicios. Su flexibilidad permitirá la recepción móvil de vídeo, audio y datos, y permitirá que las aplicaciones, los servicios y la información estén accesibles y puedan utilizarse en cualquier parte y en cualquier momento.

La radiodifusión digital sonora ofrece muchas ventajas en relación con el sistema analógico, entre ellas podemos mencionar que permite:

- Servicios ampliados.
- Audio de mejor calidad.
- Mayor velocidad de transmisión de datos.
- Mayor eficiencia del espectro, lo que significa un mayor número de canales de transmisión.

Sin embargo, es importante tomar en cuenta la importancia de determinar una forma de coexistencia de la radiodifusión digital y analógica en el espectro de radiofrecuencia durante el periodo de transición, sin que se cause interferencia.

Los estándares para la radio digital pueden dividirse en dos grandes grupos según la plataforma de transmisión: Radio Digital Terrestre y Radio Digital Satelital. A continuación se realizará una breve descripción de los sistemas de radiodifusión digital más representativos.

2.2.1 Eureka 147

La ETSI (Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicación) adoptó en 1995, en la norma ETS 300401, al sistema DAB (Digital Audio Broadcasting) patrocinado por el proyecto Eureka 147 como estándar europeo, DAB como se conoce comúnmente, es un sistema que proporciona recepción libre de interferencias, alta calidad de audio y servicios de valor agregado, incluso en receptores en movimiento.

El desarrollo del DAB comenzó desde mediados de los años ochenta por un consorcio europeo integrado por institutos de investigación, operadores y compañías privadas de Francia, Inglaterra y Alemania, quienes han intervenido en su desarrollo; su funcionamiento se inició en el Reino Unido y en Suecia en 1995 y más tarde en Alemania y otros países europeos.

El propósito fundamental de Eureka 147 es crear un estándar, para la radiodifusión digital, con calidad de audio de un CD en un entorno de propagación donde las interferencias por multitrayectoria puedan ser suprimidas. DAB, es por tanto, una tecnología en desarrollo y un sistema bastante robusto diseñado para receptores portátiles y de uso doméstico; para la difusión terrestre, de cable y por satélite, empleando diferentes modos, mismos que el receptor detectará automáticamente.

En DAB, la señal se comprime eliminando la información no audible, consiguiendo con ello, reducir siete veces la cantidad de información a transmitir. Es decir, se

ignoran los sonidos que no pueden ser captados por el oído humano y que no son necesarios para una buena emisión.

Esta codificación y compresión se realiza con el método MUSICAM (Masking Universal Sub-band Integrated Coding and Multiplexing). Una señal DAB es capaz de transportar aproximadamente 1.5 Mbps de información, lo que por ejemplo permite transportar 6 programas estéreo, con una calidad similar a la de un CD, de 192 kbps cada uno; por lo que se pueden multiplexar varias señales comprimidas con su correspondiente protección.

DAB también tiene la capacidad de transmitir información de servicio adicional, como puede ser el estado del tráfico, información meteorológica, avisos de emergencias, sistema de posicionamiento global, títulos musicales, autor, imágenes, textos, etc. Todos estos datos se reciben a través de una pantalla incorporada al receptor.

La información se configura en paquetes o bloques (DAB ensemble) y su difusión se realiza en varios canales estéreo y de servicios múltiples, con un ancho de banda inferior a 1.5 Mhz que se puede dividir en varias portadoras de señal (la FM tiene sólo una).

La salida del multiplexor se llama ETI (Ensemble Transport Interface), esta es un interfaz de 2 Mbps. La figura 2.4 muestra el proceso de generación de la señal DAB.

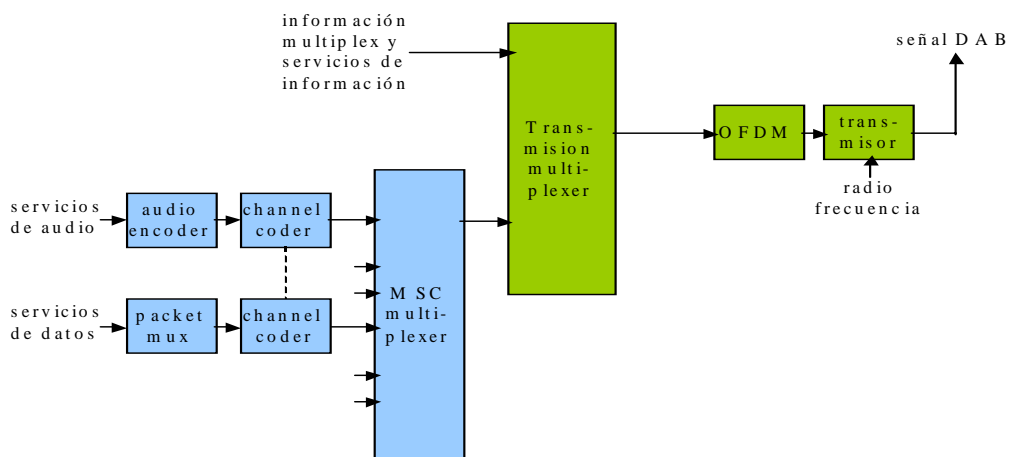


Figura 2.4 Generación de la señal DAB

En un sistema de radiodifusión analógico de audio la propagación por multitrayectoria provoca que la señal presente diversas alteraciones en el receptor, debidas por ejemplo a las diferencias de retardos que producen interferencias entre símbolos transmitidos sucesivamente, además en los receptores en movimiento se producen cambios de frecuencia y fase, conocidos como efecto Doppler.

En el formato desarrollado por Eureka 147 se emplea la modulación COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex), para compensar los problemas

de la propagación multitrayecto que perturban la recepción de la señal FM, cuyo principio se basa en que los máximos de cada portadora se hacen coincidir con los ceros de las otras .

Es así como se superan los efectos que se producen en los receptores estacionarios, portátiles y móviles, debidos a las reflexiones en edificios, montañas, etc., y se protege la información frente a interferencias y perturbaciones.

En la trama ETI se distribuyen 1536 portadoras en modo 1 y cada una de ellas está modulada en QPSK a baja velocidad. Las portadoras están colocadas de forma que no influyan entre ellas, esto da como resultado que el periodo de cada símbolo que se obtiene sea superior a cualquier retardo de la señal; también se agrega un intervalo de guarda para eliminar interferencias entre símbolos adyacentes.

Es así como el receptor encuentra una señal libre de interferencias y como la información se distribuye entre varias portadoras, si alguna de ellas se destruyera, la información perdida se podría recuperar por medio de la información recibida con la ayuda de los métodos de corrección de errores; esto se debe al desvanecimiento selectivo de frecuencia, ya que en métodos de portadora única toda la información se perdería.

Otra ventaja de la modulación COFDM es que pueden transmitirse varios programas en redes de una sola frecuencia, gracias a que el máximo de retardo de la señal resultante es más corto que el intervalo de guarda. Es decir, en este estándar pueden emitirse varios programas y servicios de datos de distintos transmisores, mediante un multiplexado que conforma un bloque para ser emitidos juntos en una misma frecuencia, obteniéndose la misma área geográfica de servicio para todos ellos; en la recepción un múltiplex selecciona la información que se desea recibir. Con esto, se pueden establecer redes de frecuencia única para cubrir un área geográfica determinada, empleando diferentes transmisiones en el mismo canal y utilizando pequeños transmisores para cubrir las zonas de sombra

El estándar Eureka 147 trabaja normalmente en sus transmisiones en la banda L (1452 – 1492 MHz) y en el rango de frecuencias de 30 MHz a 3000 MHz (VHF y UHF), aunque no en todos los países y tiene una cobertura que puede ser local, regional nacional y supranacional.

Por lo que, una vez sintonizada una emisora en el receptor, no es necesario cambiarla si se desplaza de una zona a otra, ya que se emplea una frecuencia única para las cadenas de difusión que usan la misma frecuencia independientemente de donde se encuentre el receptor. Si en algún momento el receptor abandona el área de cobertura, el aparato se desconecta o puede sintonizar la misma emisora en FM si está disponible.

Los servicios pueden estructurarse y configurarse dinámicamente, es decir, una emisora puede emitir usando poca velocidad de transferencia a determinadas horas del día que ofrece diálogos mientras a otras horas podría emitir audio en

estéreo requiriendo mayor flujo de datos. El sistema puede acomodar velocidades de transmisión entre 8 y 380 kbps incluyendo la protección adecuada.

Dado que la señal modulada en COFDM esta compuesta por un gran número de portadoras espaciadas por intervalos de guarda y moduladas en QPSK o QAM. La relación entre la potencia pico y la potencia media de la señal está entre 8 a 10 dB. El amplificador del transmisor debe ser capaz de transmitir una potencia pico con extrema linealidad, si no fuera así aparecerán productos de intermodulación dentro y fuera de la señal DAB, esto degradaría la relación señal a ruido y fuera provocaría interferencias con otros servicios.

Para los servicios multimedia se ha tomado como referencia la norma EN 301 234 del Multimedia Object Transfer Protocol (MOT). Este sistema permite la emisión de datos generales (MIME/http), imágenes (JPG, GIF, JFIF y BMP), texto (txt, html), multimedia (MPEG o Java) así como numerosos archivos generales.

En la norma ETS 300 401 se definen tres mecanismos para realizar la transmisión de datos:

- **PAD.** Datos asociados al programa que se extraen de la trama Musicam en el decodificador.
- **DSL.** Se utiliza para la información anexa al audio, se encuentra en formato ASCCI.
- **NPAD.** Datos no asociados al programa y pueden enviarse como un paquete de información independiente.

La eficiencia que este sistema presenta en la utilización del espectro y la potencia se debe a que utiliza un único múltiplex para una Red nacional, territorial o local, con transmisores de baja potencia. Al necesitar menos potencia, hay menos campos electromagnéticos en los alrededores de las antenas, además de que se pueden reutilizar las antenas actuales sin ser necesario poner más antenas

Dentro del consorcio Eureka 147 hay empresas e institutos de investigación de países del primer mundo, principalmente de empresas japonesas y alemanas. El sistema Eureka 147 se encuentra operando en países europeos y además se han realizado pruebas experimentales en otros países de Europa, Asia y América y ha sido recomendado por el Comité Técnico de la Unión de Radiodifusión y la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) en los años 1993 y 1994 respectivamente. La comercialización de los receptores para este estándar se realiza desde 1999 y existen modelos para el hogar, coche o computadora personal.

2.2.2 HD Radio

La organización normalizadora NRSC (National Radio Systems Comité) patrocinada por la National Association of Broadcasters y la Consumer Electronics Association, adopta a HD Radio en la norma denominada NRSC-5. Estándar también conocido como IBOC (In-Band On-Channel) fue desarrollado por la iBiquity Digital Corporation y propone para la radiodifusión digital, la reutilización de las bandas de AM y FM actualmente en uso analógico, lo que evitaría una

migración a otra banda de frecuencias, además permitiría que las transmisiones se hagan de manera simultánea, es decir en forma analógica y digital, por lo que se ha denominado transmisión híbrida.

La tecnología HD Radio fue aprobada por la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) en octubre de 2002 como sistema digital de los Estados Unidos. La implementación en FM se encuentra en la Recomendación UIT-R BS.1114 y la implementación en AM en la Recomendación UIT-R BS. 1514. Sin embargo, algunos aspectos técnicos quedan aún pendientes, especialmente en la compresión del audio. Para que la transmisión de alta calidad sea posible, se ha propuesto un ancho de 30 kHz para la banda de AM y mantener los 400 kHz para FM.

HD Radio funciona tecnológicamente de manera muy similar a la transmisión de radio analógica, sin embargo, permite a los radiodifusores transmitir programas tanto en el formato analógico como en el digital, junto a una señal para datos de texto. El sistema inserta portadoras digitales en cualquiera de los dos lados de la señal analógica y emplea técnicas de codificación que evitan la interferencia entre las señales analógicas y digitales.

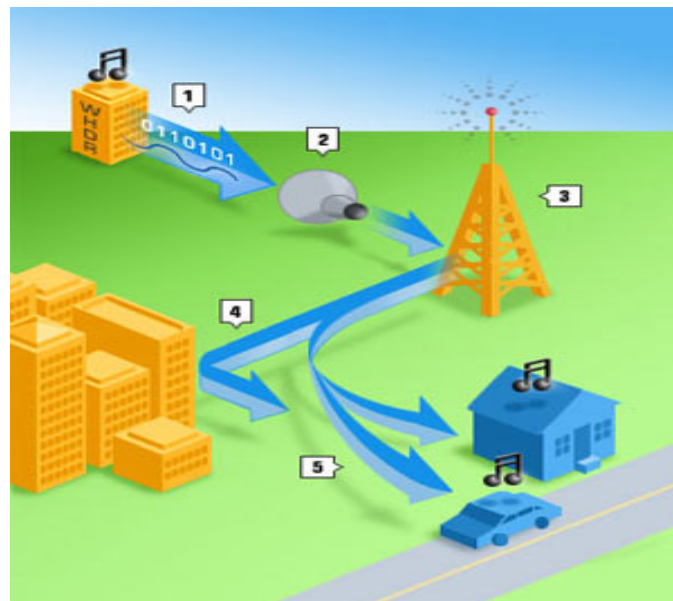


Figura 2.5 Funcionamiento de HD Radio

La figura 2.5 describe el funcionamiento del sistema HD Radio, donde:

1. La estación de radio envía tres señales, analógica, digital y una señal para los datos de texto.
2. La señal digital es comprimida antes de transmitirse.
3. La señal resultante se transmite desde el transmisor digital de la estación de radio.
4. La interferencia por trayectoria múltiple, debida a la reflexión de la señal en las edificaciones, es ignorada por la radio digital, que es capaz de descartar la interferencia e identificar la señal verdadera.
5. El receptor de radio recibe la señal y, dependiendo del equipo que se disponga según su tecnología, se reciben los datos digitales o los datos analógicos.

analógicos. Esta cualidad, es una de las ventajas que ofrece HD Radio, ya que el radiodifusor no perdería su audiencia histórica y el radioescucha no se vería forzado en adquirir los receptores nuevos de manera inmediata.

HD radio permite la multidifusión por medio de la cual el radiodifusor transmite dos o más programas simultáneamente por una sola frecuencia FM, es decir, las estaciones de radio pueden subdividir la porción digital de su señal, esto significa que los usuarios pueden elegir, por ejemplo, entre un partido deportivo o música. Ello ofrece un gran potencial para que las estaciones ofrezcan más programación especial y posiblemente nuevos formatos sin necesidad de atribuciones adicionales del espectro, que en definitiva brinda al radioescucha una mayor variedad de formatos para elegir.

Actualizar la radio con IBOC no es muy costoso para los radioescuchas, ya que pueden elegir o no de participar en la actualización del sistema digital. Si se elige no actualizar los receptores, aún se podría escuchar radio AM y FM en las radios analógicas existentes así como en los nuevos receptores de HD Radio, ya que se emplea la infraestructura y espectro existentes, preservando al mismo tiempo el servicio analógico existente durante el tiempo que sea necesario, desde luego sin utilizar los canales de multidifusión exclusivamente digitales.

Los beneficios que presenta HD radio son:

1. Radio FM con calidad de audio parecida a la de un CD, ya que la tecnología digital permite transmitir más información en la misma onda radioeléctrica.
2. Radio AM con calidad de FM estéreo. La radio AM usa secciones más pequeñas de ancho de banda que la FM, pero existe suficiente espacio para darle a las estaciones de AM la claridad equivalente a la actual radio estéreo FM análoga.
3. No más estática, chasquidos, crujidos o desvanecimientos en la señal. La señal digital es menos vulnerable a los problemas de recepción. Los procesadores digitales del sintonizador de radio eliminan la estática, los chasquidos, los crujidos o desvanecimientos en la señal causados por interferencia, la distorsión por trayectoria múltiple, causada por la señal de radio que se refleja de los edificios y otras obstrucciones, se elimina completamente.
4. Si se perdiera la señal digital por alguna razón, la tecnología de HD Radio se cambia al modo analógico, en forma similar a cómo las radios actuales cambian de estéreo a modo mono cuando reciben una señal débil. La radio sacrifica detalles en un esfuerzo por incrementar la recepción.
5. Transmisión de datos adicionales. La habilidad de la estación radial para transmitir datos adicionales junto con la señal de música, generalmente en formato de texto en la pantalla del receptor, se presentan datos como información sobre el artista, el título de la canción, cartas de llamado a la estación e información publicitaria, cotizaciones de la bolsa, informes en tiempo real sobre el tránsito, información local y regional, así como alertas meteorológicas.

Otras características que resultan de este sistema son: el sonido ambiente, la tecnología de almacenamiento y reproducción, que permitirá al usuario escuchar

una canción que acaban de oír o grabar mediante un programa para escucharlo después; también se incluirán funciones de pedido, que permitirá a los radioescuchas tener acceso inmediato a noticias e información sin esperar un determinado programa; y poder realizar compras instantáneas, ello convertirá a la radio en un dispositivo interactivo para el comercio electrónico.

Por el contrario, las desventajas que presenta este sistema son por ejemplo que las estaciones de radio deberían pagar para convertirse a la banda ancha digital, es decir, el pago por los derechos de autor que se debe hacer a la Corporación iBiquity que entrega las licencias a estaciones de radio para que la usen, apoyándolos en el proceso de conversión; además, la adopción de esta tecnología podría causar una alta inversión y una baja demanda. Así pues se sumarían al costo de un excitador digital, las inversiones adicionales que se deberían hacer, como por ejemplo para digitalizar compatiblemente los estudios de audio y los enlaces, y la inversión en el transmisor, que deberá presentar cualidades de linealidad si se desea reutilizar el disponible o en su defecto deberá ser reemplazado con otro.

2.2.3 Digital Radio Mondiale (DRM)

El consorcio DRM desarrollo este sistema con el objetivo de establecer un estándar digital para la radiodifusión en las bandas de AM, onda larga, onda media y onda corta. Inicialmente operaba a frecuencias por debajo de los 30 MHz, actualmente se esta ampliando hasta los 120 MHz. Por lo que reutilizar las actuales bandas de frecuencias destinadas hoy en día a la AM permitirá un empleo más eficiente del espectro. Debe considerarse también que DRM es un sistema universal, dado que no ha sido elaborado por alguna industria en particular.

Sus especificaciones han sido normalizadas por varias organizaciones especializadas, fue aprobado por la UIT en el 2003 y el 16 de junio de ese mismo año se iniciaron las primeras emisiones regulares de DRM, sus especificaciones se encuentran en los estándares: BS.1514-1 (10/02) UIT-R, "Sistema para la radiodifusión digital terrena en las bandas por debajo de 30 MHz" y en BS.1615 (06/03) ITU-R, "Parámetros de planificación para sistemas de radiodifusión digital terrenal por debajo de 30 MHz".

Por su parte la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) desde 2003 describe a DRM en su estándar IEC 62272-1 (01/03), DRM Especificación del sistema, y el Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicación (ETSI) en septiembre de 2001 lo especifica en la norma ES 201 980 v2.1.1 (2003-12). Estas normas son idénticas en cuanto a su contenido. La norma de ETSI es aplicable a Europa mientras que la norma de IEC es aplicable en el mundo entero.

Este sistema ofrece una calidad de audio cercana a la de FM, funciona para receptores estáticos y portátiles, además, puede distribuir datos y texto simultáneamente. Como cualquier otro sistema de radiodifusión digital, DRM comprende distintas etapas de transmisión:

- Codificación de la fuente, etapa donde se realiza la conversión de la señal de audio analógica a digital, esto se logra normalmente con una reducción de la velocidad binaria, y la multiplexación del audio codificado con otras señales de datos que conforman la señal que se va a transmitir.
- Codificación del canal, etapa que permite incrementar la robustez de los datos multiplexados y adaptarlos al medio de transmisión.
- Los datos codificados se convierten en una señal de radiofrecuencia para su transmisión.

Debido a que en AM el espectro utilizable es angosto (9 o 10 kHz), el consorcio DRM estableció la norma de compresión MPEG-4 como una codificación de audio eficaz que permite conseguir una calidad sonora muy buena a una baja velocidad binaria para uso de voz y música. Las tres opciones de codificación de la fuente que el sistema DRM ofrece son:

- **MPEG-4 AAC (Advanced Audio Coding):** Brinda la mejor calidad, ya que permite hasta 72 kbps para radiodifusión estéreo o dos canales de 36 kbps para radiodifusión en mono; con protección frente a errores y destinado a la transmisión de voz y música.
- **MPEG-4 CELP (Code Excited Linear Prediction):** Otorga una muy buena calidad para transmitir voz, ya que permite entre 4 y 20 kbps, para transmitir sólo voz o para radiodifusión en mono, se emplea cuando se requiere baja velocidad binaria o alta protección frente a errores.
- **MPEG-4 HVXC (Harmonic Vector eXcitation Coding):** Puede ser usado para difundir un programa de voz a muy baja velocidad de transmisión, ya que permite entre 2 y 4 kbps, para transmitir sólo voz y para cuando se requiere muy baja velocidad binaria y protección frente a errores.

Para mejorar la calidad de audio percibida puede emplearse un método para la reconstrucción de las bandas altas llamado SBR (Spectral Band Replication) para cualquiera de las opciones anteriores, el cual utiliza de forma dinámica el contenido espectral de la información en la banda baja, para simular en la recepción la información de las bandas de frecuencias elevadas eliminadas previamente en la transmisión.

En el sistema de transmisión DRM se emplea un múltiplex que transporta tres componentes, cada uno con una codificación distinta, que suministran la información necesaria para que el receptor sincronice la señal y determine qué parámetros se han utilizado en la codificación; de esta forma, se pueden decodificar los canales de audio y datos contenidos en el múltiplex. Estos canales, uno principal y dos subsidiarios de información, son:

- **Main Service Channel (MSC):** Canal de Servicio Principal, contiene la información de los servicios contenidos en el múltiplex, puede contener de 1 a 4 servicios, que pueden ser de audio y/o datos; su velocidad binaria depende del ancho de banda del canal y del modo de transmisión.
- **Fast Access Channel (FAC):** Canal de Acceso Rápido, se utiliza para la selección rápida de la información del servicio; contiene información sobre los parámetros del canal, por ejemplo, ancho de banda y tipo de modulación que se emplea en el MSC.

- **Service Description Channel (SDC):** Canal de Descripción de Servicio, contiene la información para decodificar el MSC, por ejemplo, profundidad de entrelazado, número de servicios que contiene, nombre e información de los servicios y el múltiplex.

En la codificación del canal de transmisión, al igual que en el sistema DAB, se emplea una técnica de modulación de portadoras múltiples con COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex), es decir, esta codificación se inserta en un múltiplex por división de frecuencia, con la particularidad de que estas frecuencias están uniformemente espaciadas de forma que son ortogonales, y poder así transmitir los datos del múltiplex MSC, FAC y SDC. La figura 2.6 muestra el esquema del sistema DRM.

COFDM se compone de una combinación de técnicas que combaten los efectos adversos de la propagación que se producen en la bandas de onda corta, media y larga. Este sistema utiliza un gran número de subportadoras, moduladas individualmente y espaciadas en frecuencia de forma uniforme, que transportan la información. En el sistema DRM el número de subportadoras varía desde 88 a 458, dependiendo del modo y del ancho de banda ocupado. En la codificación del canal COFDM se encuentran los siguientes parámetros:

- Modos de transmisión: A, B, C y D.
- 3 tipos de modulación para las subportadoras: 4-QAM y 16-QAM para el SDC, 16-QAM y 64-QAM para el MSC.
- Modulación jerárquica.
- 4 niveles de protección: 0, 1, 2 y 3.
- 2 profundidades de entrelazado.
- Capacidad de transmisión de hasta 72 kbps.
- 6 anchos de banda: 4,5; 5; 9; 10; 18; 20 kHz.
- Protección de error: igual o desigual.

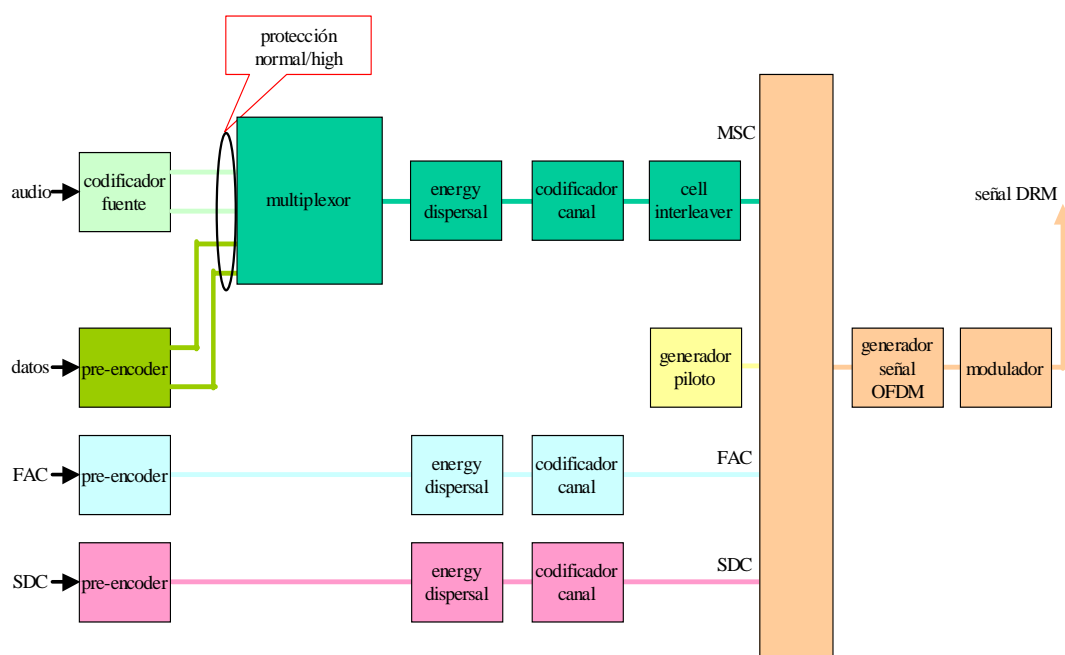


Figura 2.6 Esquema del sistema DRM

De lo anterior, podemos notar que el ancho de banda utilizado por un canal de DRM es modulable entre 4.5, 5, 9 y 10 kHz, el cual puede llegar hasta 18 y 20 kHz para transmisión estéreo de alta calidad. La velocidad de transmisión es muy variable, de acuerdo con el ancho del canal de radiofrecuencias ocupado para DRM y el modo de protección contra errores de los datos emitidos, están comprendidos entre 8 y 36 kbps y podrían alcanzar hasta 72 kbps acoplando varios canales.

Las subportadoras se modulan en amplitud con cuadratura QAM, para la codificación del canal MSC se puede utilizar 64-QAM, que proporciona mayor eficiencia espectral y 16-QAM que proporciona las características más robustas para protección frente a errores; en cada caso se puede utilizar diferente nivel de protección de errores.

En la codificación del canal FAC se utiliza modulación 4-QAM, con una relación de protección fija y en el canal SDC se puede utilizar 16-QAM ó 4-QAM. La modulación 16-QAM proporciona mayor capacidad, mientras que la 4-QAM proporciona una mayor robustez frente a errores, en este último caso se aplica una relación de protección fija.

La técnica de modulación COFDM permite diseñar redes de frecuencia única (SFN) y evitar los problemas de la recepción por multitrayectoria, consiguiendo que la mayor parte de las señales que entran en el receptor se sumen, es decir, que contribuyan positivamente a la recepción. Por ello, los parámetros más relevantes de la codificación del canal son los modos del sistema DRM, la ocupación del espectro y la modulación y niveles de protección.

La SNF permite garantizar, principalmente para la onda corta y la onda media, una sincronización frecuencial y temporal de los datos sobre varios emisores distribuidos sobre un área de cobertura. Ello garantiza también la continuidad de la recepción de un programa de radio por un vehículo que circula sobre un área de cobertura determinada.

La transmisión digitalizada es menos sensible a presentar dificultades en la propagación de las ondas largas, ondas medias y ondas cortas, además permite mejorar notablemente la calidad del audio.

Los problemas de desvanecimiento de la señal (variación periódica de la intensidad) son atenuados considerablemente gracias a la propagación con la transmisión en COFDM.

La propagación en las bandas de onda larga, media y corta se produce mediante:

- **Onda de superficie**, donde el ruido eléctrico es el factor adverso predominante, y
- **Onda ionosférica**, donde los factores adversos son el retardo diferencial y el efecto Doppler. Este tipo de propagación presenta canales variables con distintos grados de complejidad.

En algunos casos, la señal llega al receptor en el área de cobertura con ambos tipos de propagación; en estos casos la señal recibida será la suma de las señales que lleguen por diferentes trayectorias más el ruido presente en el lugar de recepción.

Para superar los factores adversos de la propagación, el sistema DRM cuenta con cuatro modos distintos, a elegir según el tipo de propagación, estos modos son:

- **Modo A**, diseñado para entregar la velocidad de codificación binaria más alta posible con cobertura por onda de superficie.
- **Modo B**, será generalmente la primera opción para los servicios con cobertura por onda ionosférica.
- **Modos C y D**, se emplean cuando las condiciones de propagación son más duras, tales como en trayectos largos, con saltos múltiples o incidencia casi vertical, donde se producen fuertes y varias reflexiones.

En cada uno de ellos es posible elegir el tipo de modulación y la velocidad binaria de codificación. Es necesario seleccionar la combinación óptima de los parámetros, considerando las condiciones de propagación particulares, para que así se permita asegurar la calidad del servicio que permita recibir la señal con la calidad más alta posible y con la cobertura deseada.

Por ejemplo, en todos los modos existe la opción de escoger el tipo de modulación 64-QAM o 16-QAM para el MSC, esta elección influirá en la relación señal a ruido esperada en el área de servicio. Ya que cuando se emplea 64-QAM se obtiene una relación señal a ruido muy baja y si se desea que sea más alta se utiliza una modulación 16-QAM.

Los modos más robustos tienen el efecto de reducir la velocidad binaria disponible y por tanto, la calidad de audio. Para cada modo de transmisión, el ancho de banda ocupado de la señal puede elegirse en función de la banda de frecuencias larga, media y corta, y de la aplicación deseada. Los niveles de protección frente a errores se consiguen mediante una codificación convolucional que introduce redundancia en la señal.

En el modulador se convierte la representación digital de la señal COFDM en una señal analógica que es amplificada y posteriormente transmitida a la antena. Si se utiliza un transmisor no lineal de alta potencia, antes de modular la señal OFDM se divide en dos componentes: amplitud y fase, que se inyectan al modulador. En el caso de que se utilicen transmisores con modulación lineal, la señal compuesta OFDM se aplica directamente a la entrada del modulador.

La introducción de la radio digital sobre las bandas actuales de frecuencias de AM da a los radiodifusores la posibilidad de proponer nuevos servicios y ser más competitivos con la FM. El sistema DRM garantiza a los difusores de radio de estas bandas, una mejora importante en la calidad de la señal de audio recibida y la posibilidad de distribuir programas multimedia y datos adicionales a nivel local, regional, nacional e internacional.

Por ello, la digitalización brinda ventajas numerosas para oyentes y radiodifusores, nacionales e internacionales, ya que hoy en día, la banda de FM de 87,5 - 108

MHz (VHF) está saturada y para muchos radiodifusores sería muy conveniente retomar las bandas de frecuencias menores a los 30 MHz.

La principal ventaja del sistema DRM es que es el único estándar universal y no-propietario que permite una difusión digital de la radio sobre las bandas actuales de frecuencias más bajas a 30 MHz.

2.2.4 Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB) y Digital Multimedia Broadcasting (DMB)

El sistema ISDB o Servicios Integrados de Radiodifusión Digital fue desarrollado por la Asociación de Industrias de Radio y Negociaciones (ARIB) de Japón para proporcionar flexibilidad, expansibilidad y concordancia a los servicios de difusión multimedia usando la red. Fue adoptada en diciembre de 2003 y a diferencia de otros, este sistema cubre la televisión y la radio, fue nombrado de esta forma por su semejanza al ISDN, ya que ambos permiten por medio de la multiplexación que los distintos canales de datos se transmitan juntos.

ISDB brinda distintos servicios, por lo que el sistema tiene que cumplir con una variedad de requisitos que tal vez difieran de un servicio a otro, por ejemplo, se requiere una gran capacidad de transmisión para el servicio de TV digital, mientras que es necesaria una gran confiabilidad para servicios de datos. Por ello, el sistema de transmisión proporciona esquemas de modulación y de protección de errores, que pueden seleccionarse y combinarse de manera flexible, para la integración de los diferentes servicios.

Existen tres estándares de radiodifusión del sistema ISDB con formatos comunes de multiplexado, estos subsistemas son: ISDB-T, ISDB-S e ISDB-C.

Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial (ISDB-T)

La radiodifusión terrestre permite la transmisión de televisión digital, programas de audio y servicios multimedia (video, texto, audio, programas de cómputo) con una recepción estable en receptores móviles, baratos, ligeros y compactos.

ISDB-T emplea un método de modulación llamado Transmisión Segmentada de Banda (BST-OFDM), la cual consiste de un conjunto de bloques de frecuencias básicas comunes llamados segmentos BST.

BST-OFDM permite una transmisión jerárquica empleando, para cada segmento, diferentes esquemas de portadoras de modulación (QPSK, DQPSK, 16-QAM o 64 QAM), tasas de codificación del codificador interno ($1/2$, $2/3$, $3/4$, $5/6$, $7/8$) y esquemas de protección de errores (profundidad del tiempo de entrelazado).

Con la transmisión jerárquica pueden proporcionarse en un canal terrestre hasta tres capas de servicio (tres grupos diferentes de segmentos). También se puede tener recepción parcial de los servicios utilizando un receptor con ancho de banda menor al que tiene un segmento OFDM. En la receptor, puede haber una recepción parcial, esto es un caso especial de la transmisión jerárquica, por

ejemplo, si la transmisión se limita a un solo segmento de OFDM, en lugar de 13, este segmento se puede recibir independientemente de los otros 12.

Una señal de control, llamada Control de Configuración de Multiplexado y Transmisión (TMCC) permite al receptor procesar una variedad de esquemas de modulación, correcciones de errores y transmisión jerárquica. Para enviar la señal TMCC, el formato de la señal de transmisión ISDB incorpora un área fuera de la cadena del paquete para el envío de una señal de sincronización y una señal de control.

Cada segmento tiene un ancho de banda correspondiente a $1/14$ del canal, por ejemplo, para un canal de 6 MHz cada segmento ocupa $6 \text{ MHz} \times (1/14) = 428.6 \text{ kHz}$ del espectro (banda angosta). En un canal terrestre hay trece segmentos espectrales de OFDM activos (banda ancha), es decir, para un canal de TV de 6 MHz el ancho de banda útil es $BW = 6\text{MHz} \times (13/14) = 5.57 \text{ MHz}$, para un canal de 7 MHz es de 6.5 MHz y de 7.43 MHz para un canal de 8 MHz.

La banda ancha de ISDB-T, que consiste de trece segmentos con los cuales es posible transmitir tres programas simultáneos con diferente robustez y modulación, puede proporcionar servicios de HDTV y servicios de multiprogramas, mientras que la banda angosta es adecuada para la transmisión de audio y datos.

En cuanto a la codificación de la fuente, el video y el audio son codificados empleando MPEG-2. La tasa binaria requerida para la transmisión se logra con el codificador interno. Dicha tasa binaria puede cambiarse fácilmente en base a la información del sistema. Sin embargo, la tasa binaria en general no puede ser cambiada libremente debido a las restricciones establecidas por el filtro analógico y al rango de tiempo de captura de símbolos.

Dependiendo del modo de la portadora de modulación, el entrelazador de bits distribuye la cadena de bits sobre diferentes portadoras para evitar desvanecimiento selectivo que pueda provocar errores en el mensaje. El entrelazador de frecuencia y de tiempo genera una permutación entre símbolos para esparcirlos en el tiempo y en la frecuencia sobre tramas de tiempo OFDM y segmentos de frecuencia OFDM. Para el entrelazador de tiempo están disponibles cuatro opciones y puede ser programado hasta 427.5 ms. El entrelazador de frecuencia es fijo para cada modo.

Después del entrelazado de frecuencia, el bloque de adaptación de la trama OFDM introduce señales centrales y genera la trama completa OFDM, luego se introduce el tiempo de guarda dentro de la señal modulada (programada para $1/2$, $1/8$, $1/16$ o $1/32$), dicho intervalo de guarda da una protección a la señal de ISDB contra la interferencia entre símbolos y entre portadoras.

ISDB Integra sistemáticamente varios servicios digitales que incluyen radio móvil (MobaHo), multiprogramas de video des baja definición (LDTV) a alta definición (HDTV), multiprogramas de audio, gráficos, imágenes, texto, datos, etc. Además, incluye servicios interactivos, tales como selección de programa al aire, almacenamiento de datos, información del clima, servicio de noticias y captura de imágenes. La figura 2.7 muestra al sistema general ISDB.

Brasil que actualmente usa un sistema de televisión analógico que ligeramente difiere de cualquier otro país, está considerando ISDB-T para su formato de DTV, ningún otro país está considerando ISDB, posiblemente por ser demasiado costoso comparado con otros formatos; sin embargo, Brasil seleccionó a este sistema como el mejor en radiodifusión digital de entre ATSC, DVB-T e ISDB-T, ya que esta considerado como el más flexible y eficaz de todos, para cubrir bien las necesidades de movilidad y portabilidad.

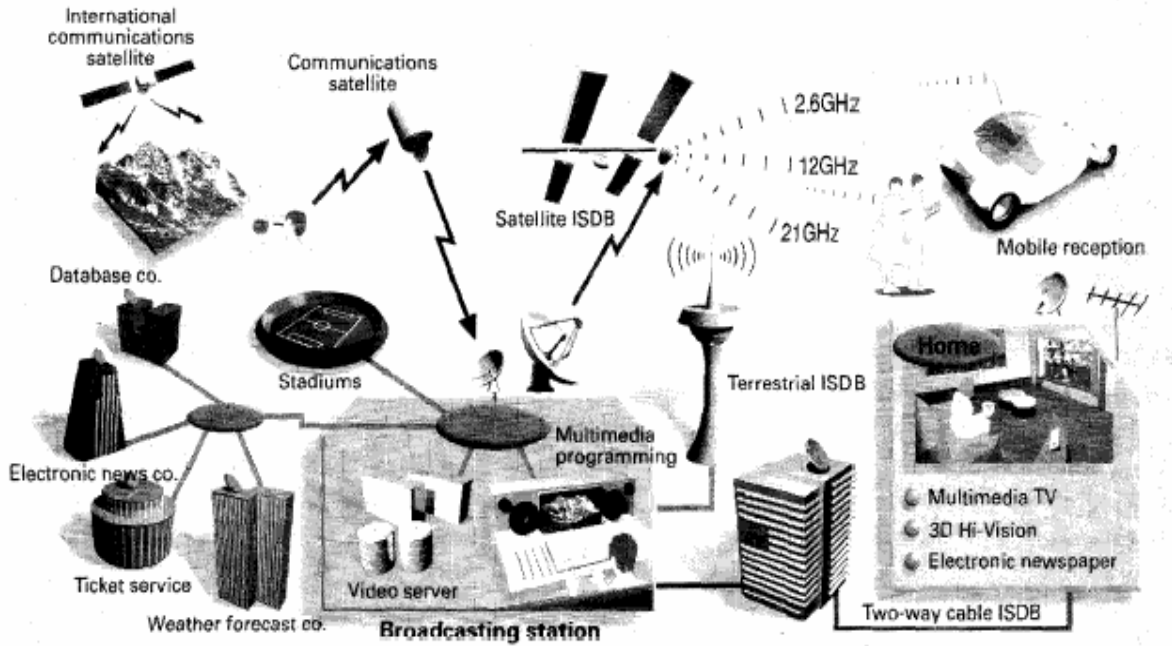


Figura 2.7 Sistema general ISDB

Integrated Services Digital Broadcasting Satellite (ISDB-S) e Integrated Services Digital Broadcasting Cable (ISDB-C)

La transmisión de la señal para los canales satelitales y de cable se realiza de manera similar a la transmisión terrestre, pero con modulación diferente. La transmisión satelital utiliza modulación 8 PSK, mientras que la transmisión por cable utiliza modulación 64 QAM. La figura 2.8 muestra un esquema de los tipos de modulación en ISDB.

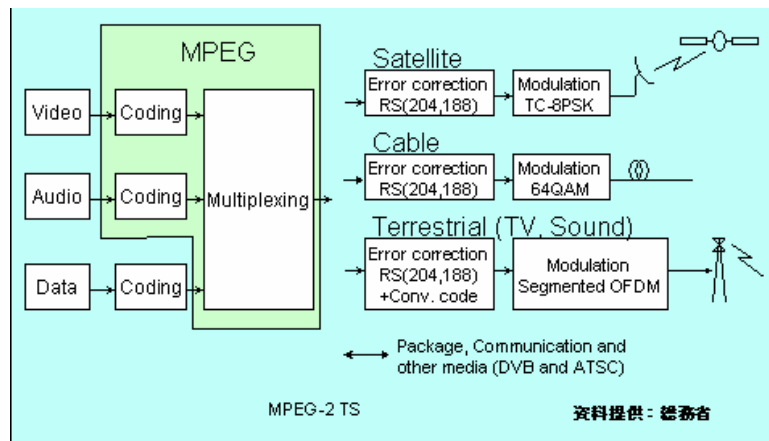


Figura 2.8 Tipos de modulación de los canales de ISDB

Para receptores portátiles y móviles es preferible tener una antena de baja ganancia de recepción debido a que esto simplifica y reduce el costo del receptor. La potencia de transmisión de los canales satelitales esta limitada y además la tasa de transmisión esta restringida.

Las bandas de frecuencia que pueden emplearse para el ISDB-S son las que se utilizan para la radiodifusión del servicio satelital (BSS, por sus siglas en ingles) en WARC-92. Estas incluyen, además de la banda de 1.5 GHz (1452-1492 MHz) para todo el mundo, la banda de 2.6 GHz (2535-2655 MHz) para varios países asiáticos incluyendo Japón y la banda de 12 GHz.

MobaHo, es el nombre de los servicios que utilizan el satélite móvil con las especificaciones de la radiodifusión digital, empezó su servicio el 20 octubre de 2004.

Además de la transmisión de audio y video, ISDB también define las conexiones de datos (difusión de los datos) con Internet como un canal de vuelta sobre varios medios (10Base-T/100Base-T, línea telefónica módem, teléfono móvil, LAN inalámbrica) y con diversos protocolos. Esto se utiliza, por ejemplo, para los interfaces interactivas como la difusión de los datos (ARIB STD B-24) y las guías electrónicas del programa (EPG). Las conexiones de comunicaciones a B-ISDN ATM se logran a través de AAL; y las conexiones a las redes de computadoras por medio del protocolo TCP/UDP.

Digital Multimedia Broadcasting (DMB)

El sistema Digital Multimedia Broadcasting (DMB) se desarrolló en Corea, siguiendo el modelo europeo del sistema Eureka 147 o DAB. Aunque DMB añade otras herramientas de codificación de audio y de corrección de errores diferentes al DAB, también tiene algunas similitudes con el estándar para televisión móvil DVB-H (Digital Video Broadcasting Handheld).

Corea del Sur empezó en 2005 con el despliegue gradual de las versiones de esta tecnología, primero con S-DMB (satelital) y luego con la versión terrestre, T-DMB, que consistía en 7 canales de televisión, 13 radiocanales y 8 canales para datos. En Europa todavía está en periodo de pruebas, pero se prevé que a corto plazo países como Italia, Francia, Reino Unido o Suiza ya empiecen a desarrollar esta tecnología con fines comerciales.

DMB es la nueva generación de servicios digitales de radio y TV para sistemas de comunicaciones móviles y portátiles; para diferentes tipos de aplicaciones, como por ejemplo teléfonos móviles, PDA's o sistemas de instrumentación para el automóvil. Los usuarios de esta tecnología van a ser capaces de reproducir en sus terminales móviles audio estéreo de alta calidad o video en tiempo real, mientras se mueven a más de 200 km/h.

Para soportar los contenidos multimedia y poder transportarlos, el estándar DMB incorpora varias herramientas de corrección de errores y transporte como los códigos RS (Reed-Solomon), paquetes MPEG2 TS (Transport Stream) y paquetes

MPEG2 PES (Packetized Elementally Stream). Para poder procesar estos contenidos multimedia DMB utiliza los siguientes codificadores, para video MPEG-4 Part 10 (H264), para audio MPEG-4 Part 3 BSAC y para otros datos MPEG-4 Part 1.

DMB utiliza la banda L y la banda III (VHF). El módem utiliza la modulación OFDM-4DPSK con un ancho de banda de 1.526 MHz. El sistema de recepción debe proporcionar al menos una sensibilidad de -96 dBm para garantizar una tasa de error de 10^{-4} , para mantener unas prestaciones aceptables.

DMB brinda una alta calidad en los servicios de video, presenta mayor eficiencia de la utilización frecuencial debido a una asignación totalmente independiente del rango de frecuencias entre los diferentes operadores. Tiene una estructura del receptor más simple y más robusta a desvanecimientos debidos al canal de transmisión; estas características hacen que DMB sea más apropiado para terminales móviles pequeñas.

2.2.5 Radio satelital

A finales de los años 80's, técnicamente era posible emitir en canales de audio vía satelital en Europa, sin embargo no se logró concretar algún servicio, sino hasta la puesta en orbita de los satélites Astra, con estos satélites empresas privadas comenzaron a desarrollar un sistema que permitiera la radiodifusión sonora centrada en los mercados inglés, alemán y holandés.

Con los satélites TV-SAT a 19° Oeste y Kopernikus a 23.5° Este, los alemanes iniciaron el primer proyecto de radio digital vía satélite llamado DSR (Digital Satellite Radio), que comenzó a finales de 1989 y permitía difundir por un transponedor 32 canales monofónicos o 16 estéreo, con 15 kHz de ancho de banda y 32 kHz de muestreo, presentaba 14 bits de resolución a una velocidad de 728 kbps, lo que permitía una calidad de audio superior a la de FM. La emisión de programas continuó, aún después de 1998 cuando el TV-SAT quedó fuera de servicio, con el Kopernikus.

En 1995 Astra activó sus transponedores con subportadoras de baja amplitud digitales, con los que se pretendía dar un servicio de radiodifusión; por lo que se implemento por parte de la sociedad DMX una serie de canales musicales, inicialmente de pago, opción que no logro prosperar y finalizó en julio de 1997; por otra parte, radiodifusoras alemanas incrementaron la presencia de sus canales de radio, opción aún vigente que se conoce con el nombre de ADR (Astra Digital Radio), sin embargo permaneció con las canalizaciones habituales de las subportadoras analógicas. Actualmente Eutelsat y Astra tienen canales de radio de libre acceso con velocidades de flujo variables, donde cada sociedad establece su normativa en función al servicio que se brinda.

En un futuro se prevé en Europa que se utilicen receptores con posibilidad de recibir el codificador MPEG-4 AAC a 96 Kbps empleado en el sistema DRM, que consigue una mejor calidad que con el MPEG-2 a 192 kbps empleado actualmente. Se estudia, también la posibilidad de transmitir mediante 3 satélites de alta orbita elíptica HEO, para dar servicio a las zonas nórdicas Escandinavas,

que darían servicio durante ocho horas diarias y posiblemente, sin repetidores terrestres, parecido al Sirius de EU, pero en la banda de 1452 a 1500 MHz.

Sin embargo, en esta banda también se recibe al Worldspace, cuyo promotor es la compañía luxemburguesa GlobalRadio, en colaboración con Dalet, quien diseñó y desarrolló el sistema estadounidense XM-Radio. El sistema S-DARS (Satellite Digital Audio Radio Service), prevé difundir entre 70 y 140 canales en todos los haces de cobertura. La difusión ofrecerá de 20 a 30 canales de interés intereuropeo en un haz global y cien canales locales en multitud de lenguas, y con servicios particularizados hacia siete zonas diferentes mediante siete haces de cobertura.

2.2.5.1 Digital Audio Radio Satellite (DARS)

A nivel mundial se emplea para la difusión directa de audio por medio de satélites la banda de 1,452 a 1,492 MHz, sin embargo, en los Estados Unidos dicha banda esta dentro de los 1,435 a 1,530 MHz, banda que se emplea para pruebas de telemetría aeronáutica. Por ello, la ITU (International Telecommunications Union) asignó la banda de 2,310 a 2,360 MHz para difusión doméstica en los Estados Unidos, acción que limitaba un servicio uniforme a nivel mundial.

En los estados Unidos la FCC (Federal Communications Commission) asignó en 1992 una banda de frecuencias en la banda "S" de 2,310 a 2,360 MHz, para la difusión de radio digital por satélite a todo el país, para dicho sistema conocido como DARS (Digital Audio Radio Service) la FCC otorgó solo dos licencias de radiodifusión en 1997, estas compañías fueron American Mobile Radio llamado actualmente XM Satellite Radio y Satellite CD Radio, conocida ahora como Sirius Satellite Radio, ambas empresas solo ofrecen el servicio al área continental de EU, es decir, sin considerar Alaska ni Hawai.

El funcionamiento de un sistema DARS (figura 2.9) se realiza mediante una estación de radio que transmite desde tierra al satélite la programación por medio de ráfagas continuas de información, la cual se recibe, amplifica y se retransmite a tierra por los satélites (segmento espacial). Existen repetidores en tierra (segmento terrestre) que se encargan de repetir la señal principalmente en áreas urbanas, donde estas pueden ser bloqueadas por edificios o puentes, finalmente los receptores (segmento del usuario) captan la señal de audio. Existen distintos modelos de receptores, tanto para vehículos como para hogar u oficina y, desde luego los hay portátiles.

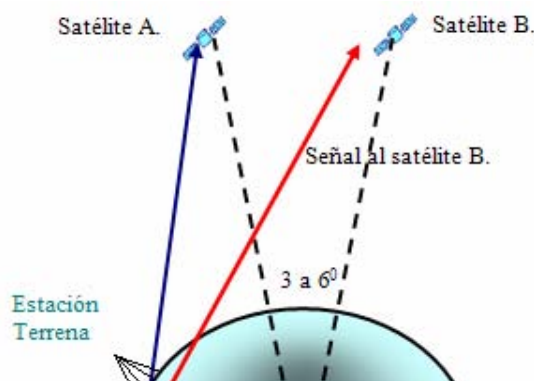


Figura 2.9 Sistema DARS

XM Satellite Radio

El sistema XM Satellite Radio, con sede en Washington, consta de dos satélites llamados Rock & Roll que cubren a los Estados Unidos, ambos están ubicados en una órbita geoestacionaria, el primero de ellos, llamado Rock, fue lanzado el 8 de enero de 2001 y está posicionado a 115° de latitud Oeste, mientras que el segundo, llamado Roll, se lanzó el 8 de mayo del mismo año y se encuentra a 85° de latitud Oeste. Un tercer satélite será lanzado y funcionará como reserva, en caso de que alguno de los otros dos falle.

La carga útil de estos satélites, compuesta de dos transpondedores, la construyó la compañía europea Alcatel, cada transpondedor tiene 16 TWTs (traveling wave tube) activos de 228 W y porta seis más de reserva, generando aproximadamente 3,000 W de señal de radiofrecuencia y emiten entre las frecuencias de 2332,5 a 2345 MHz de la banda S.

XM Satellite Radio ofrece un paquete de 100 canales con audio digital, entre los que se encuentra música, noticias, deportes, comedia y programación infantil; sus receptores están siendo fabricados por Sony, Alpine, Pioneer, Clarion, Blaupunkt, Delphi-Delco, Visteon, Panasonic y Sanyo. XM Satellite Radio ha realizado inversiones estratégicas con compañías automovilísticas, de TV y radio, entre las que se encuentran: General Motors, Honda, Clear Channel Communications, DirecTV y Motient.

Sirius Satellite Radio

La segunda compañía que ofrece sus servicios de radio satelital en Estados Unidos tiene su sede en el Rockefeller Center de Nueva York, dicha compañía ofrece sus servicios desde abril de 2002 y es llamada Sirius Satellite Radio. El sistema de Sirius está compuesto por tres satélites en una misma órbita elíptica inclinada, lo que permite cubrir en todo momento el área continental de EU con al menos un satélite, cada satélite permanece cerca de 16 horas al día sobre los Estados Unidos; se prevé que sea lanzado un cuarto satélite que servirá de reserva para sustituir a cualquiera de los otros tres en caso de falla.

La compañía estadounidense Space Systems/Loral, fue la encargada de la construcción de los satélites de la constelación Sirius y la frecuencia en la que operan es de los 2320 MHz a los 2332,5 MHz. La innovación del sistema Sirius Satellite Radio es que presenta una modulación bajo el sistema S>PLEX Statistical Multiplexing, que brinda el ancho de banda a los canales que lo necesitan, de forma dinámica.

Sirius difunde 50 canales de música sin comerciales y 50 canales de noticias, deportes, entretenimiento y conciertos en vivo, en la elaboración de su programación cuenta con el apoyo de empresas como: CNBC, National Public

Radio, Outdoor Life Networks, Speedvision, USA Network, SCI FI, la BBC de Londres y una cadena hispana.

Sus receptores son fabricados por Kenwood, Panasonic, Clarion y Jensen. Existen modelos para automóvil y también existen equipos para casa. Sin embargo, Sirius presenta la opción de actualizar el actual estéreo del automóvil con un adaptador que se conecta a la entrada de la señal de FM. Por otra parte, también ha establecido importantes acuerdos con empresas fabricantes de autos para que los nuevos modelos vengan equipados de fábrica con un radio digital por satélite, algunas de estas compañías son: Chrysler, BMW, Ford, Jaguar, Mazda, Jeep, Audi, y Volvo

2.2.5.2 World Space

La Fundación WorldSpace es una organización creada en 1997 sin fines de lucro que promueve la educación y la programación informativa a la población de países en desarrollo, esta integrada por organizaciones no gubernamentales, agencias de la ONU, ministerios del gobierno, grupos internacionales, universidades y estaciones de radio.

El primer satélite del sistema WorldSpace, llamado AfriStar, fue puesto en órbita en octubre de 1998, sin embargo, empezó a operar hasta octubre de 1999, posteriormente el satélite llamado AsiaStar fue lanzado al espacio en marzo del 2000. Se prevé contar con un tercer satélite de nombre AmeriStar que cubrirá al continente americano, excepto a Estados Unidos.

En este sistema han colaborado las compañías de Francia Alcatel Space y Matra Marconi Space que se encargaron de la construcción de los satélites y el lanzamiento fue realizado por Arianespace; de Japón, las compañías Hitachi, JVC, Panasonic y Sanyo se encargaron de la fabricación de los receptores; los circuitos integrados empleados en la construcción de los receptores los desarrollaron las compañías ST Microelectronics de Italia y Micronas Intermetall de Alemania.

World Space emplea la banda de frecuencias asignadas para la radiodifusión de audio digital de los 1,469 a los 1,481 MHz de la banda L; cada satélite emite tres haces dirigidos a los países en vías de desarrollo, ubicados en África, Asia y América, cada uno de ellos con más de 40 canales de programación con contenidos de información, educación básica y tópicos relacionados con el desarrollo, en distintos lenguajes, tales como el inglés, francés, alemán, español, árabe, italiano, hindú y urdu, entre otros.

Worldspace es la compañía pionera de radio móvil por satélite a nivel mundial, cada receptor recibe datos desde los 16 kbps hasta los 128 kbps de velocidad, lo que permite emitir hasta 432 canales monofónicos o 216 estéreos o 108 de alta calidad.

Capítulo 3

Arquitectura del estándar DRM

Las frecuencias por debajo de los 30 MHz del espectro radioeléctrico han sido empleadas principalmente para la modulación de amplitud (AM) desde los comienzos de la radio. Desde entonces, se han realizado esfuerzos para mejorar su calidad, sin embargo los métodos de modulación en dicha gama de frecuencias se han dejado intactos.

Con la idea de aprovechar las bandas de frecuencia de la AM, se creó un amplio consorcio internacional el 5 de marzo de 1998 en Guangzhou, China, llamado DRM (Digital Radio Mondiale), cuyo estándar del mismo nombre emerge de las acciones de dicho consorcio y es el tema principal de este Capítulo.

El sistema DRM se concibió para reemplazar de manera progresiva a la radiodifusión analógica de AM actual, esto puede ser posible ya que también se concibió con la idea de permitir que las nuevas transmisiones digitales pudieran coexistir con la radiodifusión de AM. Además, a diferencia de otros sistemas digitales, el sistema DRM permite modificar a los radiodifusores analógicos para convertirlos fácilmente a la radiodifusión digital, lo que reduce de manera significativa la inversión inicial para un radiodifusor.

El sistema DRM tiene la recomendación de la ITU, esto le otorga una base reglamentaria internacional sobre la cual las radiodifusiones pueden apoyarse. El DRM tiene la ventaja también de ser un sistema abierto y no propietario, permitiendo así, a todo fabricante concebir y fabricar equipos sobre una base equitativa, lo que acelera el ritmo de decrecimiento de los precios de los equipos. [1]

Los servicios DRM brindan a los radioescuchas una mejora significativa en la calidad de audio y en la fiabilidad del servicio. Los radiodifusores internacionales podrán proporcionar servicios en las bandas de frecuencia de Onda Corta (OC) y Onda Media (OM) que, por primera vez, serán comparables a los servicios de la FM local, mientras que los radiodifusores nacionales podrán beneficiarse de la mejora de la calidad de audio y de la capacidad de proveer servicios de datos simultáneamente, empleando las bandas de Ondas Larga (OL) y Onda Media (OM).

3.1 Características generales del sistema

El estándar DRM describe los cambios y modificaciones mínimas necesarias a efectuar en los transmisores de AM de Onda Larga (LF), Onda Media (MF) y Onda Corta (HF) para poder cubrir un servicio de radiodifusión con el nuevo sistema de modulación OFDM conservando en lo posible la ocupación espectral de los sistemas de AM. [2]

Los anchos de banda de los canales de AM para HF son de 10 kHz, los de MF son de 9 kHz en Europa y 10 kHz en EU. DRM está diseñado para estos anchos de banda y para múltiplos de los mismos, como por ejemplo de 18 kHz o 20 kHz, para soportar una mejor calidad o realizar transmisiones estéreo.

Cuando se trabaja en la banda de HF en el receptor suelen presentarse, además de la señal ionosférica principal, una o más reflexiones conteniendo la misma información pero que llegan al receptor con un cierto retardo respecto de la principal. Este hecho es habitual e inherente al medio que constituye al canal de comunicación en esta gama de frecuencias y se conoce como multitrayecto. [5]

En los sistemas de transmisión de HF que utilizan AM (portadora única), en presencia de multitrayecto y bajo determinadas condiciones, se produce un desvanecimiento intenso como consecuencia de la diferencia de fase destructiva debida al retardo entre la onda principal y la secundaria. Esto se resuelve en el DRM con el método de modulación COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex), que combina la modulación digital con el multiplexado.

La figura 3.1 representa el flujo general de los diferentes tipos de información (audio, datos, etc.) dentro del sistema DRM. El esquema del receptor estaría representado de forma inversa a este esquema.

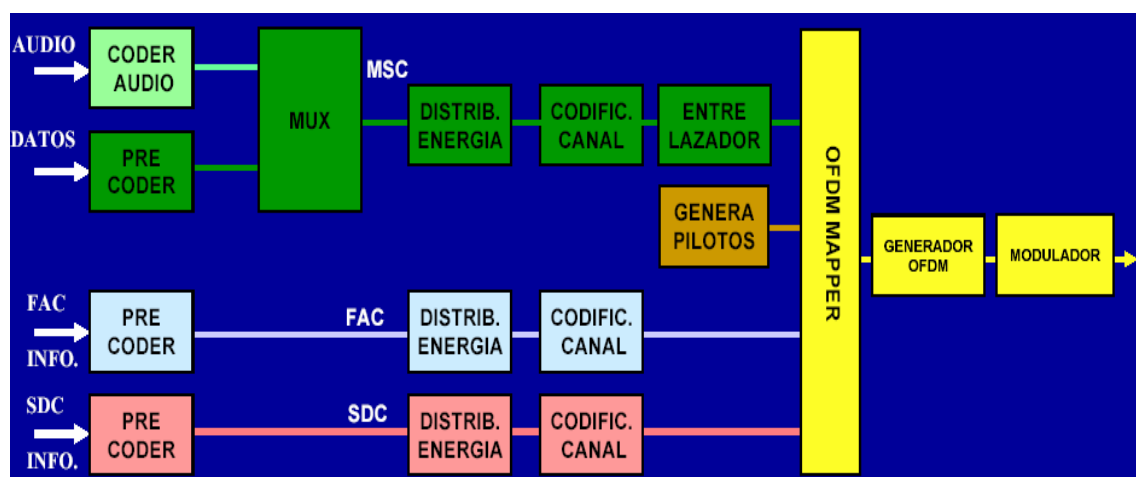


Figura 3.1 Esquema general del sistema DRM

DRM es capaz de ofrecer hasta cuatro servicios de audio y/o datos. Para adaptar el sistema a la capacidad de transmisión disponible y al contenido del programa (música o voz) se dispone de diversos tipos de codificación de la fuente.

En DRM existen dos tipos de información:

- *Audio y Datos.* Esta información se codificará y, posteriormente, se combinará en el multiplexador del Canal de Servicio Principal y forman al Canal Principal de Servicio (MSC, Master Service Channel);
- *Información ajena al MSC.* Esta información forma al Canal de Acceso Rápido (FAC, Fast Access Channel) y al Canal de Descripción del Servicio (SDC, Service Description Channel). El objetivo de estos canales es la identificación y selección de parámetros para la transmisión y asegurar que la decodificación de los parámetros es apropiada en el receptor. [1]

En el audio se emplean algoritmos de codificación y compresión de audio para conseguir la mejor calidad posible, ya que la capacidad de transmisión en bits por segundo esta muy limitada. La robustez frente a errores implica la utilización de diferentes tipos de codificadores y niveles de protección.

En el transmisor la señal de audio analógica se convierte a digital. La tasa binaria que surge de este proceso suele ser excesiva para los anchos de banda tan reducidos del DRM (9 o 10 kHz). Por ello, es necesario reducir la velocidad binaria, esto se consigue con la denominada codificación de la fuente. [5]

El codificador de la fuente de audio y los pre-codificadores de datos permiten adaptar los flujos (streams) de entrada en un formato digital apropiado. La salida de estos codificadores puede ser de dos formas, cada una de ellas estará preparada según el nivel de protección elegido (alto o bajo). [2]

Los datos codificados de la fuente se multiplexan con los demás datos que forman la carga útil (payload). Este multiplexado sufre entonces una codificación de canal para mejorar su robustez, esto a costa de un aumento de la tasa binaria. La codificación es del tipo multinivel MLC (Multi-Level Coding) con dos posibles niveles de protección: UEP (Unequal Error Protection) y modulación jerárquica. [5]

El distribuidor de energía proporciona bits aleatoriamente para reducir la posibilidad de secuencias no deseables de "0" o "1" en la señal transmitida. [1]

El codificador de canal añade bits redundantes a los datos de manera definida, esto brinda un medio para la protección de errores, la corrección, y para definir el mapeo, de la información codificada digitalmente, en células QAM. Estas son las portadoras básicas de la información proporcionada al transmisor para la modulación. [1]

El entrelazador celular reorganiza la secuencia temporal de la señal de bits de forma sistemática, con ello, la reconstrucción final de la señal en el receptor se afecta lo menos posible por desvanecimiento rápido, que sucedería si los datos de audio de voz fueran transmitidos continuamente en su orden original. [1]

El generador de pilotos inyecta información que permite al receptor obtener información del canal de compensación, permitiendo así una demodulación coherente de la señal. [1]

El convertidor de células OFDM toma los diferentes tipos de células y los coloca sobre un cuadro de tiempo-frecuencia. [1]

En COFDM se emplean numerosas subportadoras, donde cada una porta su propia señal senoidal amplitud/fase durante un corto periodo de tiempo. El conjunto de información de estas subportadoras contiene lo que se necesita para la transmisión. En el caso de una señal DRM OFDM que ocupa un canal de 10 kHz esta tendrá desde 88 hasta 226 subportadoras, dependiendo del modo de transmisión. [1]

El modulador convierte la representación digital de la señal COFDM en una señal analógica que se transmitirá vía un transmisor/antena al aire, esencialmente en representaciones de fase/amplitud, modulando a las subportadoras en RF. [1]

3.2 Codificación de la fuente

Los primeros bloques de la figura 3.2 se encargan de la codificación de la fuente, en ellos se realiza el proceso de digitalización del audio. Como ya se mencionó, la capacidad del sistema DRM está limitada por el ancho de banda, por ello, es necesario emplear algún sistema de codificación de fuente que brinde una buena calidad con una tasa binaria relativamente baja. El sistema DRM adoptó técnicas de codificación ya existentes.

- **MPEG-4 AAC (Advanced Audio Coding)**, incluye protección frente a errores y es aplicable para la radiodifusión de audio mono y estéreo;
- **MPEG-4 CELP (Code Excited Linear Prediction)**, con protección frente a errores aplicable únicamente a la radiodifusión en mono, para cuando se requiere una tasa binaria baja o una alta protección frente a errores;
- **MPEG-4 HVXC (Harmonic Vector eXcitation Coding)**, solo se emplea en la codificación de voz (mono) para una muy baja velocidad binaria;
- **SBR (Spectral Band Replication)**, herramienta que realiza la codificación de audio permitiendo que el ancho de banda consiga bajas tasas binarias y puede aplicarse a la codificación AAC, CELP y HVXC;
- **PS (Parametric Stereo)**, herramienta que realiza la codificación de audio para el SBR, permite la codificación estéreo y una baja tasa de bits. [2]

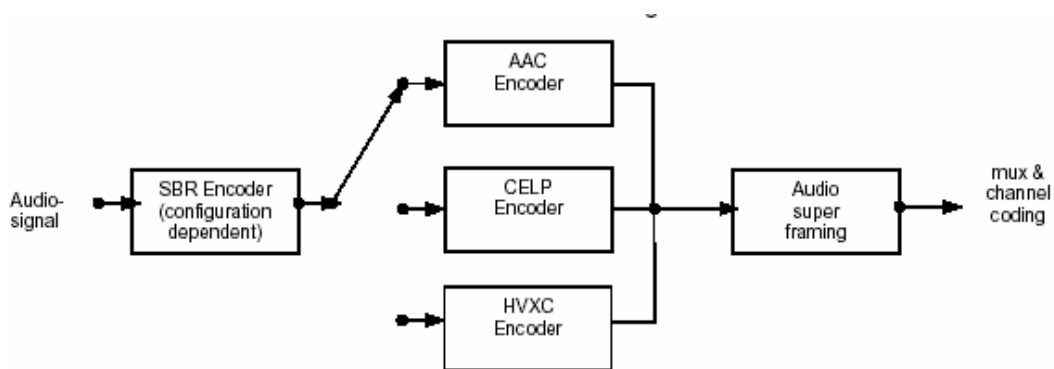


Figura 3.2 Codificación de la fuente en DRM

La tasa binaria utilizable en la codificación de audio va desde los 2 kbps (mínimo en HVXC) hasta aproximadamente los 34 kbps (máximo en AAC con un canal de 9 o 10 kHz); para la transmisión a dos canales (18 o 20 kHz) la capacidad aumenta a un máximo aproximado a los 74 kbps. Los codificadores HVXC y CELP (con o sin SBR) se emplean únicamente para las aplicaciones de voz. La utilización del codificador de audio AAC o AAC + SBR proporciona una excelente calidad para programas de música o voz. [1]. La figura 3.2 muestra las opciones de codificación de audio del sistema DRM, para la transmisión, en el caso de la recepción los bloques estarían invertidos.

3.2.1 Codificador de audio AAC

AAC analiza el espectro de audio a detalle y representa cada parte con la calidad mínima necesaria que satisfaga las exigencias del oído, descartando todo enmascaramiento en la zona de los sonidos más intensos. [5]

Este codificador es el más empleado en DRM. Sus características son:

- *Tasa binaria:* emplea súper tramas de audio de 400 ms, lo que deriva en tasas binarias de 20 kbps.
- *Frecuencias de muestreo:* emplea frecuencias de 12 kHz y 24 kHz.
- *Longitud de la transformación:* esta longitud es de 960, que asegura que las tramas de audio tengan una duración de 80 ms o 40 ms y permite que un número entero de tramas de audio conformen una súper trama de audio de 400 ms.
- *Protección frente a errores:* se emplean las herramientas del MPEG-4 para mejorar la protección frente a errores que afectarían al flujo de bits.
- *Súper Trama de audio:* 5 (12 kHz) o 10 (24 kHz) tramas de audio conforman una súper trama, la cual tiene una duración de 400 ms. Las tramas de audio se codifican en conjunto de una súper trama, dentro de la cual es posible el intercambio de bits. Una súper trama se coloca en una trama lógica, por lo que no se requiere sincronización adicional para la codificación del audio. La recuperación de los límites de la trama y las previsiones para el UEP se cuidan dentro de la súper trama.
- *UEP:* la mejor operación con altos BERs se consigue aplicando UEP (Unequal error protection) al flujo de bits de AAC. Esta protección se realiza en las bloques múltiplex / codificación. [2]

3.2.2 Codificador de voz CELP

CELP ofrece al sistema DRM una codificación de voz de buena calidad con tasas binarias por debajo de la tasa estándar (por ejemplo la operación de canal mono con 8 kbps). Las aplicaciones para este codificador de voz son:

- *Dobles/Triples aplicaciones de voz:* en lugar de un programa de audio de 20 kbps o 24 kbps, el canal puede transportar dos o tres señales de voz de 8 kbps o 10 kbps, permitiendo así, transmisiones simultáneas de voz.
- *Servicios de voz además de un servicio de audio.*
- *Transmisiones simultáneas:* la transmisión simultánea análoga/digital es posible con tasas binarias muy bajas, por ejemplo de 8 kbps.
- *Aplicaciones de voz muy robustas:* por su naturaleza un codificador de voz puede brindar una protección más alta frente a errores del canal. [2]

Las características básicas de la codificación CELP son:

- 8 kHz o 16 kHz de frecuencia de muestreo.
- Tasas binarias de entre 4 kbps y 20 kbps.
- Protección frente a errores.
- Composición de un número entero de tramas CELP para generar una súper trama de audio. [2]

3.2.3 Codificador de voz HVXC

HVXC ofrece al sistema DRM una codificación de voz con una calidad razonable y tasas binarias muy bajas de 2 kbps. Lo que abre la posibilidad a nuevas aplicaciones para el DRM tales como:

- Servicios de voz además de un servicio de audio.
- Aplicación multi-lenguaje.
- Almacenamiento de múltiples programas como noticias, bases de datos, etc; por ejemplo, guardar aproximadamente 4.5 horas de programas de radio en la memoria (física) flash de 4 MByte.
- Modificación de la escala de tiempo para la reproducción/renovación rápida del programa almacenado.
- Transmisión altamente protegida frente a errores con o sin esquema de modulación jerárquica. [2]

Características básicas de la codificación HVXC son:

- Frecuencia de muestreo de 8 kHz.
- Tasas binarias de 2 kbps y 4 kbps para la codificación de tasa fija.
- Modificación de la escala de tiempo.
- Protección frente a errores y una herramienta CRC que mejora la resistencia a errores del canal del flujo de bits.
- Composición de un número entero constante de tramas (20) HVXC para generar una súper trama de audio. [2]

3.2.4 Codificación con SBR

El SBR emplea algoritmos que limitan el ancho de banda del audio y funcionan con bajas frecuencias de muestreo, además también brinda un alto ancho de banda con muy bajas tasas binarias.

El SBR recrea la banda de frecuencias altas de la señal de audio que se perdió en la codificación (corte de frecuencia superior alrededor de los 6 kHz). Esto se logra transmitiendo un poco de la información que se perderá en el flujo de bits de audio (“señal de ayuda SBR” de alrededor de 2 kbps), dicha información se procesara en la señal con ancho de banda completo, antes de la codificación y ayudara a la reconstrucción de las frecuencias altas después de la decodificación del audio/voz.

Existen dos versiones del SBR, cuya única diferencia se encuentra en el diseño del decodificador. El SBR de Alta Calidad emplea un complejo banco de filtros mientras que el SBR de Baja Potencia usa un banco de filtros además de módulos anti-solapamiento. El SBR Baja Potencia en comparación con la versión de Alta Calidad brinda una reducción importante de la complejidad sin comprometer demasiado a la calidad de audio. La unión de AAC + SBR se encuentra definido en audio MPEG-4 (perfil de alta eficiencia de AAC). SBR también se emplea en las configuraciones HVXC + SBR y CELP + SBR. [2]

AAC + SBR

El AAC, y particularmente el AAC con SBR, producen una calidad de audio equivalente a la FM monofónica perceptible para los radioescuchas, utilizando un canal de transmisión de 9 o 10 kHz.

A nivel de concepto, la técnica no es complicada, la “señal de ayuda SBR” de 2 kbps transmitida con la señal AAC, describe la forma del espectro de audio original en los 6 kHz. El decodificador SBR examina la banda pasante restringida de la señal AAC de manera dinámica y, con la “señal de ayuda SBR”, detecta las armonías de frecuencia de audio superiores faltantes. Estas armonías suplementarias se combinan enseguida con las señales de la banda inferior. Al final, el escucha entiende las frecuencias combinadas que se extienden ahora hasta los 20 kHz (máxima frecuencia audible al oído humano), en lugar de la banda pasante AAC de 6 kHz. [1]

3.2.5 Codificación con PS

El codificador PS (Parametric Stereo) esta basado en la trama de trabajo del SBR y se emplea para mejorar el rendimiento de la codificación estéreo con una tasa binaria baja. PS puede emplearse con la configuración AAC + SBR. En la codificación de fuente de la señal de la figura 3.2, la codificación de PS se lleva a cabo dentro de la codificación del bloque del SBR. [2]

La codificación PS dentro de AAC, esta únicamente disponible dentro del sistema DRM. Este sistema también utiliza una técnica de síntesis dentro del decodificador de audio y mejora la señal mono AAC asociándole un ambiente estereofónico convincente. Esta síntesis necesita una “señal de ayuda” adicional de 2 kbps formada en el codificador de audio con la señal estéreo original. Para una señal de audio en estéreo paramétrico AAC + SBR, se necesitan 4 kbps aproximadamente. Las dos opciones SBR, combinadas con la codificación AAC, proveen una calidad de audio notable con una tasa total únicamente de 20 kbps. [1]

3.3 Multiplexación

El sistema DRM emplea un múltiplex que transporta a las componentes de la señal DRM, que juntas proporcionan la información necesaria al receptor para sincronizar la señal, determinar los parámetros que serán empleados y decodificar los servicios del múltiplex (audio y datos).

Para que este proceso se realice eficientemente en el receptor, los datos transmitidos (súper tramas) se comparten en tres canales principales: el MSC (Main Service Channel), el FAC (Fast Access Channel) y el SDC (Service Description Channel). DRM emplea una técnica conocida como codificación multinivel, lo que significa que los diferentes componentes del múltiplex utilizan una modulación diferente que permite garantizar que las componentes más

delicadas del múltiplex tienen una resistencia superior a la propagación negativa que las componentes menos sensibles. [1]

3.3.1 Canal de Servicio Principal (MSC)

El MSC contiene todos los datos de los servicios del múltiplex DRM. El múltiplex puede contener entre uno y cuatro servicios, y cada uno puede ser de audio o datos. La tasa binaria del MSC depende del ancho de banda del canal y del modo de transmisión DRM. [2]

El MSC transporta a la mayoría de los datos de la señal DRM. Este canal emplea una modulación de 16QAM o 64QAM, o en modo jerárquico, una parte emplea 64QAM y el resto 16QAM. La protección contra errores que pueden aplicarse al MSC son: Equal Error Protection (EEP) y Unequal Error Protection (UEP), es decir, la misma tasa binaria puede aplicarse al MSC por completo o una parte puede utilizar una tasa y el resto otra tasa binaria distinta. El entrelazado de tiempo se aplica al MSC para reducir los efectos del desvanecimiento a corto término y su longitud es idéntica a la del SDC. [1]

Estructura del MSC

El MSC contiene de uno a cuatro flujos. Cada uno está dividido en tramas lógicas de 400 ms de duración. Los flujos de audio contienen audio comprimido y opcionalmente pueden llevar mensajes de texto. Los flujos de datos pueden estar compuestos de hasta cuatro subflujos que consisten en paquetes de datos. Un subflujo transporta paquetes para un servicio. Un servicio de audio contiene un flujo de audio y opcionalmente un flujo de datos o un subflujo de datos. Un servicio de datos contiene un flujo de datos o un subflujo de datos (figura 3.3).



Figura 3.3 Estructura del MSC

Cada trama lógica consta de dos partes, cada una con un nivel de protección distinto. La longitud de cada parte es asignada independientemente. El UEP de un flujo está dado al poner diferentes niveles de protección a cada parte. Las tramas lógicas de todos los flujos son "mapeadas" en conjunto para formar tramas múltiplex de 400 ms de duración que pasaran al codificador de canal. Por otra parte, el primer flujo puede ser transportado en tramas lógicas "mapeadas" dentro de tramas jerárquicas. [2]

Construcción y reconfiguración del MSC

El MSC consta de una secuencia de tramas múltiplex y, si se emplea modulación jerárquica, de una secuencia de tramas jerárquicas. Las tramas, múltiplex como jerárquicas, se transfieren por separado al codificador de canal.

Las *tramas múltiplex* se forman al juntar las tramas lógicas de cada flujo no-jerárquico. Esta trama se construye a partir de los datos con mayor protección de cada trama lógica hasta que todos los flujos han sido transferidos. Por igual, los datos con menor protección de cada trama lógica se añaden hasta que todos los flujos han sido transferidos (flujo 0 cuando no se emplea modulación jerárquica o flujo 1 cuando se emplea modulación jerárquica). La parte con mayor protección se conoce como parte A y la parte con menor protección se denomina parte B en la descripción del múltiplex.

La trama múltiplex es de longitud mayor o igual a la suma de todas las tramas lógicas que la forman. El resto de la trama múltiplex se rellenará con 0's. Estos bits se ignoran en el receptor. Ningún bit de relleno debe insertarse al final de la parte A, ni al inicio de la parte B.

Las *tramas jerárquicas* existen únicamente cuando se emplea la modulación jerárquica. Se generan al tomar los datos de la trama lógica con flujo 0 y se colocan al inicio de la trama jerárquica.

La trama jerárquica es de mayor longitud o igual a la trama lógica que la construye. El resto de la trama jerárquica se llenará con 0's. Estos bits serán ignorados en el receptor. [2]

Una reconfiguración del múltiplex ocurre cuando los parámetros del canal en el FAC son cambiados, o cuando los servicios del múltiplex son reorganizados. La nueva configuración se señalara por adelantado en el SDC y se desarrollará de acuerdo al tiempo indicado en el índice de reconfiguración del FAC. [2]

3.3.2 Canal de Acceso Rápido (FAC)

El FAC proporciona una visión rápida de la información seleccionada del servicio. Contiene información de los parámetros del canal (por ejemplo ocupación del espectro y profundidad del entrelazado) de forma que el receptor pueda empezar a decodificar eficazmente al múltiplex. Contiene también información de los servicios del múltiplex que permitirá al receptor decodificar el múltiplex o cambiar la frecuencia y buscar nuevamente. [2]

El FAC se decodifica en el receptor antes de decodificar al MSC y el SDC. Dado que transporta a los datos más sensibles, se transmite siempre con el esquema de modulación más sólido (4-QAM). Dada la poca complejidad de la modulación, el FAC no se entrelaza en el tiempo como al SDC y el MSC. Por ello, el receptor ocupa un mínimo de tiempo para tomar y decodificar la información y es capaz de realizarla con una baja SNR, menor a la necesaria para el MSC y el SDC. En caso de fallar en la decodificación del SDC y del MSC, por ejemplo a causa del desvanecimiento de la señal (fading), el FAC va a continuar proporcionando la

sincronización del receptor, minimizando de esta forma la demora en la reanulación del servicio. El total de los datos del FAC están siempre dentro del grupo de la portadora principal de 4.5 kHz, cualquiera que sea la banda pasante total de la señal DRM transmitida. [1]

El FAC transporta la información que indica al receptor la ocupación de la banda pasante de la señal DRM completa, la modulación empleada por el SDC y MSC, la longitud de entrelazamiento, cuantos servicios contiene el MSC y el nombre de o de los servicios.

Estructura del FAC

Cada trama que se transmite contiene un bloque FAC. Cada bloque FAC contiene parámetros que describen al canal, al servicio y, al mismo tiempo, al CRC. Cuando se transporta a más de un servicio en el múltiplex, se requieren a varios bloques FAC para describir a todos los servicios. [2]

Parámetros del canal

Los parámetros del canal FAC son los siguientes:

- **Indicador de base/realce:** indica si la señal puede decodificarse por todos los receptores DRM (capa base) o solo por aquellos con capa de realce.
- **Identidad:** identifica a la trama y valida el índice AFS SDC.
- **Ocupación del espectro:** indica la configuración de la señal digital.
- **Indicador de profundidad de entrelazado:** proporciona la profundidad de entrelazado largo (2 s) o corto (400 ms)
- **Modo MSC:** indica el modo de modulación empleado por el MSC:
- **Modo SDC:** indica el modo de modulación empleado por el SDC.
- **Número de servicios:** indica el número de servicios de audio y/o datos.
- **Índice de reconfiguración:** indica el estado y el tiempo en que debe realizarse una reconfiguración dentro del múltiplex.
- **Rfu:** estos son 2 bits reservados para su futuro empleo y estarán puestos en cero hasta que sean definidos. [2]

Parámetros del Servicio

Los parámetros del servicio son:

- **Identificador del servicio.**
- **identificador corto:** indica el servicio y se emplea como referencia en el SDC. Especifica la duración del servicio y se mantiene completamente en las reconfiguraciones del múltiplex.
- **Indicador de audio CA:** el receptor DRM verificará este campo antes de tratar de decodificar al flujo de audio del servicio (acceso condicional).
- **Lenguaje:** especifica el lenguaje de la audiencia.
- **Indicador de audio/datos:** indica si el servicio es de audio o de datos.
- **Descriptor del servicio:** este campo depende del valor del indicador de audio/datos. Especifica el tipo de programa de audio o identifica la aplicación de los datos.

- **Tipo de programa:** especifica el tipo de programa del servicio de audio, por ejemplo si es un programa de noticias, música rock, pop, etc.
- **Identificador de aplicación:** especifica el servicio de datos.
- **Indicador de datos CA:** el receptor DRM verificará este campo antes de tratar de decodificar al flujo/subflujo de datos del servicio (acceso condicional).
- **Rfa:** este campo de 6 bits se reserva para futuras aplicaciones y se pondrán a cero hasta que sean definidos. [2]

Detección de errores con CRC

Implementar el CRC (Cyclic Redundancy Check) permite detectar los errores de transmisión en el receptor. Para ello, los bits del CRC se incluirán en los datos que se van a transmitir. Esta palabra (8 bits) se calcula en base a los parámetros del canal y del servicio.

Repetición dentro del FAC

Los parámetros de canal y del servicio FAC se envían en cada bloque FAC. Cuando hay más de un servicio en el múltiplex la “marca” de repetición es importante para que el receptor haga una revisión del tiempo. Cuando todos los servicios son del mismo tipo (por ejemplo, todos de audio o todos de datos) se “marcan” secuencialmente y cuando se presenta una combinación de servicios de audio y de datos entonces las “marcas” se intercalan de acuerdo al número de servicios de audio y de datos. [2]

3.3.3 Canal de Descripción del Servicio (SDC)

Una vez decodificado el FAC, el receptor comienza a decodificar la información del SDC. Esta información describe a detalle como decodificar los servicios del MSC y sobre que frecuencias los servicios pueden transportarse, dentro de cierta región y el momento en que están disponibles. Los datos del SDC se entrelazan para aumentar su resistencia a desvanecimientos a corto periodo. El SDC emplea una modulación menos compleja a la del MSC, lo que asegura la posibilidad de decodificar en una SNR inferior a la utilizada en el MSC. Por eso, cuando el MSC emplea una modulación 64-QAM, el SDC utiliza 16-QAM y cuando el MSC emplea 16-QAM, el SDC usa una modulación 4-QAM. [1]

El SDC, además de proporcionar información para decodificar el MSC, encuentra fuentes alternativas de los datos y proporciona los atributos a los servicios del múltiplex. La capacidad de datos del SDC varía en función del espectro ocupado y de otros parámetros del múltiplex, esta capacidad puede incrementarse empleando el índice AFS.

La frecuencia alternativa de comprobación (AFS) puede conseguirse, sin pérdida del servicio, manteniendo cuasi-estáticos los datos transportados dentro del SDC. Por lo que, los datos en las tramas SDC deben dirigirse cuidadosamente. [2]

Estructura del SDC

Un bloque SDC esta formado por los datos del SDC en la transmisión de una súper trama. El SDC es un canal únicamente de datos. La cantidad total de datos a enviarse puede requerir más de un bloque SDC. El índice AFS permite al receptor saber cuándo se transmitirá el próximo acontecimiento del bloque SDC en curso. (El FAC proporciona una función de validez que señala si el índice AFS es legítimo o no, indicándole al receptor cuándo puede aplicarse la función AFS).

El bloque de SDC se encuentra formado de la siguiente manera:

- **Índice AFS:** indica el número de súper tramas transmitidas de cada bloque SDC para separarlo del próximo bloque con contenido idéntico. El índice AFS es idéntico para todos los bloques SDC y puede cambiarse en la reconfiguración.
- **Campo de datos:** transporta un número variable de entidades de datos. Puede contener un marcador final y relleno. Su longitud depende del modo de robustez, el modo de SDC y de la ocupación del espectro.
- **CRC:** Este campo de 8 bits se calcula de la codificación del índice AFS y el campo de datos.
- **Relleno:** contiene de 0 a 7 bits para completar la transmisión de la súper trama. El número de bits depende del modo de robustez, el modo SDC y la ocupación de espectro. Los bits de relleno se ponen a cero y son ignorados por el receptor. [2]

Entidades de Datos

El campo de datos está compuesto de entidades de datos. Cada entidad de datos tiene 12 bits de encabezado y un cuerpo de longitud variable. El encabezado tiene el siguiente formato:

- **Longitud del cuerpo:** proporciona el número de bytes que se ocupan en el cuerpo de la entidad de datos.
- **Indicador de versión:** controla la dirección de los datos en el receptor.
- **Tipo de entidad de datos:** determina la identidad de la entidad de datos.

El indicador de versión permite a tres diferentes mecanismos controlar la dirección de los datos en el receptor. El mecanismo que va a emplearse esta especificado para cada entidad de datos de la siguiente manera:

- **Reconfiguración:** este mecanismo indica si los datos son para la configuración actual o para la próxima configuración.
- **Lista:** este mecanismo indica la versión de la lista. Cuando ninguno de los datos de la lista cambia, el indicador se invierte y los datos presentes en el receptor se descartan. El indicador de versión se aplica a todos los datos repartidos empleando el tipo de entidad de datos.
- **Único:** este mecanismo hace que el indicador de versión no tenga significado al ponerlo a 0. Las entidades de datos, que emplean este mecanismo, transportan a los datos que son únicos y por lo tanto, no requieren ningún cambio.

El cuerpo de las entidades de datos será al menos de 4 bits de largo. La longitud del cuerpo, excluyendo los primeros 4 bits, se señalará en el encabezado. [2]

La tabla 3.1 muestra de forma sintetizada el mecanismo del indicador de versión, la tasa de repetición y el estatus de transmisión de cada entidad de datos. La tasa de repetición estándar es toda la información del tipo de entidad de datos que se transmite en un ciclo de la base de datos completa. Los bloques SDC individuales pueden transportar información cambiada (por ejemplo, el tiempo y la fecha) por el empleo del campo de identidad del FAC.

Tabla 3.1 Resumen de las características de las entidades de datos

Tipo	Nombre de la Entidad de Datos	Mecanismo del Indicador de versión	Tasa de repetición / Estatus de la transmisión
0	Descripción del múltiplex	Reconfiguración	Cada bloque de SDC / Obligatoria
1	Etiqueta	Única	Cada bloque de SDC / Opcional
2	Parámetros de Acceso condicional	Reconfiguración	Como se requiera / Obligatoria para cada servicio con la indicación FAC CA = 1
3	AFS – Información de la red de frecuencia múltiple	Lista	Estándar / Opcional
4	AFS - Definición del programa	Lista	Estándar / Opcional
5	Aplicación de la información	Reconfiguración	Como se requiera / Obligatoria para cada servicio de datos y aplicación de datos
6	Anuncio de soporte y cambio	Lista	Estándar / Opcional
7	AFS - Definición de región	Lista	Estándar / Opcional
8	Información de tiempo y fecha	Única	Una vez por minuto / Opcional
9	Información de audio	Reconfiguración	Cada bloque de SDC / Obligatoria para cada servicio de audio
10	Parámetros del canal FAC	Reconfiguración	Cada bloque SDC, con el índice de reconfiguración FAC no es cero / Obligatoria, cuando el índice de reconfiguración FAC no es cero
11	AFS - Otros servicios	Lista	Estándar / Opcional
12	Lenguaje y país	Única	Estándar / Opcional

La tasa de repetición proporcionada en la tabla anterior es la recomendada para el acceso rápido a los servicios. Sin embargo, cuando la capacidad del SDC es baja, se permiten tasas de repetición más bajas para cada entidad de datos. [2]

Cambio del contenido del SDC

Para que el AFS funcione, el receptor se debe conocer con anticipación el contenido del SDC. Por ello, el FAC valida su uso empleando el campo identidad, para posteriormente conocer su contenido en el SDC (índice AFS).

Cuando, por ejemplo, las entidades de datos de tiempo y fecha o anuncio de soporte y cambio se incluyen en el SDC, es recomendable marcar los índices AFS. En este caso, uno o más bloques SDC del ciclo definido por el índice AFS se marcan como inválidos al emplear el campo identidad del FAC, lo que permite que el contenido de esos bloques se cambie constantemente, por el contrario, otros bloques SDC se marcan como válidos al emplear el campo identidad del FAC que permite así que la función AFS se realice. El cambio del índice AFS se permite únicamente en la reconfiguración. [2]

Reconfiguraciones en el SDC

La reconfiguración del múltiplex DRM se señala con anticipación para permitir a los receptores tomar la mejor decisión sobre el manejo de los cambios. Hay dos tipos de reconfiguración: la reconfiguración del servicio y la reconfiguración del canal.

La reconfiguración del servicio reasigna la capacidad de datos entre los servicios del MSC. Esto ocurre cuando se cambian el número de servicios en el múltiplex o el tamaño de los flujos de datos.

La reconfiguración del canal sucede cuando los siguientes parámetros del FAC se modifican: la ocupación del espectro, la profundidad de entrelazado y el modo MSC, y también cuándo se cambia el modo de robustez. [2]

3.3.4 Aplicación de mensajes de texto

Los mensajes de texto son un elemento adicional muy valioso para los servicios de audio, además de que no consumen mucha capacidad de datos (únicamente 80 bps).

Los mensajes de texto (cuando están presentes) ocupan los últimos cuatro bytes de la parte protegida más baja de cada trama lógica que transporta un flujo de audio. El mensaje de texto puede comprender hasta 8 segmentos. Cada segmento consta de un encabezado, un cuerpo y un CRC. [2]

3.3.5 Modo de paquete

Los servicios de datos constan de flujos de información, en forma síncrona o asíncrona, o archivos de información. Los servicios se pueden transportar como una serie de paquetes o como una serie de unidades de datos. Una unidad de datos es una serie de paquetes con estimación para el manejo de errores (un paquete erróneo dentro del archivo provoca que este sea rechazado). Este mecanismo brinda una sincronización simple de los flujos asíncronos.

El tamaño de la trama lógica de datos en modo paquete es un múltiplo del tamaño del paquete. La longitud máxima de una unidad de datos es de 8,215 bytes. [2]

El paquete esta formado por el encabezado (información para describir el paquete), el campo de datos (con datos para un servicio en particular) y el CRC (se calcula en el encabezado y el campo de datos).

Los flujos asíncronos se emplean para transportar bytes orientados a la información. Tanto los paquetes como las unidades de datos se pueden emplear para transportar flujos asíncronos. Un archivo se transporta en una unidad de datos.

Un flujo de datos para el modo paquete puede contener uno o más paquetes por trama lógica, y los paquetes pueden pertenecer a uno o más servicios. Sin embargo, todos los paquetes dentro del flujo tendrán la misma longitud para minimizar la propagación de errores. [2]

3.4 Codificación de canal

El sistema DRM emplea al COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex) para la transmisión del múltiplex de datos. El COFDM emplea una combinación de técnicas que permiten combatir los efectos negativos que se presentan en los canales de propagación de las bandas de AM. [1]

Cada canal (MSC, SDC y FAC) presenta diferentes necesidades y por ello se aplican diferentes esquemas de codificación de canal y mapeo. Si se consideran las necesidades de protección frente a errores, para uno o varios servicios del múltiplex, los diferentes esquemas de mapeo y las combinaciones de tasas de símbolo (code rates), se pueden aplicar: la protección de error desigual (UEP, Unequal Error Protection) o la protección de error igual (EEP, Equal Error Protection), que además pueden combinarse con la modulación jerárquica.

El EEP emplea solamente un code rate para proteger a los datos del canal y su empleo es obligatorio para el FAC y el SDC. El UEP puede emplearse con dos code rates, lo que permite que los datos del MSC se distribuyan en una parte protegida más alta y una parte protegida más baja. Cuando se emplea modulación jerárquica, se aplican tres estrategias de mapeo al MSC: el mapeo estándar (SM, Standard Mapping), el mapeo jerárquico simétrico (HMsym, symmetrical Hierarchical Mapping) y una mezcla de los dos anteriores (HMmix, mixture Hierarchical Mapping). [2]

3.4.1 Modulación COFDM

Cuando se trabaja en la banda HF se emplea el canal de transmisión ionosférico que experimenta una propagación de multitrayectoria. En tales, condiciones pueden producirse retardos de 1 ms o más entre la onda principal y la(s) secundaria(s). Esta situación hace que el sistema DRM sea apto para el uso del sistema COFDM. [5]

El COFDM emplea un gran número de subportadoras espaciadas regularmente con el fin de transportar los datos que se transmitirán. La figura 3.4 ilustra de

manera simplificada la situación de las frecuencias en el dominio del tiempo para 5 subportadoras adyacentes. Dentro del sistema DRM, el número de estas subportadoras varía de menos de cien a varias centenas según el modo y la ocupación de la banda pasante. [1]

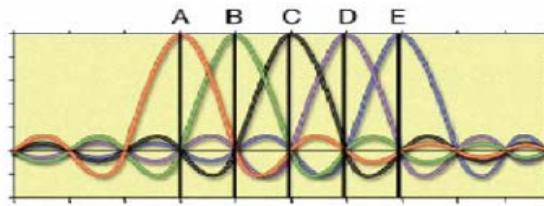


Figura 3.4. Subportadoras COFDM adyacentes

La figura 3.5 muestra a estas subportadoras espaciadas en frecuencia (f_u) de forma que la duración útil de los símbolos (t_u), impresos en las portadoras, disponen de un periodo donde $1/t_u = f_u$. Si la ventana de tiempo de integración del receptor es también t_u , el espectro de cada portadora modulada tendrá una energía cero en todas las frecuencias, a excepción de la portadora central, es decir que las portadoras son ortogonales, lo que evita en gran parte la modulación cruzada.

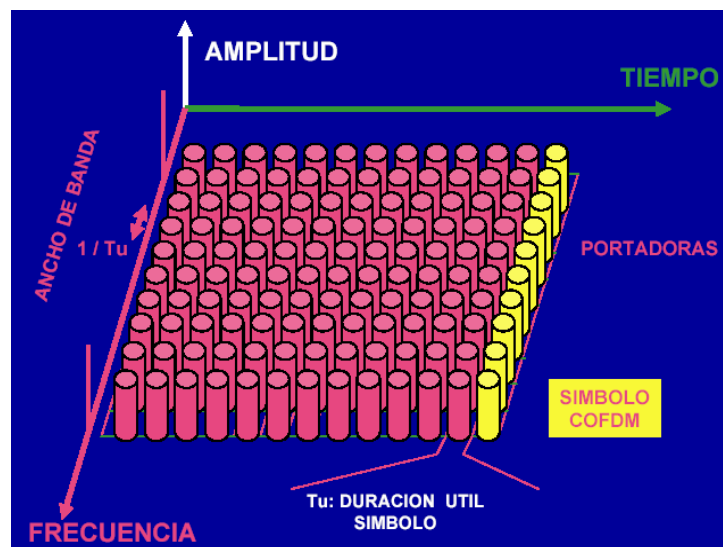


Figura 3.5

Sin embargo, en el mundo real, cierto número de portadoras son susceptibles de sufrir desvanecimiento selectivo debido a la multitrayectoria. Esta multitrayectoria causara que los mismos símbolos de la señal arriben al receptor con diferentes retrasos (delay spread). Esto provoca una interferencia entre símbolos que reduce la relación señal a ruido de los mismos y resulta por consecuencia en errores de recepción de la señal. [1]

Sin embargo, el sistema DRM COFDM al transmitir los datos codificados en un número determinado de subportadoras, reduce considerablemente las consecuencias del multitrayecto, ya que cada subportadora conduce solamente una pequeña parte de la información. [5]

El problema del delay spread se reduce considerablemente al agregar un intervalo de guarda de longitud t_g al símbolo, lo que le da una longitud total de t_s (figura 3.6). El periodo de integración (t_u) comprende a las contribuciones de las distintas señales. Dado que cada valor de la señal es igual en el intervalo de guarda como en la parte principal del símbolo, el resultado en el periodo de integración en curso, será constructivo y no habrá interferencia entre símbolos.

Si el retardo de alguna señal aumenta, puede haber un punto en el cual una contribución del próximo símbolo va a invadir el periodo de integración del símbolo actual y provocar una interferencia entre símbolos. Para evitar tal interferencia la brecha máxima de tiempo entre las señales que llegaron en primer y último lugar (es decir el delay spread) debe ser inferior al intervalo de guarda. Dentro del sistema DRM, el intervalo de guarda puede aumentar dentro de los modos más robustos para brindar una inmunidad más grande al multitrayecto de la señal provocada por la propagación de las ondas reflejadas. La longitud aumenta progresivamente entre el modo A y el modo más robusto, el modo D. [1]

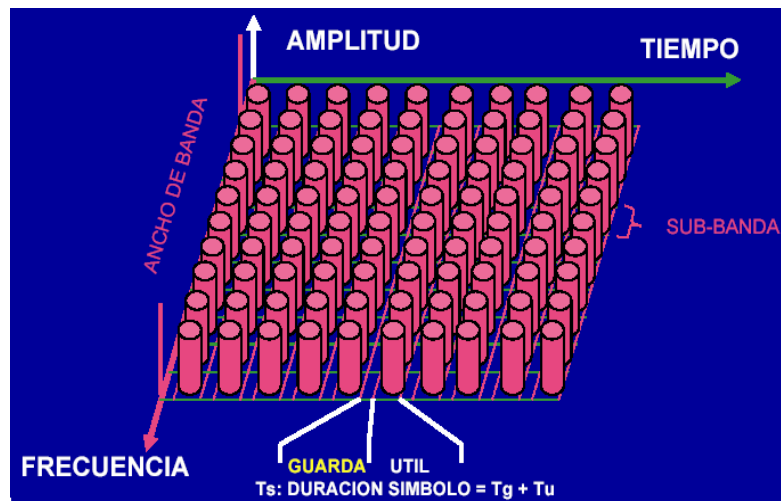


Figura 3.6

Puede elegirse el modo de la señal DRM para contrarrestar lo mejor posible a los efectos negativos del canal de propagación, mientras que con ello se consigue una tasa de datos lo más elevada posible en este canal. Otro efecto principal, aparte del ruido y el delay spread, que debe contrarrestarse en el sistema DRM es el Doppler spread.

El Doppler spread provoca un cambio en el receptor de la frecuencia que originalmente se transmitió, esto sucede cuando la fuente y el receptor tienen una velocidad relativa una en relación con las demás. Por ejemplo, si el receptor se encuentra en movimiento (montado en un vehículo) se provocará un cambio del Doppler.

Dado el Doppler spread se debe a la velocidad del receptor en relación con el emisor. Siempre que esta velocidad sea lo suficientemente baja, este cambio puede corregirse en el receptor. Sin embargo, si la velocidad es muy grande (varios cientos de km/h), existe una pérdida suficiente de la ortogonalidad de las portadoras CODFM, lo que hace tambalear al sistema. La velocidad máxima va a depender del modo de transmisión DRM. [1]

3.4.2 Adaptación del múltiplex al transporte

Los diferentes canales (MSC, SDC, FAC) se procesan de manera independiente en la codificación de canal. El número de bits para el procesamiento consiste de un bloque FAC, para el canal FAC, un bloque SDC para el SDC o una trama múltiplex para el MSC. El bloque FAC consta de 72 bits (65 células) para cada modo, mientras que el número de bits por bloque SDC o trama múltiplex esta en función del modo de robustez, la ocupación del espectro y la constelación. [2]

3.4.3 Distribuidor de energía

El bloque distribuidor de energía que se observa en la figura 3.1, tiene el propósito de evitar que en la señal transmitida o procesamiento digital de la misma se presenten secuencias con una regularidad no deseada, ya que las repeticiones prologadas de "0" o "1" afectan al proceso digital de la señal y su transmisión, esto se lograra agregando un complemento determinístico selectivo de bits que se aplicara a los diferentes canales (MSC, SDC, FAC). [2]

3.4.4 Codificación multinivel

El codificado del sistema COFDM (OFDM codificado) se refiere al codificado FEC (Forward Error-correction Coding), que aporta una redundancia que permite al receptor tener una protección frente al ruido, a las consecuencias del desvanecimiento, etc. Se trata de una codificación bastante elaborada denominada MLC (Multi-Level Coding) y suele utilizar un entrelazado en frecuencia y en tiempo. [5]

El principio de la codificación multinivel es optimizar conjuntamente la codificación y la modulación para alcanzar un mejor rendimiento de la transmisión. Esto indica que más posiciones de bits redundantes en el mapeo QAM consiguen una protección más alta. [2]

Dependiendo de la constelación de la señal y del mapeo empleado, pueden aplicarse cinco diferentes esquemas de codificación multinivel. La estrategia de mapeo para cada célula OFDM depende de la asignación del canal (FAC, SDC, MSC) y el modo de robustez. Las células de datos pueden ser 4-QAM, 16-QAM o 64-QAM. Los diferentes esquemas de mapeo se pueden aplicar solamente a la constelación 64-QAM.

Codificación del MSC

El MSC puede emplear un mapeo de 64-QAM o 16-QAM. El mapeo 64-QAM brinda una eficiencia espectral alta mientras que el 16-QAM provee un mayor rendimiento de la protección frente errores. En cada caso, existe un rango de code rates disponible para proporcionar el nivel más apropiado de la corrección de errores para una transmisión en particular. Las combinaciones disponibles de constelación y code rates proveen un grado grande de flexibilidad sobre una extensión amplia de los canales de transmisión. La protección de error desigual (UEP) puede emplearse para brindar dos niveles de protección para el MSC. Para

el caso de 64-QAM, la modulación jerárquica puede emplearse para proveer un tercer nivel de robustez de error para una parte del MSC. [2]

Codificación del SDC y del FAC

El SDC puede emplear 16-QAM o 4-QAM. Si se emplea 16-QAM se brinda una mayor capacidad, mientras que 4-QAM provee un rendimiento mayor de la robustez de error. En cada caso, se aplica un code rate fijo.

La constelación debe elegirse con respecto a los parámetros del MSC para proporcionar una mayor robustez al SDC que al MSC. Cuando se emplea modulación jerárquica, el SDC se codificara empleando 4-QAM. [2]

En el FAC se emplea únicamente un mapeo 4-QAM y una code rate fijo.

3.4.5 Proceso de entrelazado

Otro de los bloques importantes que se observan en la figura 3.1 es el entrelazado de celdas (células) que aparece en la mayoría de los sistemas que utilizan FEC, Normalmente el decodificador puede manejar una considerable cantidad de bits erróneos, sin embargo cuando esa cantidad de bits erróneos que recibe se encuentran todos en el mismo intervalo, el sistema deja de funcionar y la información se deteriora perdiéndose en su conjunto.

El desvanecimiento selectivo puede producir este tipo de deterioro cuando actúa sobre grupos de bits vecinos, para evitarlo se utiliza el entrelazado. Este sistema desacomoda los bits contiguos de la señal original a diferentes posiciones, de esta forma, un posible desvanecimiento no habrá afectado brutalmente a la señal cuando esta sea reconstruida en el receptor. El sistema DRM emplea entrelazado en frecuencia y en tiempo y se realiza fundamentalmente sobre una base de celdas utilizando convolución [4] (figura 3.7).

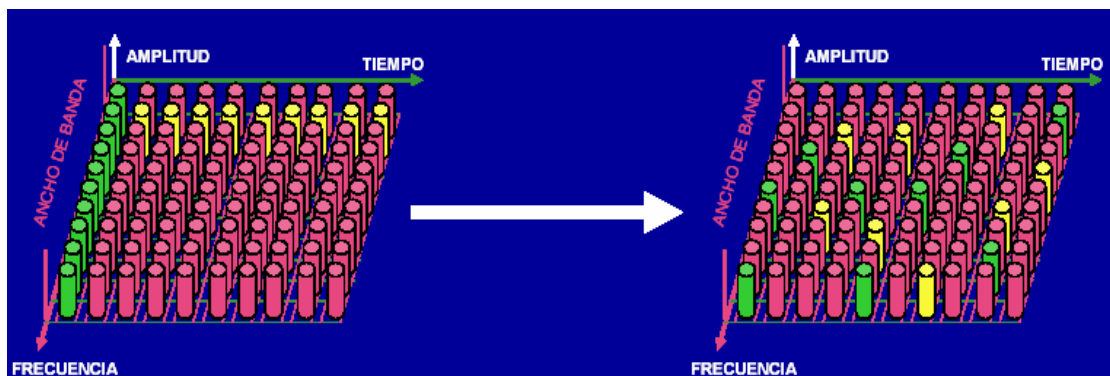


Figura 3.7 Entrelazado corto en tiempo y frecuencia

Un entrelazado celular se aplica a los símbolos (células) QAM del MSC después de la codificación multinivel con la posibilidad de escoger una profundidad de entrelazado bajo o alto (entrelazado corto o largo) de acuerdo con las condiciones de propagación pronosticadas. [2]

Para realizar un entrelazado largo se requiere el contenido de tres tramas múltiplex consecutivas, después de entrelazarlas se mapean para poder realizar la transmisión de una súper trama (figura 3.8).

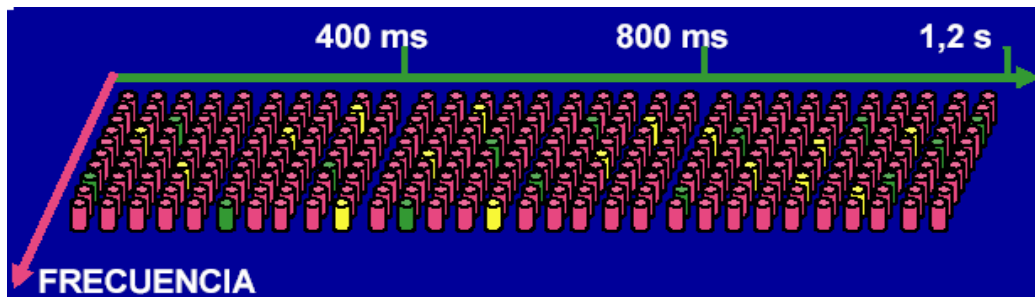


Figura 3.8 Entrelazado largo

3.5 Modos de transmisión

3.5.1 Estructura de transmisión

La señal que se va a transmitir se organiza en súper tramas de transmisión. Una súper trama de transmisión en el sistema DRM esta formada por tres tramas, cada una de estas tramas contiene N_s símbolos de OFDM. Estos símbolos, a su vez, contienen datos e información de referencia.

Debido a que la señal OFDM contiene a varias portadoras moduladas independientemente, cada símbolo se puede dividir en células (celdas). Una trama OFDM contiene: celdas piloto, celdas de control (en el FAC y el SDC) y celdas de datos. [2]

Células piloto

Las células piloto cumplen dos funciones importantes, la primera, con fines de sincronización de la trama, frecuencia y tiempo, la segunda esta relacionada con la estimación del canal para una correcta demodulación. Las posiciones, amplitudes y fases de estas celdas se eligen cuidadosamente para optimizar el rendimiento, especialmente la duración de la sincronización y la confiabilidad.

Las células de referencia de frecuencia son tonos piloto de fase continua que se transmiten en determinadas subportadoras en las siguientes frecuencias a partir de cero: 750 Hz, 2250 Hz y 3000 Hz. Son excelentes auxiliares para estimar frecuencias.

Por su parte, las células de referencia de tiempo se instalan solo en el primer símbolo de cada trama. Se les utiliza con fines de sincronización de trama.

Finalmente, las células de referencia de ganancia son las más abundantes y se encuentran esparcidas en dirección de la frecuencia y en dirección del eje de

tiempos y están destinadas a la estimación de la función de transferencia del canal. [4]

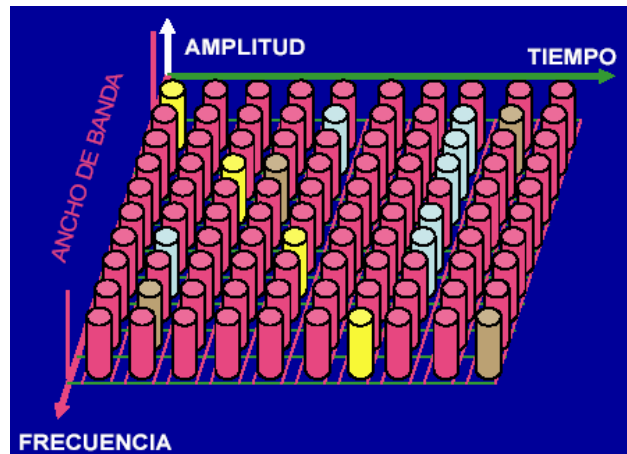


Figura 3.9 Células piloto de referencia de frecuencia, tiempo y ganancia

El sistema DRM es un sistema de transmisión coherente y para una detección coherente se requiere una correcta estimación de la función de transferencia del canal, las células piloto son de fundamental importancia en esta tarea. La dispersión del efecto Doppler y la de los retardos define la cantidad necesaria de estas células para conseguir una determinada robustez. La figura 3.9 muestra a una supertrama OFDM donde se resaltan los varios tipos de células.

Células de control

Las celdas de control constan de dos partes:

- *El FAC*, integrada en cada trama de transmisión. Se emplea para obtener rápidamente la información necesaria para que el receptor sea capaz de demodular la señal DRM;
- *El SDC*, integrada en cada súper trama de transmisión. Contiene toda la información adicional que describe a los servicios disponibles de la transmisión actual y también emplea la AFS. [2]

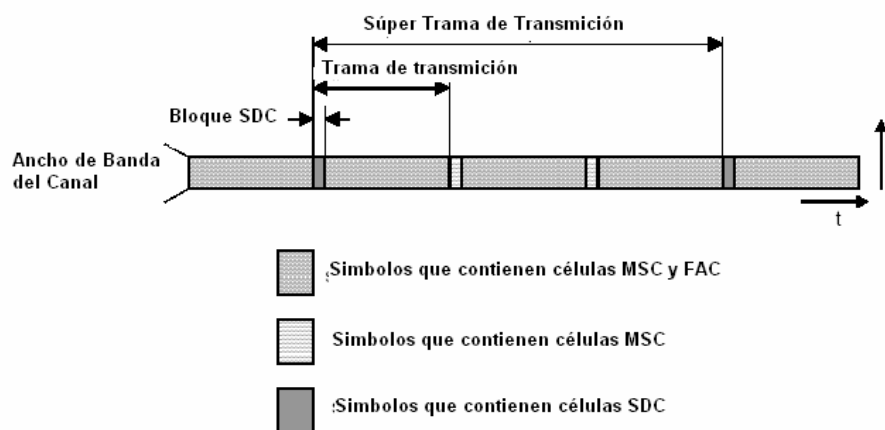


Figura 3.10 Localización en tiempo-frecuencia de las señales SDC y FAC

En la figura 3.10 se muestra a una supertrama OFDM donde se describe en tiempo-frecuencia la ubicación de éstas señales.

Células de datos

Las células de datos son todas aquellas células que no son ni células piloto, ni células de control.

3.5.2 Parámetros relacionados a la propagación

Dado que el canal de transmisión en la banda HF (ondas ionosféricas) es muy variable, se han previsto cuatro modos de transmisión, para tratar de proporcionar la robustez necesaria y la calidad de información que el sistema DRM pretende hacer llegar al usuario.

Los parámetros OFDM se deben elegir de acuerdo a las condiciones de propagación y el área de cobertura a la que se desea brindar el servicio. El conjunto de estos parámetros, definidos para las diferentes condiciones de propagación, se encuentran dentro de la tabla 3.2. [2]

Tabla 3.2 Características de los modos DRM

Parámetro	Modo			
	A	B	C	D
K portadoras	226	206	138	88
N_s símbolos por trama	15	15	20	24
T_u (ms)	24	21.33	14.66	9.33
T_g (ms)	2.66	5.33	5.33	7.33
T_s (ms) = T_u + T_g	26.66	26.66	20	16.66

Para explicar estas modalidades habrá que entender primero los tipos de posibles deterioros que se pueden producir en el canal de transmisión (ya sea de onda de superficie o ionosférica).

En las mejores condiciones se tiene lo que se denomina un canal de transmisión gaussiano, donde las condiciones de propagación son muy regulares sin desvanecimientos profundos. Este tipo de propagación se presenta en onda larga y onda media, donde predomina la onda superficial, para ello se pensó en el "modo A". En estas condiciones, el sistema OFDM se transmite en un ancho de banda de 10 kHz con el mayor número de subportadoras (K=226). [5]

De esta forma el modo A lleva de velocidad de transmisión más alta, del orden de 20 kbps o mayor y, por ende, se tiene el mejor aprovechamiento de los datos pero su robustez es baja, por lo que este modo solo se emplea en canales gaussianos. [5]

En las frecuencias más altas de la onda media y en la banda HF la propagación depende de la ionosfera (canal ionosférico) donde las condiciones de propagación

son bastante peores que las gaussianas. Se habla entonces de un canal Rice o, incluso, de un canal Rayleigh donde el desvanecimiento (fading) debido al multitrayecto empeora notoriamente las condiciones de recepción.

Para conseguir contramedidas que preserven la robustez compatible con la relativa buena calidad es necesario aumentar el intervalo de guarda a costa del periodo útil, ya que el periodo T_s seguirá siendo el mismo, esto es lo que se hace en los modos B, C y D, por ejemplo en el modo B el periodo útil es $T_u = 21.33$, mientras que el tiempo de guarda aumentó a $T_g = 5 \frac{1}{3}$.

Para las peores condiciones de propagación se ha descrito el modo D que lleva la más alta robustez pero la velocidad de transmisión (tasa de bits) se reduce notablemente (a una tasa binaria de 10 kbps o menor). Se observa, en este modo, que el tiempo de guarda se aproxima al tiempo útil y se transmiten solo 88 subportadoras. De esta forma, en el modo D la calidad se degrada notoriamente ya que el ancho de banda sigue siendo el mismo, 10 kHz, pero la cantidad de información que se puede transmitir en ese ancho de banda resulta mucho menor. [5]

3.5.3 Parámetros relacionados al ancho de banda

Los parámetros OFDM dependen del ancho de banda disponible, del número de portadoras K , y de su ubicación con respecto a la frecuencia de referencia (llamada DC, en relación con la portadora tradicional empleada en las transmisiones analógicas de AM).

La ocupación del espectro define al ancho de banda del canal. El grupo de portadoras que transportan al FAC está siempre a la derecha (más alto en frecuencia) con respecto a la frecuencia de referencia, f_R , la cual es un múltiplo entero de 1 kHz. [2]

Tabla 3.3 Relación entre la ocupación del espectro y el ancho de banda

	Ocupación del Espectro					
	0	1	2	3	4	5
Ancho de Banda del Canal (kHz)	4.5	5	9	10	18	20

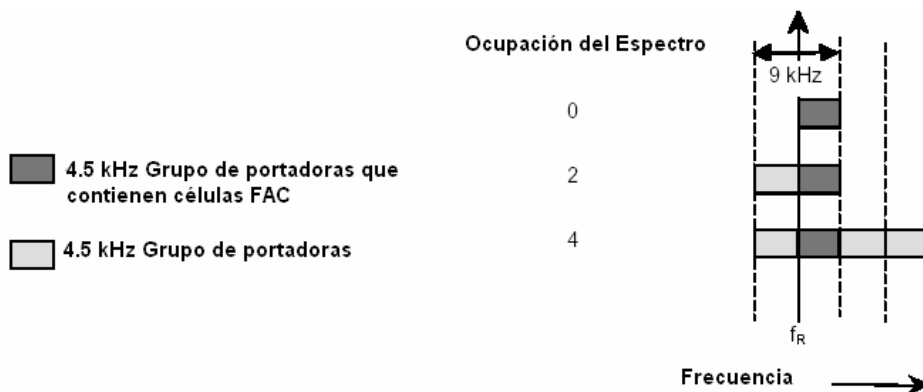


Figura 3.11 Ocupación del espectro para canales de 9 kHz

La tabla 3.3 relaciona el parámetro de ocupación del espectro, marcado en el FAC, con el ancho de banda del canal, y la figura 3.11 muestra la posición de las portadoras para canales de 9 kHz.

Transmisión simultánea

La señal de DRM esta diseñada para trabajar en las mismas bandas de radiodifusión de la AM. La transmisión simultánea de servicios empleando DRM y AM se puede llevar a cabo por la yuxtaposición de la señal analógica de AM (DSB o VSB o SSB) y una señal digital de DRM. Para ello se pueden emplear varios tipos de arreglo.

La ocupación del espectro esta relacionada con la señal DRM. Por lo que, el radiodifusor decide la presencia o no de la transmisión simultánea de AM, empleando la AFS en la entidad de datos tipo 11 (otros servicios) en el SDC. [2]

Consideraciones sobre el receptor

El receptor recibirá el múltiplex en RF y deberá efectuar sobre el todos los procesos inversos a los realizados en el transmisor para obtener finalmente una señal de audio y de datos.

La señal que se recibe en antena entra a la unidad frontal de RF donde sufre una serie de procesos de conversión en frecuencia hasta obtener finalmente una salida de RF centrada en 12 kHz. Esta señal con su banda asociada, generalmente de un ancho de 10 kHz, se aplica a la entrada de audio de un PC (micrófono o línea).

Luego, mediante un software adecuado, la señal se procesa obteniéndose a la salida, el audio contenido originalmente en la modulación. En la pantalla se exhiben ciertos datos que contienen información sobre la señal transmitida.

En el esquema de bloques de la figura 3.12 se proporciona una idea de los procesos que se realizan en el receptor.

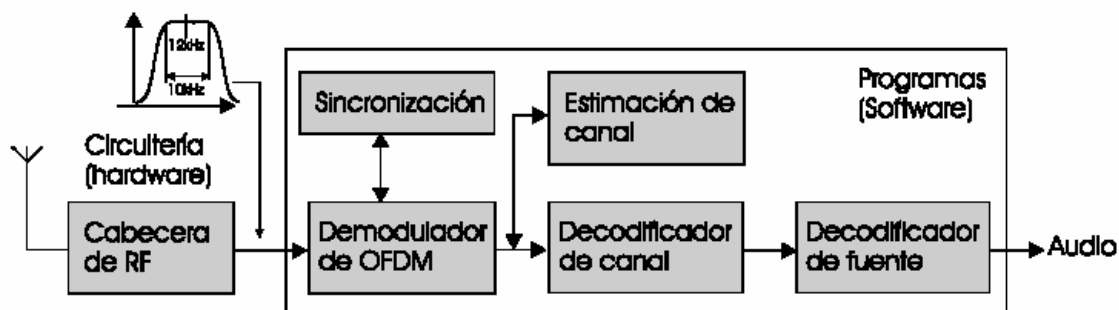


Figura 3.12. Arquitectura básica de un receptor DRM

La circuitería (hardware) de RF se encarga de hacerle llegar al PC el ancho de banda de 10 kHz centrado en 12 kHz sin sobrecargas.

La antena recibe la señal modulada OFDM y la cabecera de RF, que es un delicado receptor de comunicaciones con muy bajo ruido y distorsión, convierte la señal a una frecuencia intermedia de 12 kHz. Dicha señal convertida entra al PC donde primero se demodula de forma sincronizada de acuerdo con las instrucciones de la información recibida. Después, se realiza una estimación de canal para permitir el ecualizado y finalmente decodificar tanto al canal como a la fuente.

Luego de la estimación del canal se desmultiplexa la señal para separarla en sus tres canales originales: el SDC, el FAC y el principal MSC. La información de cada uno de estos canales de inteligencia, una vez interpretada y decodificada, se bifurca, por una parte, los datos son administrados por un bloque denominado Data Service Manager y, por otra, el audio se deriva a un bloque de cabecera de audio y conducido a la tarjeta de sonido. [5]

Capítulo 4

Propagación en las bandas de radiodifusión

Las ondas electromagnéticas están formadas por la conjunción de un campo eléctrico y otro magnético, esta unión permite la transmisión de las ondas por el espacio, es decir, su propagación. Para caracterizar una onda electromagnética se establecen tres parámetros:

- **Frecuencia:** Define el número de ondas que se transmiten en un segundo.
- **Velocidad:** Es igual a la velocidad de la luz (300.000 km/s) y es independiente de la frecuencia.
- **Longitud de onda:** Se mide en metros (en ondas de radio se usan: metros, centímetros y milímetros) y es la velocidad de propagación (velocidad de la luz) dividida entre la frecuencia.

Los sistemas de radiodifusión emplean distintas bandas de frecuencias, estas bandas son divisiones del espectro radioeléctrico que por convención se han hecho para distribuir los distintos servicios de telecomunicaciones. Cada una de estas gamas de frecuencias poseen características particulares que permiten diferentes posibilidades de recepción.

Antes de empezar con las características de cada Banda de Frecuencias; conviene aclarar que se denomina Espectro Radioeléctrico a la porción del Espectro Electromagnético ocupado por las ondas de radio, o sea las que se usan para telecomunicaciones.

El Comité Consultivo Internacional de las Comunicaciones de Radio (CCIR) dividió en 1953 el espectro de frecuencias dedicado a la propagación de las ondas de radio, en las bandas y utilidades más importantes. La siguiente tabla 4.1 muestra la clasificación de las ondas electromagnéticas en base a los parámetros antes enunciados:

Tabla 4.1 Clasificación de las ondas electromagnéticas

Siglas	Frecuencias	Rango	Longitud de Onda	
			Valores	Denominación
VLF	Muy Bajas	3 kHz – 30 kHz	100 km – 10 km	Ondas miriámétricas
LF	Bajas	30 kHz – 300 kHz	10 km – 1 km	Ondas kilométricas
MF	Medias	300 kHz – 3 MHz	1 km – 100 m	Ondas hectométricas
HF	Altas	3 MHz–30 MHz	100 m – 10 m	Ondas decamétricas
VHF	Muy Altas	30 MHz – 300 MHz	10 m – 1 m	Ondas métricas
UHF	Ultra Altas	300 MHz – 3 GHz	100 cm – 10 cm	Ondas decimétricas
SHF	Súper-Altas	3 GHz – 30 GHz	10 cm – 1 cm	Ondas centimétricas
EHF	Extremadamente Altas	30 GHz – 300 GHz	1 cm – 1 mm	Ondas milimétricas

Un tipo de clasificación que se emplea en la propagación de las ondas de radio se muestra en la tabla 4.2.

Tabla 4.2 Clasificación de las ondas radioeléctricas

Sigla	Denominación	Rango de Frecuencias	Longitud de Onda
LF	Onda Larga (OL)	30 kHz – 300 kHz	10 000 m – 1 000 m
MF	Onda media (OM)	300 kHz – 3 MHz	1 000 m – 100 m
HF	Onda Corta (OC)	3 MHz – 30 MHz	100 m – 10 m

Una onda radioeléctrica, procedente de una antena emisora, se expande en todas direcciones, ya que presenta un frente de propagación en forma de esfera. La propagación de la onda de radio sigue dos direcciones principalmente: superficial y espacial.

- **Onda superficial o terrestre:** avanza sobre la superficie de la Tierra en dos direcciones. Esta forma de propagación encuentra continuamente obstáculos que se oponen a su paso, tales como árboles, edificios, montañas, etc. que van restándole energía a medida que esta señal se aleja del punto de origen.
- **Onda espacial:** Es el camino de propagación de las ondas que se dirige por encima de la antena, en su vertical y con un determinado ángulo respecto de ésta. Los frentes de onda no se orientan hacia la superficie sino que tienden a alejarse de ella.

La figura 4.1 ilustra las dos principales formas de propagación de las ondas radioeléctricas.

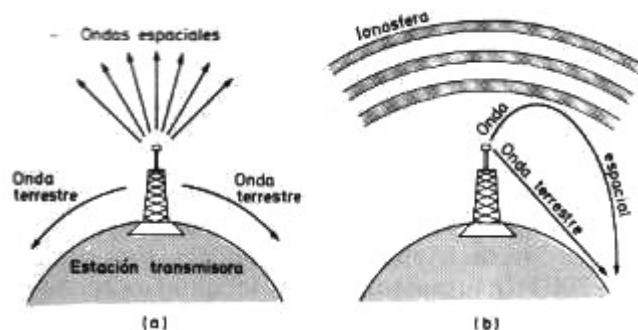


Figura 4.1 Principales formas de propagación de las ondas de radio.
a) terrestre y b) espacial

Las ondas espaciales pueden clasificarse a su vez en dos tipos de ondas:

- **Ondas troposféricas:** Se propagan cerca de la superficie terrestre, hasta 10 km aproximadamente.
- **Ondas ionosféricas:** Se propagan por encima de los 10 km y hasta llegar a los 500 km.

En ambos tipos de ondas, las ondas electromagnéticas son reflejadas haciéndolas regresar de nuevo a la superficie de la Tierra en una zona alejada del lugar de emisión.

En la propagación, deben considerarse también los factores que más influyen en un radio enlace, estos son:

- **Situación del equipo sobre el terreno**, cuanto más libre y despejado de obstáculos se encuentre el espacio entre transmisor y receptor, menos se atenuará la señal y más alcance tendrá.
- **Tipo de antena usada**, siendo este el elemento encargado de radiar y recibir las ondas, de su calidad dependerá mucho el rendimiento de esa radiación y por tanto el enlace.
- **Sensibilidad del receptor**, es la facilidad de un receptor para recibir una señal por débil que sea, reproduciendo fielmente el mensaje. Es una característica de fabricación.
- **Potencia del emisor**, se mide en vatios. En radiotelefonía de VHF y UHF no es excesivamente alta la potencia de transmisión, pues igual alcance tendría prácticamente (rayo directo) un equipo de 15 W que otro de 50 W, y este último consumiría mucho más y ocuparía más sitio.
- **Interferencia**, es el efecto de una energía no deseada debida a una o varias emisiones, radiaciones, inducciones o sus combinaciones sobre la recepción en un sistema de radiocomunicación, que se manifiesta como degradación de la calidad o pérdida de la información.

En cuanto a las antenas, sus diversas propiedades son las mismas tanto si dichas antenas se utilizan para transmisión como si se utilizan para recepción (reciprocidad de las antenas). Las características de las antenas son:

- **Impedancia**: Es un factor que necesariamente se debe conocer, por que permite su adaptación a la impedancia del emisor asegurando así la máxima transferencia de energía.
- **Ganancia**: Es el número de veces que es mayor el campo electromagnético producido por dicha antena en la dirección más favorable con respecto al producido por otra antena tomada como modelo. Se mide en decibeles.
- **Ancho de Banda**: La banda de paso de una antena es el dominio de frecuencia dentro del cual opera satisfactoriamente.
- **Longitud de antena**: A frecuencias más altas la longitud es menor, la difusión de una radiación optima se obtiene con una antena de media longitud de onda o múltiplo entero
- **Directividad**: Es la dirección horizontal en la que se produce la radiación de la antena.
- **Polarización**: Es la dirección que tiene el campo eléctrico de la onda electromagnética generada. Puede ser horizontal o vertical.
- **Angulo de Radiación**: Es el ángulo vertical en el que una antena emite o recibe la máxima intensidad del campo eléctrico

4.1 Ondas superficiales

La propagación de una onda electromagnética que procede de una antena emisora, se expande en todas direcciones y en línea recta, parte de ellas se propagan siguiendo la superficie terrestre (ondas de tierra), y otra parte se propaga hacia la vertical en dirección al espacio (onda espacial).

Las ondas terrestres, mostradas en la figura 4.2, son aquellas que se propagan sobre la superficie de la Tierra o muy cerca de ella, las formas de propagación en estas condiciones, son: ondas directas (no hay obstáculo alguno entre emisor y receptor) y ondas reflejadas (cuando la onda directa es reflejada por cualquier obstáculo).

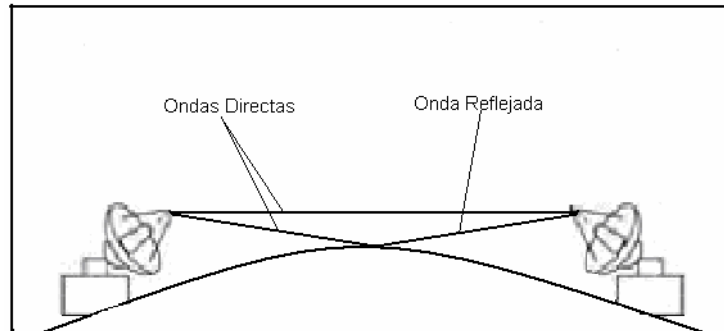


Figura 4.2 La propagación de las ondas terrestres puede ser directa o reflejada

4.1.1 Ondas directas

La onda directa no toca terreno ni a la ionosfera. La atenuación es mínima, siendo únicamente la que se produce por el espacio abierto o agentes meteorológicos (lluvia, nieve, etc.). Es la típica de frecuencias superiores a 30 MHz (VHF, UHF y SHF). Un claro ejemplo lo tenemos en los emisores de radiodifusión FM y TV, en los que para conseguir máximas distancias es imprescindible tener la antena emisora lo más alta posible (o ubicaciones de repetidores o retransmisores en cotas altas del terreno). Otro ejemplo lo tenemos en los radioenlaces de microondas (SHF o frecuencias mayores a 3 GHz) en los que es imprescindible que haya visión directa para establecerse la comunicación.

La onda directa es fácilmente absorbida por los obstáculos que se va a encontrar en su camino, creando zonas sin cobertura llamadas zonas de sombra.

Para la propagación directa de las ondas tiene una importancia considerable la altura de las antenas. En los alrededores de las ciudades estamos acostumbrados a ver antenas que se elevan más de un centenar de metros, los retransmisores para las emisoras de radio y televisión se levantan a grandes alturas, sobre los montículos dominantes de la orografía del terreno que se desee cubrir con la señal, lo cual condiciona la longitud de onda y el alcance directo de la emisión.

Para lograr transmisiones idóneas con onda directa a distancias mayores, se emplean comúnmente repetidores. Los repetidores son equipos transmisores-receptores que automáticamente vuelven a radiar la señal que reciben después de haberla sometido a un proceso de amplificación.

4.1.2 Ondas reflejadas

Desde los 30 kHz se puede considerar que existen múltiples modos de propagación. Uno de ellos se propaga paralelo al suelo y se le denomina onda de

superficie. Existe hasta los 30 MHz en tierra y 150 MHz en mar. Los otros modos interactúan con la ionosfera.

La onda reflejada llega al receptor después de reflejarse en la tierra o mar y sufre una gran atenuación por la propia naturaleza del terreno y depende mucho de éste. En ocasiones favorece el establecimiento de la comunicación a largas distancias.

En las bandas LF y MF, principalmente, y con menor alcance en HF aparece una onda de superficie que se propaga en la discontinuidad tierra-aire, adaptándose a la curvatura del terreno. Las antenas empleadas habitualmente, en este tipo de propagación, son monopolos verticales con alturas entre 50 y 200 m que producen polarización vertical.

El alcance que se puede lograr con onda de superficie esta en función de la potencia transmitida y la frecuencia empleada, y varía entre:

- *LF (Onda Larga)*: 1000 a 5000 km
- *MF (Onda Media)*: 100 a 1000 km
- *HF (Onda Corta)*: menos de 100 km

Este tipo de propagación es posible gracias a la difracción. Las ondas de radio siguen la curvatura de la tierra por la cual la onda radiofrecuencia es capaz de alcanzar grandes distancias antes de que la señal sea absorbida por la tierra. La figura 4.3 muestra como gracias al efecto de la difracción la señal puede sortear edificios y montañas.

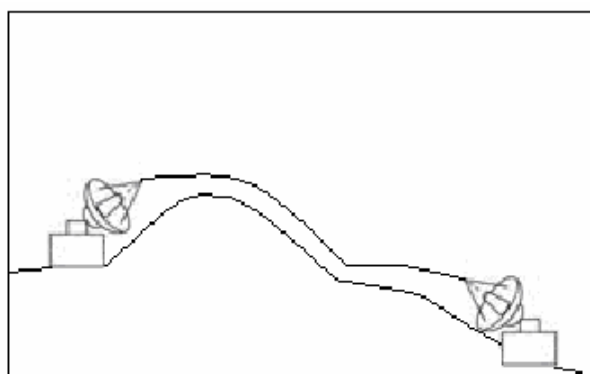


Figura 4.3 Efecto que tiene la difracción sobre las señales RF

La propagación por medio de ondas reflejadas son principalmente las ondas de frecuencia media (ondas medias, OM) y de frecuencia baja (ondas largas, OL). Sin embargo, las Ondas Medias apenas utilizan la onda de suelo para cubrir una zona pero se benefician después de la puesta del sol de los fenómenos de propagación ionosférica

La propagación por onda terrestre solo es útil, por lo tanto, para frecuencias inferiores a los Mega Hertz, siendo esta una de las mejores formas de transmitir una señal de RF de baja frecuencia a largas distancias. Este tipo de propagación es comúnmente usada por las radiodifusoras de media onda y de onda larga.

Las Ondas Largas se propagan principalmente a muy baja altitud, por onda de suelo. Su gran longitud de onda permite el rodeo de los obstáculos. Para una misma distancia del emisor, el nivel de la señal recibida es muy estable. Este nivel disminuye tanto más rápidamente cuanto más se eleve la frecuencia. Las ondas de frecuencia muy baja penetran un poco bajo la superficie del suelo o el mar, lo que permite comunicar con submarinos en inmersión.

La onda superficial guiada, por decirlo de alguna manera, sobre la superficie de la Tierra sigue su curvatura y si la Tierra fuese un conductor perfecto la transmisión alcanzaría distancias enormes, pero no ocurre así. Se inducen tensiones entre las ondas y el suelo que dan lugar a una cierta pérdida de energía que provoca una atenuación o pérdida de la energía de propagación de la onda y, con ello, acortan en gran medida la distancia útil a la que es capaz de llegar la señal radiada por la antena del emisor.

En la propagación tiene una gran importancia la frecuencia de la señal, las ondas de alta frecuencia son atenuadas más rápidamente que las ondas de frecuencias más bajas.

Si consideramos los dos tipos de propagación sobre la superficie de la Tierra (onda directa y reflejada), por ejemplo, cuando las antenas emisora y receptora están a la vista, la señal que recibe esta última no es única, sino que es la resultante de dos ondas, la onda directa y la reflejada. Ambas se encuentran y se suman, de tal modo que la onda resultante puede quedar reforzada o disminuida según que dichas señales lleguen en fase o en oposición de fase.

Cuando una onda llega a tierra, su frente se refleja y se invierte su fase, sufre un desfase de 180° con relación a la onda que sale de la antena y cuando la distancia entre antenas es corta y quedan casi a la misma altura del suelo, prácticamente se considera idéntica la longitud recorrida por las dos ondas y se anula en la antena receptora. Estarán también en fase cuando la señal reflejada llegue a la antena receptora un múltiplo impar de una semionda y, en cambio, también estarán en oposición de fase cuando la señal reflejada llegue al punto receptor un múltiplo par de la semionda.

Entre las dos posiciones extremas (que las ondas estén en fase o en oposición de fase) pueden darse todos los casos intermedios, así la interacción entre las ondas directa y reflejada puede dar lugar a señales que irán desde un valor máximo a un valor mínimo.

En la práctica se procurará adecuar la longitud, la altura de la antena receptora y la situación de ésta con relación a la dirección de propagación, para que ésta sea directa y evitando en lo posible la interposición de obstáculos entre emisor y receptor.

Si la distancia entre antenas es mayor que la máxima distancia visual, teóricamente no debería recibirse señal en la antena receptora, pero como se ha expuesto antes, las ondas terrestres se difractan sobre la superficie contorneando los obstáculos. Las ondas sonoras, son de baja frecuencia y rodean con facilidad los grandes obstáculos, pero no sucede lo mismo con las ondas electromagnéticas en donde la difracción es más pequeña.

Durante el día, la mayor parte de las transmisiones tienen lugar basándose en la propagación de las ondas superficiales, pero los mejores resultados se consiguen con frecuencias medias y bajas puesto que las frecuencias elevadas sufren una atenuación mucho mayor.

La tierra es un gran absorbente de ondas sonoras debido a la resistencia que aquélla opone a las mismas, pero cuando aumenta el grado de humedad también lo hace la conductividad y ello favorece la propagación. Sucede esto porque la humedad propicia la conductividad eléctrica. Reacuértese, por ejemplo, que la descarga de los pararrayos sólo era efectiva cuando la zona de tierra hacia la que se llevaba el conductor de bajada estaba suficientemente húmeda como para ofrecer una resistencia mínima.

Algo similar sucede con las ondas electromagnéticas superficiales: la conductividad es tanto mayor cuanto más húmedo está el terreno, asimismo es mucho mayor a través del mar que sobre tierra firme. Este es uno de los motivos por los que las emisoras situadas junto al mar aumentan en gran medida su alcance cuando dirigen sus emisiones en esta dirección. Por un lado el agua favorece la conductividad y por otro la ausencia de obstáculos físicos permite a la onda superficial adaptarse al máximo a la curvatura terrestre. Este tipo de emisora de cara al mar se dedica, sobre todo, a comunicaciones sobre este medio, dirigidas a los barcos, con ondas largas que llegan a distancias difíciles de alcanzar con ondas directas o reflejadas. La banda de frecuencia llega de 15 a 300 kHz, lo que supone una longitud de onda a partir de 1000 m en adelante.

Por las especiales condiciones de propagación se utilizan poco con fines comerciales y su interés reside en aprovechar las ondas superficiales sobre el mar, donde la onda se atenúa muy poco y se alcanzan distancias de hasta 1500 km. Estas señales son muy estables y no sufren variaciones diurnas ni estacionales.

Tal como va aumentando la frecuencia, desde 300 kHz hasta 3 MHz, la distancia alcanzada apenas es superior a los 300 km y ello con potencias de emisión considerables y siempre que se mantengan unas condiciones ideales de propagación sobre la superficie terrestre por la que discurren.

A partir de 3 MHz, la onda terrestre sufre una atenuación tan grande que no es utilizable para distancias superiores a 30 km, lo que fija el límite de su empleo en la práctica, debiendo emplearse otros métodos de propagación para frecuencias mayores a distancias importantes.

Las ondas de tierra, son las causantes del efecto “desvanecimiento” cuando se reciben con fase distinta que las ondas de espacio.

Las aplicaciones más comunes a este tipo de emisión son: radiodifusión sobre Grandes Ondas, difusión de las señales horarias (relojes de radio-controladores), se aplica a sistemas navales y en radiodifusión de onda media. La potencia de estos emisores es enorme: a menudo emplean varios megavatios para obtener alcance que puede llegar hasta miles de kilómetros. Las pérdidas de la onda de superficie aumentan con la frecuencia y con la distancia y disminuyen al aumentar la conductividad del suelo.

La expresión general del campo recibido en estas condiciones esta dada por una componente de espacio, que para puntos situados sobre Tierra se cancela con la componente reflejada, y una componente de superficie, que se propaga rasante a la Tierra, guiada por el efecto dieléctrico de esta. La “ecuación general de la propagación” es:

$$e = e_o \left(\underbrace{1}_{\text{RD}} + \underbrace{R \cdot e^{-j\Delta}}_{\text{RR}} + \underbrace{(1-R) \cdot A \cdot e^{-j\Delta}}_{\text{Onda de superficie}} \right)$$

Donde:

- e es la intensidad de campo en recepción en condiciones reales
- e_o es la intensidad de campo en condiciones de espacio libre
- R es el coeficiente de reflexión

En la figura 4.4 se muestra un ejemplo de la recepción por medio de onda directa y onda reflejada.

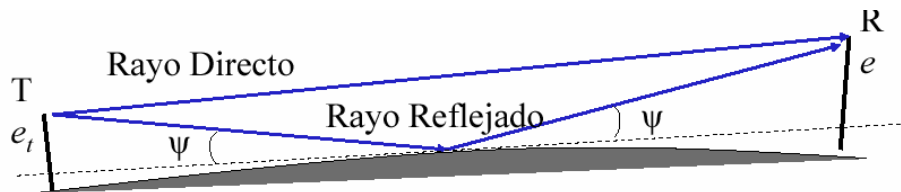


Figura 4.4 Onda directa y onda reflejada

4.2 Ondas espaciales

En este tipo de propagación, las ondas radiadas al espacio constituyen toda la base de las comunicaciones. El amortiguamiento es menor que en las ondas superficiales.

La energía radiada con una inclinación positiva, hacia arriba, se propaga a lo largo del espacio, constituyendo así la onda espacial. La zona útil de la propagación por onda espacial y el alcance de la transmisión viene dada y limitada por el horizonte geográfico de la antena transmisora. Por el contrario, en la transmisión por ondas terrestres el alcance es considerablemente mayor que el espacial pues puede llegar a ser de varios miles de kilómetros, dependiendo de la potencia del emisor.

Es muy importante tener en cuenta que en igualdad de condiciones el mayor alcance se obtiene cuando la onda viaja a través del agua salada. La propagación es muy difícil de predecir, pues la onda en el espacio puede encontrarse con condiciones buenas, regulares o malas, continuamente con cambios. También depende en gran parte de la antena receptora instalada y conectada al receptor y la hora a la que se reciben las emisiones junto con la época del año en que nos encontremos en esos momentos.

La atenuación es relativamente pequeña, por lo que el alcance puede ser muy grande con muy poca potencia en la transmisión. Las ondas espaciales tienen mucha dependencia de la ionosfera y de las características que en ese momento y en ese punto se estén reflejando.

Asimismo, dependiendo de la frecuencia de transmisión, las ondas pueden alcanzar diferentes capas de la ionosfera, y pueden ser reflejadas o no dependiendo de las condiciones de esta última. A mayor frecuencia mayor altura alcanzan las ondas, lo que por el contrario es perjudicial ya que las primeras capas son las que más fácilmente reflejan las ondas.

También podemos considerar que la misma onda transmitida puede ser reflejada por diferentes capas, obteniendo así diferentes distancias en su refracción.

4.2.1 Ondas troposféricas

Las ondas troposféricas son aquellas que se propagan en la zona de la atmósfera que tiene este mismo nombre: troposfera. Esta región situada entre 300 y 10,000 metros sobre la superficie, es el lugar en donde se forman las nubes y en el que las ondas pueden sufrir algún tipo de modificación debido a la influencia de las capas del aire (figura 4.5).

Las condiciones climatológicas en la atmósfera a estas alturas son responsables del doblaje de las ondas hacia abajo. Esta refracción troposférica hace la comunicación posible sobre grandes distancias que las que pudieran ser cubiertas por una onda espacial ordinaria. El doblaje de la onda se incrementa con la frecuencia, por lo que la comunicación troposférica mejora conforme la frecuencia aumenta. El doblaje es intrascendente en frecuencias por debajo de los 28 MHz, pero proporciona posibilidades interesantes de comunicación en frecuencias de 50 MHz hacia arriba.

Las condiciones de propagación de estas ondas presentan una gran dependencia de la temperatura y humedad del aire contenido en la troposfera. Como estos valores no son constantes en ninguna zona, la propagación será irregular en esta capa atmosférica.

La refracción en la troposfera tiene lugar cuando las masas de aire se encuentran estratificadas en distintas regiones teniendo constantes dieléctricas diferentes. Si el límite entre las dos masas de aire está perfectamente definido, la reflexión es igual que la refracción tienen lugar por las ondas que topan en el límite de la intersección de los ángulos.

La causa más común de refracción troposférica es la inversión por temperatura. Algunos de los tipos de inversión térmica son inversiones dinámicas, originadas cuando masas de aire caliente se desplazan sobre masas de aire frío; el descenso de inversión es causado por el movimiento de aire calentado por compresión; la inversión nocturna, ocasionada por el rápido enfriamiento de la superficie después de la puesta del sol; y la inversión por las capas de nubes, ocasionada por el calentamiento del aire sobre las nubes por la reflexión de los rayos solares sobre

la superficie de las nubes. Transiciones abruptas en el contenido de vapor de agua de la atmósfera puede también producir refracción y reflexión a las ondas de VHF.

Debido a las condiciones atmosféricas que producen refracción troposférica rara vez es estable durante un período de tiempo, la intensidad de la señal recibida usualmente varía o se "desvanece" sobre un amplio rango. Las variaciones de horario o de estación son también observadas. Las mejores condiciones ocurren con frecuencia en el atardecer y justamente antes de la salida del sol, y las condiciones son pobres al medio día cuando las condiciones de la atmósfera son estables. La reflexión troposférica es generalmente buena al inicio del verano y al inicio del otoño y son más pronunciadas a lo largo de las costas.

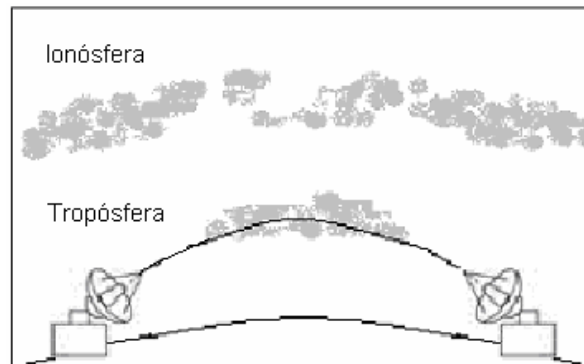


Figura 4.5 Propagación de RF en la troposfera

Una atmósfera ideal sería aquella que partiera de valores máximos de densidad y de conducción en las zonas bajas hasta llegar a una densidad prácticamente nula y sin humedad en las zonas altas.

Sin embargo, en la práctica, estas condiciones no se dan nunca, lo normal es que en el aire de la troposfera se den zonas de turbulencias (masas cambiantes de nubosidad) y estratos más o menos paralelos de diferente temperatura y concentración de humedad, lo que permite alcanzar en casos especiales distancias importantes.

La onda troposférica mantiene esencialmente la misma polarización a lo largo del viaje, por lo que las antenas transmisora y receptora deben tener el mismo tipo de polarización. Partiendo que las ondas que entran en la región de refracción en cualquier otro ángulo de incidencia no son dobladas lo suficiente para ser útiles para comunicaciones, la antena transmisora debe de ser diseñada para máxima radiación horizontal. La antena receptora al igual debe tener un bajo ángulo para que la señal recibida sea bien utilizada.

En la figura 4.6 se representa lo que sucede con la propagación de las ondas en las proximidades de las zonas montañosas. La influencia que tienen las diferentes elevaciones del terreno sobre las masas de aire que las rodean hace que no existan grandes capas uniformes de aire que tengan idéntica temperatura y humedad, lo que conlleva una dispersión de las ondas que llegan a ellas.

A este tipo de propagación se le conoce como propagación por dispersión. La dispersión se aprovecha muy poco en las zonas montañosas pero resulta de gran utilidad sobre grandes llanuras o áreas marítimas, en donde los estratos son más estables, y sobre todo a frecuencias de cientos o miles de megahercios.

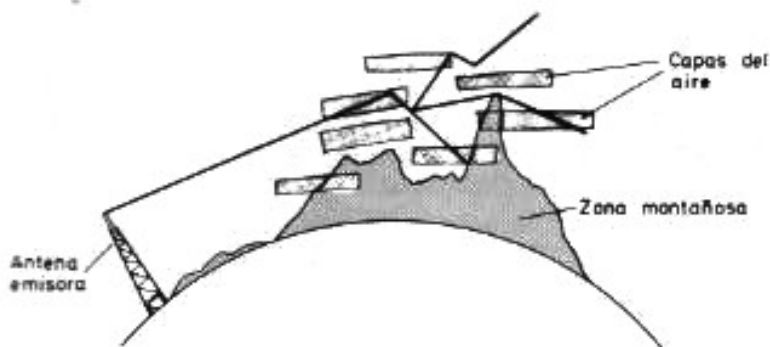


Figura 4.6 Las zonas montañosas producen turbulencias por la poca uniformidad de las capas del aire existente sobre ellas

Las comunicaciones por dispersión resultan útiles en la transmisión de señales de televisión o telefonía utilizando grandes potencias y antenas direccionales. Con las señales de VHF, UHF y SHF se puede llegar a distancias mayores que el alcance visual pero perdiendo estabilidad y recogiendo perturbaciones de tipo atmosférico. La lluvia, la nieve, las tormentas con descargas eléctricas, etc. ocasionan importantes variaciones en la propagación de las ondas de este tipo.

4.2.2 Ondas ionosféricas

La ionósfera se encuentra por encima de los 60 y hasta los 600 km de altura de la superficie terrestre, en esta zona el aire está ionizado, por lo que es un buen conductor de la electricidad, lo que influye en gran medida a la propagación de las ondas electromagnéticas.

La ionización de la atmósfera se debe a que en esta zona existe una gran cantidad de gases, cuyos átomos pierden algún electrón convirtiéndose en iones positivos, esto se debe a que son impactados por los rayos cósmicos y las radiaciones ultravioletas del sol; estos iones y electrones libres chocan y se recombinan entre sí de forma ininterrumpida, debido a que las radiaciones continúan llegando a todas las zonas de la atmósfera, especialmente en la ionosfera que se encuentra en la zona atmosférica superior, mientras que en las capas inferiores apenas llega un pequeño porcentaje de éstas.

La densidad de ionización (número de iones por cada unidad de volumen) permite una mayor o menor propagación de las ondas electromagnéticas; la ionización no es un fenómeno constante en todos los puntos de la capa atmosférica, en ella, influyen la rotación de la Tierra, las manchas y erupciones solares y la radiación que llega, según sea de día o de noche.

La propagación de las ondas electromagnéticas en la ionosfera es más importante en la zona central, lugar donde los iones formados duran más tiempo, es decir es una zona más estable; ya que en la parte superior la radiación es mayor lo que

implica que los iones formados duren menos tiempo debido al gran número de recombinaciones, lo que significa que haya en esta zona variaciones importantes. Por otro lado, en la parte baja penetra muy poca radiación, lo que implica una menor cantidad de iones que faciliten la propagación.

Subcapas ionosféricas

La ionosfera esta compuesta de varias capas distintas, que afectan a las radiocomunicaciones, cada una de manera ligeramente diferente. Aunque ionización existe sobre toda la ionosfera, su nivel varía con la altitud. Los máximos apogeos en el nivel pueden ser considerados como capas diferentes, o más correctamente, regiones. Estas regiones se conocen como: D, E, y F. También existe una región C, debajo de las anteriores, pero su nivel de ionización es tan bajo que no tiene ningún efecto en las señales de radio, y se menciona rara vez.

Las diferentes capas o regiones de la ionosfera tienen características diferentes y afectan a las comunicaciones de radio de distintas maneras. También hay diferencias en la manera exacta en que se crean y se mantienen. En vista de esto, a continuación se menciona con mayor detalle cada una (figura 4.7):

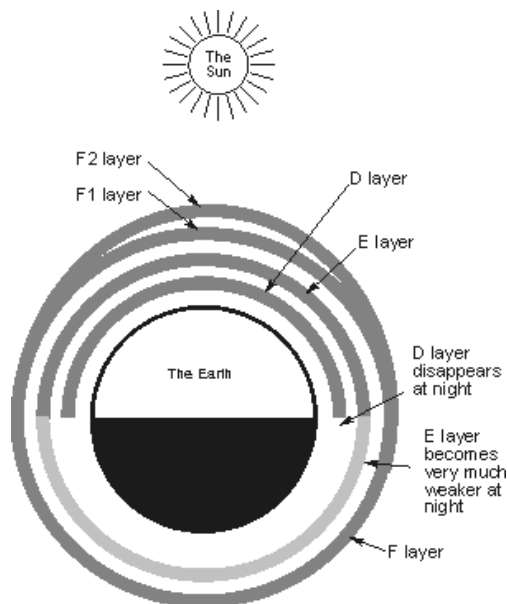


Figura 4.7 Capas en que se subdivide la ionosfera

- **Capa D.** La región D es la más baja de las regiones dentro de la ionosfera (es la más cercana a la troposfera) que afecta a las señales de radiocomunicaciones. Está a altitudes de entre 60 y 90 kilómetros aproximadamente; la ionización dentro de esta capa esta presente únicamente durante el día, por lo que afecta a las ondas de radio notablemente cuando el sol esta presente. Su nivel de ionización se mantiene por la radiación solar y dichos niveles decaen rápidamente cuando se oculta el sol. Esta región, absorbe o atenúa señales de comunicaciones de radio, principalmente en LF y la porción de MF del espectro de radio, esta afectación se reduce con la frecuencia. Por la noche no tiene prácticamente efecto sobre la mayor parte de las señales de radio,

aunque todavía conserva un nivel suficiente de ionización para refractar señales de VLF.

- **Capa E.** Se encuentra por encima de la región D. Existe en altitudes de entre 100 y 125 kilómetros aproximadamente. En lugar de atenuar las señales de radiocomunicaciones esta capa las refracta, generalmente a un grado donde son devueltas a tierra, es decir se reflejan Sin embargo esta capa actúa también como un atenuador hasta cierto punto. Al igual que la región D, el nivel de ionización cae relativa y rápidamente después del anochecer y desaparece prácticamente por la noche. Sin embargo, por la noche la ionización residual que se encuentra en la parte más baja de la región de E causa un poco de atenuación a las señales de la parte más baja del espectro de radiocomunicaciones de HF.

Esta capa permite devolver las ondas electromagnéticas hasta una distancia alejada de 2,000 km del punto de origen, presenta su mayor influencia en la propagación durante el día, sin embargo durante la noche no sufre una anulación total. En la práctica esta capa facilita la conducción de las ondas medias.

- **Capa F.** La región más importante en la ionosfera para las radiocomunicaciones de HF de larga distancia es la región F. Durante el día, cuando la radiación del sol es mayor, esta región se subdivide en dos subcapas, la más baja llamada subcapa F1 (a una altitud alrededor de 300 km) y la más alta conocida como subcapa (alrededor de 400 km de altitud). La capa F combinada puede centrarse entre 250 a 300 kilómetros. La altitud de las todas las capas de la ionosfera varía considerablemente y para la capa F esta variación es mucho mayor. Por lo que, las cifras dadas deben considerarse como una guía preliminar solamente. Siendo la capa F la más alta de las regiones ionosféricas, se ve enormemente afectada por el estado del sol, como por ejemplo por la hora del día, la estación del año, etcétera. La capa F actúa como un "Reflector" de señales en la porción del espectro de HF, lo que permite que a mundo las comunicaciones de larga distancia se establezcan. Esta región es la principal relacionada con la propagación de la señal de HF.

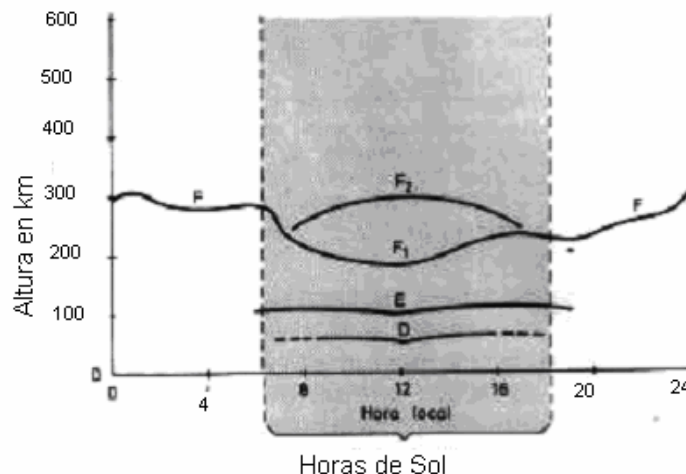


Figura 4.8 Comportamiento de las capas de la ionosfera durante las 24 horas del día

De la misma manera que en las regiones D y E, el nivel de ionización de la región F varía sobre el curso del día, cayendo por la noche cuando la radiación del sol desaparece. Sin embargo el nivel de ionización permanece mucho más alto. La densidad de los gases es mucho más baja y por consiguiente la recombinación de los iones y los electrones tiene lugar más despacio, en comparación con la región E. Como consecuencia de esto, tiene una afectación sobre señales de radio por la noche, siendo capaz de devolverlas, a muchas de ellas, a tierra, aunque tiene un efecto reducido en algunos aspectos.

En la capa F influye la estación del año en que se encuentre, ya que se recibe más o menos directamente la radiación solar, lo que implica una variación. Esta capa se emplea la onda corta para desplazamientos a larga distancia. El comportamiento de las capas de la ionosfera, a lo largo de las 24 horas del día se encuentra mostrado en la figura 4.8.

Factores que influyen en la propagación de las ondas ionosféricas

La influencia que ejerce la ionosfera sobre las ondas electromagnéticas se debe principalmente a dos factores, al ángulo de incidencia y a la frecuencia de la onda. Aunque en una estación emisora las ondas se emiten en todas direcciones, la figura 4.9 nos ayuda a comprender el comportamiento de la onda con tres posibles ángulos de incidencia distintos.

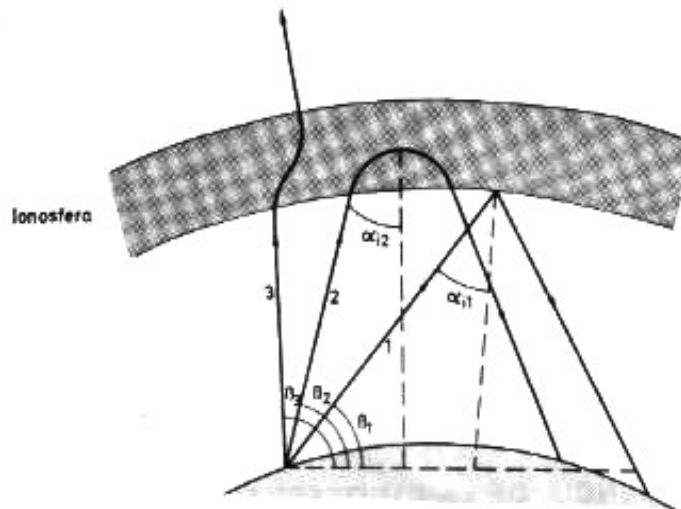


Figura 4.9 Comportamiento de la onda electromagnética según el ángulo de incidencia

La primera trayectoria, mostrada en la figura anterior, sucede cuando el ángulo de incidencia α_{i1} , es muy grande y el ángulo de propagación β_1 es muy pequeño, en este caso las ondas electromagnéticas retornan a tierra sin atravesar la capa ionizada.; es decir, se produce una reflexión. El segundo caso se presenta con un ángulo de incidencia medio α_{i2} y un ángulo de propagación β_2 , la onda electromagnética se refracta en la ionosfera, sin embargo mantiene una trayectoria curva que le permite regresar de nuevo a la Tierra. Por último, cuando la onda incide con un ángulo de incidencia α_{i3} muy pequeño, o bien, con un ángulo de propagación β_3 muy elevado, estas atraviesan la ionosfera, perdiéndose en el espacio.

Los mecanismos de propagación en MF y HF se deben a la onda ionosférica, las “reflexiones ionosféricas” (realmente refracciones) se producen en dichas bandas (0.3 – 30 MHz). En HF se utilizan antenas elevadas con polarizaciones horizontales y verticales.

El alcance para un solo salto con este tipo de propagación varia entre:

- *MF (Onda Media)*: 0 a 2000 km (noche)
- *HF (Onda Corta)*: 50 a 4000 km (día y noche)

En el segmento de las ondas medias (MF), la onda terrestre es absorbida por los obstáculos naturales más rápidamente que las anteriores. Sin embargo por la noche la onda espacial es reflejada hacia abajo por lo que puede alcanzar varios miles de kilómetros.

La propagación en Onda Corta se realiza mediante propagación ionosférica, la energía de alta frecuencia de la onda se refleja por las capas altas de la atmósfera, siempre que el ángulo con que incida en ella lo permita, siendo la más importante, la subcapa ionosférica llamada F2, situada a unos 250 kilómetros por encima de la superficie de la Tierra. La onda de HF puede llegar a la ionosfera logrando atravesar las primeras subcapas ionizadas, sin embargo, al seguir su camino hacia capas superiores retornara a tierra. Para las altas frecuencias, la ionosfera tiene un poder de absorción mucho menor que para las bajas frecuencias y ello permite aprovechar mejor la señal pero sin llegar a sobrepasar el ángulo de propagación correspondiente a estas frecuencias para, al menos, la última capa.

Factores que afectan a la ionósfera

Las propiedades reflectoras de esta capa se deben a que la densidad del aire a esta altura es tan pequeña que la radiación solar y especialmente, los rayos ultravioletas provenientes del sol, son capaces de ionizar el aire, desprendiendo iones y electrones libres. Siendo la concentración de electrones o "gradiente de ionización" lo que determina las propiedades reflectoras de esta capa, así por ejemplo, cuando dicha concentración es grande, la capa podrá reflejar incluso las frecuencias altas (cortas longitudes de onda) hacia la Tierra; cuando es baja, sus características de reflexión se limitarán a las bandas de baja frecuencia solamente.

Durante el día el alcance es menor porque las capas están más cerca de la Tierra. Al llegar la noche, las capas ionizadas se alejan de la superficie y para iguales frecuencias de propagación el alcance es mayor. Los factores que tienden a aumentar el grado de ionización de la capa son la posición del Sol y la cantidad de radiación ultravioleta emitida por el; es decir, son importantes para la reflexión de los rayos incidentes, la hora del día o de la noche y la estación del año, y la cantidad de radiación ultravioleta que aumenta en ciclos de 11 años, cuando se producen las llamadas manchas solares.

Para comprender mejor como es que estos factores influyen en la propagación de onda corta, consideremos que el Sol, a una distancia de 150 millones de kilómetros, emite continuamente luz y radiaciones diversas en todas direcciones,

tiene una temperatura superficial de unos 6000 grados Kelvin; y que, la luz proveniente de esta estrella tarda aproximadamente 8.5 minutos en llegar a la Tierra.

Al realizar la Tierra una vuelta alrededor de su eje cada 24 horas, el lado que queda frente al Sol recibe su luz y radiaciones emitidas, mientras que en el lado opuesto queda sumido en la oscuridad. El Sol tarda 27 días en dar una vuelta sobre su eje, por ello, los fenómenos persistentes en la superficie solar se repiten en este mismo lapso de tiempo (figura 4.10).

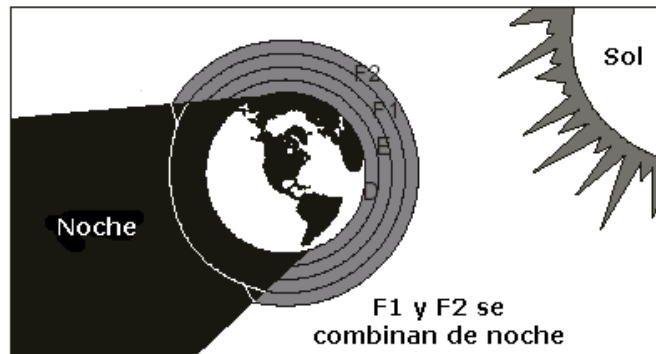


Figura 4.10 Sobre una parte de la Tierra inciden las radiaciones ultravioletas del Sol (día), mientras que el resto queda libre de ellas (noche)

Debe considerarse también, que la Tierra da una vuelta al Sol en el curso de un año. Como el eje de la Tierra no es perpendicular al plano orbital, sino que forma un ángulo de 65.5 grados con él, hay períodos en que el hemisferio septentrional recibe más, y durante más tiempo, la luz solar que el meridional y viceversa.

Estos fenómenos no dejan de repercutir en la propagación de onda corta porque el estado de la ionosfera depende del período de tiempo durante el cual esté sometido a radiación y de la intensidad de la radiación, que a su vez depende de la altitud del Sol sobre el horizonte.

Por ello, en las frecuencias que usamos para las comunicaciones de onda corta tiene que considerarse la estación del año, y adaptarse en caso necesario, a cada una de ellas. La tolerancia (desviación debido a condiciones variables) en la elección debe ser suficientemente grande para cubrir toda la estación del año. Es por ello, que se realizan, en ocasiones, cambios en los horarios de transmisión de las emisoras de onda corta. Estos cambios tienen efecto, el primer domingo de marzo para el período equinoccial de marzo-abril; el primer domingo de mayo en verano, que dura 4 meses; el primer domingo de septiembre (período equinoccial septiembre-octubre), y el primer domingo de noviembre para el período invernal, que dura 4 meses. (Verano e invierno de acuerdo con el cómputo del hemisferio septentrional).

Debe considerarse también, que el día y la noche tienen en todos los períodos la misma duración en los lugares que están situados a igual longitud sobre la Tierra, los días son largos en verano y las noches largas en invierno. Como la Tierra gira alrededor de su eje norte-sur, el período de luz diurna se desplaza del este al oeste. Así, el mediodía más tarde estará en lugares situados más al este y más

pronto en los lugares situados al suroeste. Esto es importante en lo que respecta a las comunicaciones este-oeste u oeste-este y sus puntos de control.

El Sol también es un imán gigantesco, con un potente campo magnético exterior e intensas corrientes magnéticas debajo de su superficie, por lo que se enfría localmente, apareciendo manchas oscuras vistas desde la Tierra, mejor conocidas como manchas solares, de tamaño aproximado al de la Tierra y que pueden llegar a ser hasta ocho veces mayores que ella. Al producirse estas manchas, escapan del Sol considerables cantidades de energía en forma de radiaciones violeta y ultravioleta, siendo el segundo tipo de radiación la más importante para la propagación de onda corta.

Este tipo de manchas solares, fueron estudiadas por el astrónomo Suizo Wolf, quien mediante datos tomados a través de los siglos, descubrió la periodicidad undecenal de la actividad de dicho fenómeno solar. En los períodos de mayor actividad de dicho fenómeno en la superficie solar se observan pequeñas manchas en grupo o grandes manchas aisladas, o combinaciones de ambas, ocasionando que una gran porción de la masa solar sobresalga y escape la radiación solar, influyendo en las comunicaciones de onda corta sobre la tierra.

Wolf introdujo un sistema de recuento, conocido como número relativo de Wolf (R) o de manchas solares, así por ejemplo durante la baja actividad solar, el valor medio se encuentra próximo a cero y durante la alta actividad solar dicho número tiene un promedio mensual de 150.

Dado los factores mencionados anteriormente, la intensidad de ionización se halla fuera de nuestro control, por lo que en la propagación en onda corta, la selección de frecuencias es muy importante, además de que se deben adaptar también las propiedades de la antena transmisora (diagrama de radiación) a dicho factor.

Predicción y alcance de la propagación de las ondas ionosféricas

Con el fin de poder predecir el comportamiento en la propagación de onda corta existe una red mundial de estaciones de sondeo ionosférico vertical, que primordialmente constan de un transmisor y un receptor combinado con una antena directamente hacia arriba, logrando así determinar la altura de la ionosfera y la frecuencia máxima o frecuencia crítica (FC) que aún puede reflejarse con incidencia vertical, permitiendo establecer de esta forma, datos que muestren las propiedades reflectoras reales con incidencia oblicua.

Para establecer la comunicación a larga distancia mediante onda corta, la antena transmisora se fija paralela al suelo o lo menos inclinada posible, ya que de esta manera se cubre la mayor distancia posible con una sola reflexión. En esta situación, la curvatura de la Tierra permite que el haz despegue suavemente incidiendo en la capa F2, que en el mejor caso posible será a unos 2000 km del transmisor; dicho punto es conocido como punto de reflexión o de control, se encuentra a la mitad de la distancia que hay entre el transmisor y el punto de 'aterrizaje' de la señal, y en este punto además se determinan las propiedades reflectoras de dicha capa, permitiendo que la distancia más grande alcanzada en una reflexión sea de hasta 4000 km.

La siguiente figura 4.11 muestra claramente lo anteriormente mencionado, una onda que se refleja en la ionosfera sigue una trayectoria rectilínea hasta un punto O, donde sufre una reflexión, el ángulo incidente α_i es igual al ángulo reflejado α_r . Ello significa que las trayectorias AO y AB son iguales y, por consiguiente, también serán iguales AA' y BB'.

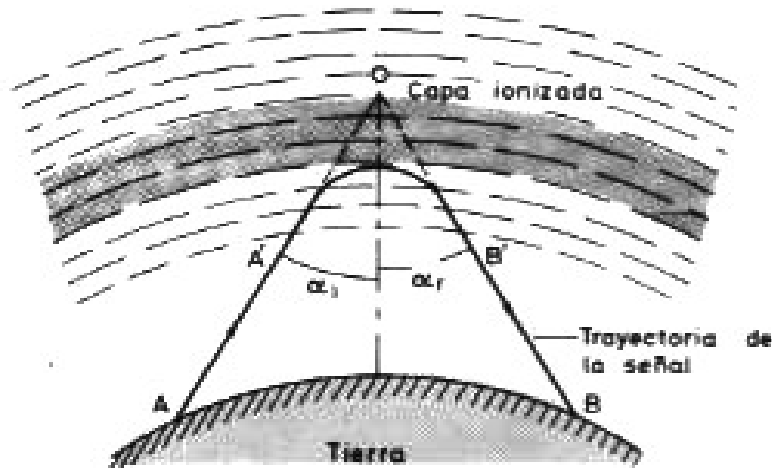


Figura 4.11 Trayectoria ideal seguida por una onda reflejada en la ionosfera. El ángulo α_i es igual al ángulo reflejado α_r

El campo de ondas electromagnéticas emitido por una antena transmisora experimenta una considerable atenuación en su camino hacia el oyente, esta absorción de la trayectoria depende de la condición de las capas ionosféricas situadas por debajo de la capa F2 y del número de reflexiones terrestres que son necesarias para alcanzar el área objetivo.

La cantidad de energía absorbida por la ionosfera es mayor cuando mayor es la distancia a recorrer por la onda, y las frecuencias a utilizar por el emisor dependen de la distancia a que se encuentra la ionosfera; existen varios tipos de gráficos en función de estos parámetros. El gráfico de la figura 4.12 señala la relación existente entre las máximas frecuencias utilizables según la hora del día y la distancia que se pretende alcanzar con una determinada frecuencia de propagación.

Durante el día la ionosfera está reforzada, mayor ionización, y con ello el alcance de la onda es mucho mayor. La figura muestra la influencia que tiene la salida del sol y cómo aumenta la distancia máxima que se alcanza hasta llegar a las horas centrales del día, para disminuir gradualmente por la tarde y llegar a un mínimo por la noche en las horas cercanas a la salida del sol. Igualmente, existen tablas en función de la estación meteorológica ya que de ellas depende la distancia del sol y la inclinación con que se reciben los rayos solares.

Dichas tablas, permiten a los organismos oficiales de cada país fijar las frecuencias de emisión dentro de la transmisión de ondas electromagnéticas, procurando que no existan interferencias con las señales emitidas en otros países, de ahí que sea necesario tener en cuenta todas estas características de propagación.

La transmisión ionosférica de un solo salto, cubre una distancia máxima de 4000 km, cuando la antena transmisora emite la señal paralelamente a la superficie terrestre. Debido a las dimensiones físicas de las longitudes de onda a utilizar, que presentan un haz de anchura relativamente grande en el plano horizontal y vertical, la misma antena en igual posición permite cubrir distancias entre los 1500 y 4000 km. Sin embargo, se necesitan antenas con diferentes diagramas de radiación para cubrir distancias más cercanas; el ángulo cambiante de incidencia también exige una revisión de nuestra frecuencia de transmisión, ya que está directamente relacionado con la longitud de la zona cubierta por la capa ionizada. Cuanto mayor es dicha zona, tanto más eficaz puede ser la acción reflectora.

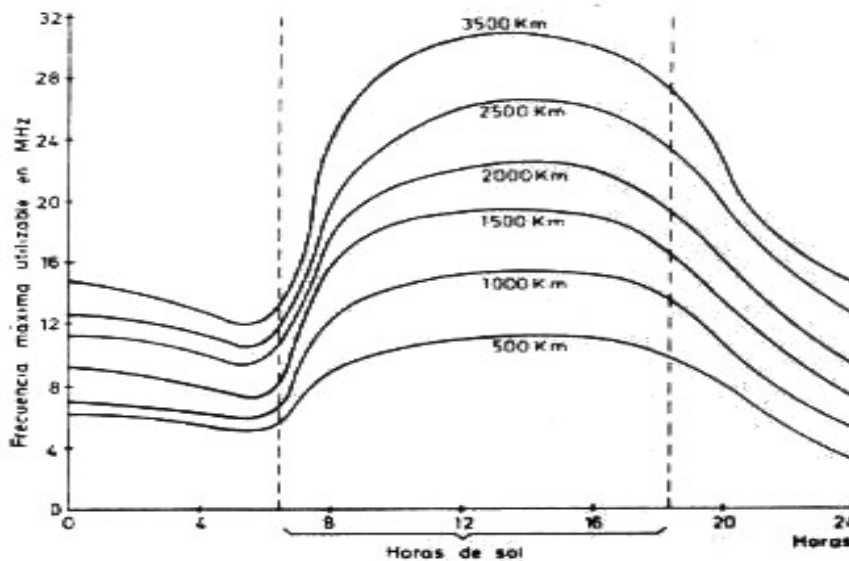


Figura 4.12 Relación entre la frecuencia de la onda, la hora del día con la distancia alcanzada por la onda

Para distancias de más de 4000 km que no pueden ser cubiertas con un “simple salto”, se emplea la transmisión de “multi-salto”. La señal rebota entre la tierra y la ionosfera; y su alcance está limitado únicamente por la absorción y difusión a la que está sometida la onda, cuando se refleja contra la tierra y cuando penetra en las porciones inferiores de la ionosfera. La tierra parece ser un excelente reflector para las ondas cortas y el efecto de difusión queda limitado cuando la señal toca el mar. Por fortuna, a este respecto, tres cuartas partes de la superficie de nuestro planeta son agua.

Si no existiera absorción en la trayectoria seguida por la señal, ésta podría circundar la Tierra eternamente, sin embargo, esto no es posible. La absorción de la onda es tan grande que se tienen serias dificultades para llevar una señal moderadamente potente al otro lado de la Tierra, a una distancia de 20000 km. La señal tendría que dar 5 saltos de 4000 km. cada uno ó 7 saltos de 3000 km para alcanzar esta área y una distancia tan grande no puede ser cubierta en condiciones desfavorables.

Generalmente, en los enlaces de onda corta se desea recorrer aproximadamente una distancia de 10000 km; por lo que se emplea un enlace de tres saltos. Por ejemplo, para determinar la frecuencia de HF que debe utilizarse para dicha

distancia, deben considerarse las propiedades reflectoras de la capa F2 en los puntos de control, éstas determinan la frecuencia máxima que podemos utilizar (Frecuencia Máxima Utilizable o FMU) para las señales radiadas en dirección paralela, o casi paralela, a la superficie terrestre. También hay una frecuencia mínima utilizable (fmu), debido a la cantidad de absorción que se produce cuando la señal penetra varias veces en las capas ionosféricas por debajo de la subcapa F2, especialmente durante el día cuando todas ellas están presentes: D, E, y F1.

Así, la frecuencia elegida para llevar las transmisiones a un área determinada se encuentra entre la FMU y la fmu, en los puntos de control. Siguiendo con el ejemplo de un enlace de 10000 km con saltos de 4000 m, basta considerar las condiciones en dos puntos terminales de control solamente. Para ello se traza la trayectoria sobre un globo terráqueo y se encuentran dos puntos de control, respectivamente a 2000 km del lugar del transmisor (que es el primer punto de reflexión) y a 2000 km del área de recepción (que es el último punto de reflexión).

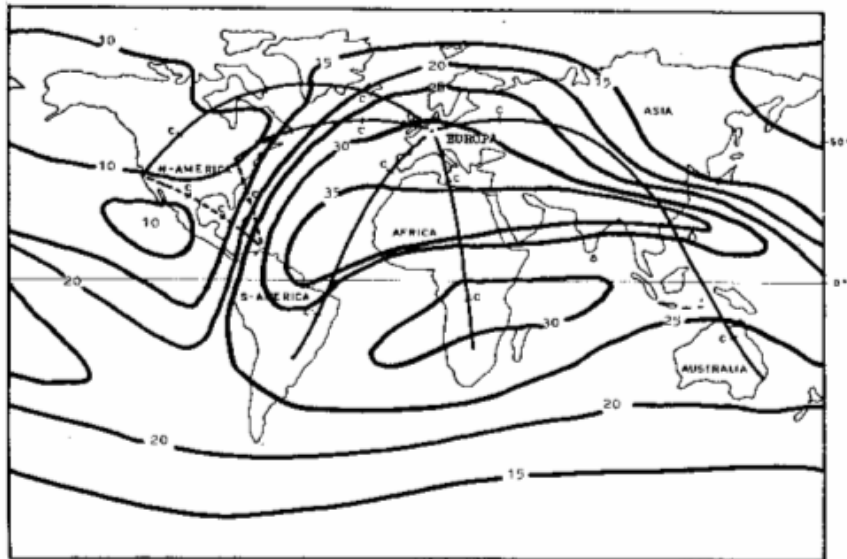


Figura 4.13 Mapa de isocurvas del mes de enero a las 12 horas GMT. Número de manchas solares: $R=70$, (F2, 4000 km, MUF en MHz)

Para realizar una predicción práctica de la propagación de onda corta se emplean cartas mundiales de isocurvas como la mostrada en la figura 4.13. Las isocurvas son interconexiones de puntos que reflejan señales de incidencia oblicua (ondas que alcanzan la ionosfera formando un ángulo) con la misma frecuencia. De este modo se forma un diagrama completo que permite conocer la distribución iónica de la ionosfera sobre la tierra y, por lo tanto, sus propiedades reflectoras.

Algunas acreditadas estaciones de investigación ionosférica, publican las cartas de isocurvas, que generalmente están trazadas para intervalos de 2 MHz. Dichas cartas permiten conocer las condiciones ionosféricas en un momento dado, para otras horas se debe disponer de otras cartas, que juntas cubren el período entero de 24 horas.

4.3 Propagación en la banda de 26 MHz

La subcapa F2 es la principal región reflectora de la ionósfera para la comunicación en alta frecuencia a larga distancia, por lo que el conocimiento de esta capa es de suma importancia para la propagación de onda corta, por ello se han realizado extensos estudios durante años con objeto de comprender su comportamiento.

Para visualizar este proceso de reflexión y/o refracción de las ondas electromagnéticas, consideremos en principio a las ondas luminosas, sabemos que la luz se refracta cuando pasa de uno a otro material, por ejemplo, del aire al vidrio. Lo mismo ocurre con la propagación de alta frecuencia, ya que la capa ionizada presenta una densidad electrónica con cambios constantes, por lo que su índice de refracción de igual forma se encuentra sometido a cambio. Esto significa que la reflexión de la onda corta en esta capa se debe a un gran número de pequeñas refracciones, siendo la trayectoria de dicha señal una curva, cuya curvatura depende de su ángulo de incidencia, frecuencia de la señal y de la intensidad de ionización de la capa.

La característica distintiva de las ondas de radio de MF y HF (de 0,3 a 3 MHz y de 3 a 30 MHz respectivamente) es la capacidad de comunicar a distancias de miles de kilómetros. Una vez alcanzado el horizonte óptico las señales se refractan en la ionosfera y alcanzan nuevamente la superficie a distancias considerables. La distancia de salto depende de la frecuencia y de propiedades de la ionosfera, que inclusive durante la noche posee características muy favorables.

La FMU (Frecuencia Máxima Utilizable) se refleja en la alta atmósfera para regresar a la superficie a muchos kilómetros del origen, depende de la actividad solar y las manchas solares que alteran la ionosfera en forma súbita y breve o por lapsos de tiempos prolongados. La FMU es variable día a día y según la irradiación solar, siendo de 10 MHz como mínimo y de 65 MHz o más con máxima actividad solar. Una de las características de la actividad solar es que logra aumentar la FMU aunque puede disminuir en forma repentina.

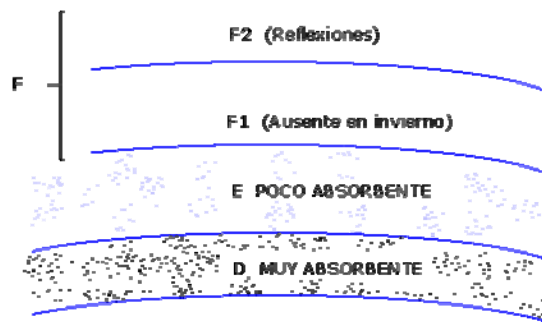


Figura 4.14 Comportamiento de la ionosfera durante el día

La ionosfera durante el día, con radiación ultravioleta máxima, permite que la capa F se separe en dos, la capa F1 por debajo y la capa F2 por arriba. La capa D, que es máxima al mediodía absorbe totalmente las señales entre 1 y 10 MHz emitidas desde la tierra, de manera que éstas no llegan a la capa F para ser reflejadas.

Debido a estos comportamientos, durante las horas del día las comunicaciones en las bandas de 1.8 MHz y de 3.5 MHz se limitan notablemente a algunos cientos de kilómetros.

Las señales superiores a los 20 MHz atraviesan todas las capas, incluida la F1 y pueden llegar a la capa F2, que mediante reflexión retornan a la tierra. Durante el invierno, al mediodía, la capa F1 desaparece y de esta manera la capa F2 refleja señales de frecuencias más elevadas (figura 4.14).

En la ionosfera durante la noche, sin radiación solar, las capas F1 y F2 se juntan y forman una sola, la capa F, entre 300 y 400 km sobre la superficie de la tierra, débilmente ionizada, refleja las señales de hasta 10 MHz aproximadamente, mientras que el resto de las señales se pierden en el espacio exterior. Durante periodos de máxima actividad solar, con ionización nocturna intensa, las señales superiores a los 14 MHz e incluso las de 50 MHz se pueden reflejar en esta capa. La distancia a cubrir en un solo salto es de mínimo 4000 km y se logran distancias mayores mediante saltos múltiples (figura 4.15).

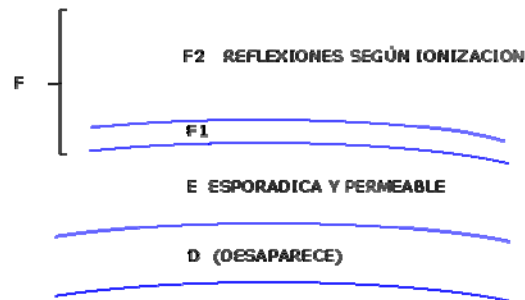


Figura 4.15 Comportamiento de la ionosfera durante la noche

Dado a que la propagación por onda troposférica (onda de superficie y propagación por visión directa) no depende de los ciclos solares, y dado que ninguno de los usos tradicionales de la propagación por onda ionosférica para circuitos de larga distancia utiliza la banda de 26 MHz, un radiodifusor puede mantener esta frecuencia a lo largo del ciclo solar de 11 años (a diferencia del uso tradicional de la radiodifusión en onda corta, donde es habitual que la transmisión se realice solamente varias horas al día y donde también es habitual que se cambie de frecuencia de transmisión a lo largo del ciclo solar de 11 años). A efectos prácticos, para las autoridades reguladoras, el uso de la frecuencia de 26 MHz con cobertura local sería similar al uso de las bandas de AM y FM.

La banda de 26 MHz, de 430 kHz de ancho de banda, está asignada a radiodifusión a nivel mundial. El artículo 12 de las Regulaciones de Radio de la UIT, establece que las asignaciones de frecuencia deben ser coordinadas por organismos coordinadores como el HFCC, dos veces al año, con el objetivo de minimizar las interferencias para todas las emisiones deseadas por los radiodifusores. La razón de la coordinación semestral radica en la naturaleza de las variaciones de la ionosfera que afectan a la propagación (como son las variaciones de las manchas solares que afectan a la refracción de la ionosfera en función de la frecuencia).

Los miembros del Grupo de Trabajo de Radiodifusión de la ITU han proporcionado datos que demuestran que los 430 kHz de la banda de radiodifusión de 26 MHz no se usan. Tampoco se usan durante los periodos de gran número de manchas solares, periodos en los que las condiciones de propagación son más propicias, y que se producen aproximadamente cada 11 años. Por lo tanto, esta banda está libre para poder emplearse en otras aplicaciones. Actualmente esta banda no tiene "clientes".

Como resultado de esta situación, una administración como la Mexicana, usando canales de 10 kHz (o de 20 kHz de ancho de banda combinando dos canales) con señales DRM y, por propagación a nivel local por onda de superficie o línea de visión directa (de una forma muy similar a la banda FM), podría planificar fácilmente tantas asignaciones locales como fueran deseadas en una zona poblada. Todo lo que debería requerirse es notificar esto en la reunión del Comité Coordinador correspondiente.

Las asignaciones locales deberían planificarse de manera que no se interfieran dentro de la localidad. En áreas densamente pobladas sobre grandes extensiones de terreno debería considerarse la reutilización de frecuencias (usar la misma frecuencia en 2 o más estaciones) en la planificación, de la misma forma que se hace hoy en día en la radiodifusión en FM.

Además, debe considerarse que, si las condiciones lo permiten, la radiodifusión eficaz a larga distancia es posible en la banda de 26 MHz, por ello, es importante utilizar todas las bandas de frecuencias disponibles. Dado también que, estas frecuencias se emplean raramente y que las transmisiones, cuando pueden efectuarse, presentan importantes ventajas por el bajo nivel del ruido atmosférico y la reducida absorción. El Comité Consultivo Internacional de las Comunicaciones de Radio (CCIR) ha formulado, el siguiente Ruego:

- Que las administraciones señalen a los organismos de radiodifusión las ventajas de la banda de 26 MHz para la radiodifusión terrenal a larga distancia, en condiciones ionosféricas favorables.
- Que se informe de estas posibilidades a los fabricantes de receptores y se les incite a ampliar la gama de sintonía de sus aparatos, con objeto de permitir la recepción en la banda de 26 MHz.

En las pruebas de recepción móvil realizadas en la Ciudad de México, esta banda fue escogida porque, para la radiodifusión pública en México, es particularmente atractiva para la introducción de la radio digital. Tiene 430 kHz de ancho de banda, por lo que puede proporcionar muchos posibles canales de DRM de 10 kHz y 20 kHz de ancho de banda, que podrían ser usados provechosamente en México, desde las mayores áreas metropolitanas a las pequeñas ciudades y pueblos.

La cobertura de una estación transmisora puede ser ajustada para actuar de la misma manera que una estación de FM, esto es, se puede elegir la potencia adecuada usando la propagación por "línea de visión directa", para cubrir la población deseada. Dado que esta parte del espectro de radiodifusión de onda corta no es usado por los radiodifusores de larga distancia, que prefieren

frecuencias más bajas, un radiodifusor en 26 MHz puede tomar esta frecuencia, conseguir una licencia de la autoridad reguladora, y usarla para su radiodifusión local. Esto no es diferente de como se asignan las estaciones de FM actualmente.

Resumiendo, las consideraciones sobre planificación espectral para el uso de DRM para los radiodifusores públicos en México, son simples en concepto, y no requerirían cambios en las normativas regulatorias.

Actualmente, el sistema DRM solo tiene estatus de estándar en todas las bandas de radiodifusión por debajo de los 30 MHz, onda larga en la región 1 de la ITU-R, y onda media (AM) y onda corta a nivel mundial. El consorcio DRM está trabajando en una extensión de su sistema, basándose en las especificaciones actuales, para poder ser usado en todas las bandas de radiodifusión terrestre entre los 30 MHz y los 108 MHz.

El estándar DRM es no-propietario, en otras palabras, está abierto a cualquiera que quiera producir equipamiento de transmisión y de recepción sin cuotas ni otro tipo de acuerdos comerciales aparte de una predeterminada cantidad por Derechos de Propiedad Intelectual, a través de una habitual tasa de “patente de consorcio” por medio de un administrador de Derechos de Propiedad Intelectual que no está directamente asociado con el consorcio DRM.

Por lo que, el sistema DRM operando en la banda de 26 MHz, será beneficioso para México por razones sociales, culturales y comerciales. Además, la opción de DRM será como una oportunidad para mejorar el uso y capacidades de los sistemas actuales de radiodifusión AM y FM.

Perdidas que sufre la señal en la propagación de onda corta

En su camino hacia el receptor, la señal sufre una pérdida considerable de energía en el espacio. Es por eso, que la señal total que llega a la antena receptora, después de reflejarse contra la ionosfera, está compuesta de señales individuales que han seguido diferentes trayectorias. Las diferentes clases de pérdidas por trayectoria se mencionan a continuación.

1. **Dispersión de energía desde la antena transmisora.** Para limitar la dispersión innecesaria, la mayoría de las emisoras de onda corta usan antenas de haz (direccionales), que tienen la propiedad de dirigir la energía dentro de un ángulo horizontal lo suficientemente pequeño (20-30 grados) para cubrir el área objetivo. Por lo que, la señal llega más lejos del transmisor.
2. **Absorción en la ionosfera.** Tiene lugar principalmente en la región D a alturas de entre 50 y 80 km. La absorción aumenta en función del número de saltos y, por lo tanto, también con la distancia existente entre el transmisor y el receptor. Más específicamente, la absorción aumenta con el grado de ionización de la capa D y con la actividad creciente de las manchas solares; por lo que las frecuencias bajas son más susceptibles que las frecuencias altas a ella.
3. **Reflexiones terrestres.** Estas ocurren cuando la señal está tocando la tierra entre reflexiones ionosféricas.

4. **Dispersión al entrar en la capas ionosféricas.** La cantidad de dispersión dependerá del grado de ionización de las capas penetradas. Cuanta más alta es la frecuencia menos dispersión se produce.

Desvanecimiento

En la propagación de onda corta, también se experimenta el efecto llamado desvanecimiento o "fading", que es el reforzamiento y debilitamiento de las señales de onda corta debido a cambios en la intensidad de campo instantánea en el extremo receptor, que pueden ser causados por varios fenómenos ionosféricos (figura 4.16). El tipo de perturbación se suele posponer a la palabra "fading" con objeto de indicar la fuente o el efecto, por ejemplo fading por interferencia. Algunos tipos de fading son:

- **Fading selectivo.** En términos generales, el fading depende de la frecuencia, es decir, es más rápido en las frecuencias altas que en las bajas; a veces, este efecto es tan fuerte que la banda lateral inferior de una señal de onda corta se desvanece más lentamente que la banda lateral superior, lo que provoca la distorsión del sonido (fading selectivo). Naturalmente, ocurre solamente en el caso de las emisoras con doble banda lateral (una de las ventajas de la banda lateral única sobre AM normal), como prácticamente son todas las emisoras de radiodifusión en onda corta.
- **Fading por salto,** puede ocurrir cuando la frecuencia máxima utilizable disminuye en función del tiempo, como ocurrirá cuando hay un transitorio día-noche durante el tiempo de transmisión. En un momento dado, las propiedades reflectoras disminuyen tanto que la señal queda estable, comienza a desvanecerse y se vuelve crítica, una situación susceptible de continuar por corto tiempo, después de lo cual las señales desaparecen completamente.
- **Fading por interferencia,** causado por señales radiadas en el mismo momento y que llegan a la antena receptora en momentos ligeramente diferentes (diferencias de fase). Dado que la impresión de la señal en la antena es el resultado de muchas ondas, la diferencia de tiempo puede amplificar o debilitar unas a otras, y el efecto es una señal fluctuante. La causa de este desvanecimiento es debido a las pequeñas irregularidades en la densidad electrónica de la capa reflectora, por lo que un haz de radioondas no se refleja en un solo punto de la ionosfera, sino sobre una extensa región. Después de la reflexión, se mezclan las ondas de alto y bajo ángulo, pero se conservan las ondas individuales, que producen señales individuales de antena. Este fading tiene un ciclo de desvanecimiento relativamente rápido; puede variar entre una fracción de segundo y varios segundos. Llegará a ser grave cuando las ondas terrestre y ionosféricas sean comparables.
- **Fading por trémolo,** se le llama así debido a la alta velocidad de fluctuación de la señal; entre 10 y 100 Hz (períodos por segundo). Se observa con mayor frecuencia cerca de las regiones polares (zonas aurales) y también en las señales que han cruzado el ecuador.

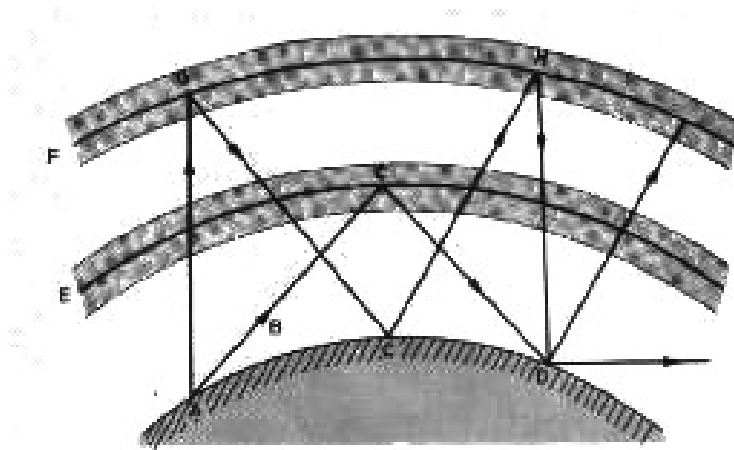


Figura 4.16 En el punto D ocurre un desvanecimiento debido a que llegan ondas electromagnéticas por diferentes caminos y pueden encontrarse en oposición de fase

En la propagación de las ondas ionosféricas hay siempre presente fading en un grado mayor o menor. De acuerdo con el estado de la ionosfera, puede ser profundo o superficial, rápido o lento. El fading profundo ocurre especialmente cuando la frecuencia está demasiado cerca de la FMU de la trayectoria. El fading tiene entonces una influencia adversa sobre la calidad de la recepción y, por consiguiente, se especifica en los informes de recepción.

Ruido

A continuación se mencionan algunos tipos de ruido que afectan a la propagación de onda corta:

- **Radio-atmosférico**, es de consideración importante en la propagación de onda corta, se debe principalmente a las descargas eléctricas durante tormentas. La distribución del ruido sobre la superficie terrestre depende de la hora del día, de la temporada y de la radio-frecuencia de trabajo. Los valores de ruido son más altos en áreas terrestres tropicales, pero varían con la estación.
- **Radio-Solar** (es una forma de ruido radio-galáctico), es ocasionado por el Sol que irradia cierta cantidad de energía en todas las frecuencias que experimentamos como ruido, generando oscilaciones arbitrarias de los electrones. En condiciones normales, el efecto de esta radiación térmica no es muy grande, pero se suma al nivel general de ruido de la Tierra, especialmente en aquellas regiones donde la radiación solar se deja sentir más fuertemente (punto subsolar). Cuando se ha puesto el Sol, varias constelaciones del firmamento se suman al nivel de ruido, especialmente a frecuencias por encima de 10 MHz. Este ruido radio-galáctico, junto con el ruido atmosférico, determina el nivel de ruido en lugares más alejados de las áreas edificadas.
- **Ruidos industriales**, generados por el tráfico, los aparatos domésticos, etc. Este tipo de ruido ejerce una menor influencia, junto con el ruido producido por el propio equipo de recepción (movimientos de electrones).

Las manchas solares tienen una influencia perturbadora sobre la propagación de la radio frecuencia, la más importante es la erupción cromosférica solar, una

"fulguración" que a veces se observa en el Sol en la proximidad de una mancha solar. Las erupciones solares, creadas por reajustes súbitos del campo magnético en una mancha solar, permite que la energía así generada desprenda calor, que puede llegar a verse como un abrillantamiento de los detalles cromosféricos. La erupción solar está asociada con las radio emisiones de ruido en el margen de frecuencias por debajo de 300 MHz y, además por las emisiones ultravioletas, de microondas y de rayos X así, como de rayos cósmicos, en tanto que el reajuste súbito del campo magnético de la mancha solar provoca la eyección de una nube de materia (partículas).

Sus efectos terrestres pueden interrumpir gravemente la recepción de onda corta. Como la radiación ultravioleta y los rayos X viajan a la velocidad de la luz, así como las radio-ondas emitidas, el efecto directo (simultáneo) es un aumento en la ionización de la capa E y región D que produce una considerable absorción en las señales RF pasantes y un aumento ocasional en la ionización de la capa F. Las partículas de radiación cósmica son retardadas un poco y caen siguiendo las líneas de fuerza del campo magnético terrestre, causando graves perturbaciones ionosféricas en las regiones polares. El retardo varía de 15 minutos a varias horas. Las partículas más lentas, principalmente protones y electrones, que llegan a la tierra entre 20 y 35 horas después de haberse producido la erupción, causan tormentas magnéticas ionosféricas, siendo las más sentidas en la propagación de RF de todos los efectos provocados por las erupciones solares. En resumen, las dos consecuencias principales de una erupción solar para la propagación de onda corta fuera de las zonas aurales (polares) son:

- ***Perturbaciones ionosféricas súbitas (el efecto directo)***, a veces las señales de onda corta que pasan por la luz diurna se bloquean bruscamente por una elevada absorción anormal de la capa D (debido principalmente a los rayos X blandos). Esta situación puede durar desde minutos a varias horas y la provoca un fuerte aumento de la ionización de la región D. Esta súbita perturbación ionosférica (SPI), que aparece de forma muy repentina, desaparece gradualmente a medida que la situación atmosférica normal recobra su influencia. Cuando la SPI está asociada a la actividad solar, es más probable que ocurra al aumentar la actividad de las manchas solares.
- ***Tormentas ionosféricas (el efecto retardado)***, tiene un grave efecto bloqueante sobre las comunicaciones de onda corta, pudiendo durar desde varias horas a varios días, está relacionada estrechamente con la tormenta magnética (perturbaciones del campo magnético de la tierra) y pueden detectarse, dado que sus componentes varían sobre límites mucho más amplios de lo que suelen hacerlo. Las tormentas magnéticas violentas van acompañadas de uno o varios fenómenos ionosféricos, tales como una depresión de las propiedades reflectoras de la capa F2, absorción incrementada de la región D y, ocasionalmente, manifestación de la capa E esporádica.

El desvanecimiento de la FMU causado por una reducción de las propiedades reflectoras de la capa F2 es responsable de la pérdida de señal y así también lo es la absorción incrementada de la región D. Tanto la tormenta ionosférica como la tormenta magnética (y auroras boreales) son resultado del flujo de partículas que llega entre 20 y 35 horas después de la erupción solar.

El efecto de la radiación cósmica, emitida por una erupción solar, es atraído por el campo magnético de la tierra, dichas partículas se desplazan siguiendo sus líneas de fuerza y, así tienen su mayor impacto en las zonas aurorales, donde estas líneas de fuerza son perpendiculares a la superficie terrestre. Las señales que viajan a través de estas zonas, que están aproximadamente centradas sobre los polos magnéticos y pueden extenderse hasta 60 grados norte o sur, son muy debilitadas o absorbidas enteramente. Esto recibe el nombre de absorción del casquete polar (ACP). Como la propagación en las regiones polares está sujeta a bastantes complicaciones, y las emisoras de onda corta la evitan dondequiera que sea posible, carece de importancia tratarles extensivamente. Sin embargo, las ACP son de significado espacial para los oyentes en la región norte del continente americano.

Capítulo 5

Desarrollo del programa que permita analizar la recepción móvil de la señal DRM

Estudiar el comportamiento de una señal DRM recibida cuando el receptor se encuentra en movimiento es de gran importancia, ya que permitirá observar los distintos factores que intervienen en su recepción óptima, algunos de estos factores son por ejemplo el ruido eléctrico del entorno, la multitrayectoria presentada en un receptor en movimiento y ocasionada por las edificaciones del entorno, o bien la distancia entre el receptor y el transmisor. Contar con un programa que muestre este comportamiento, tomando en cuenta rutas definidas en distintos entornos ambientales, permitirá analizar mediante estudios más precisos la cobertura de la señal DRM.

Los registros tomados durante las pruebas hechas a la señal DRM en la Ciudad de México en julio de 2005 se efectuaron gracias al consorcio DRM y la Universidad del País Vasco, con la colaboración de Radio Educación y Radio Ibero. Los informes de las pruebas realizadas se entregaron a los organismos correspondientes y se mencionan a continuación:

1. "PRUEBAS DEL SISTEMA DRM EN CIUDAD DE MÉXICO. BANDA DE RADIODIFUSIÓN EN 26 MHz". Entregado a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
2. "Digital Radio Mondiale DRM Local Coverage Using the 26 MHz Broadcasting Band
Documento N°: 6E/274-E. Entregado a la ITU (Organismo: UIT-R SG06. Question ITU-R 60/6).

5.1 Descripción de las pruebas realizadas a la señal DRM en México

En este capítulo se describe el diseño del programa en Matlab que permite estudiar las pruebas realizadas al sistema DRM (Digital Radio Mondiale) en una frecuencia aproximada de 26 MHz. Para realizar dichas pruebas se emplearon los equipos e instalaciones de Radio Educación y Radio Ibero durante julio del 2005 en la ciudad de México. Obteniéndose para su estudio pruebas de la señal en puntos fijos y pruebas en rutas con un receptor en movimiento. Es para el análisis de los registros tomados en movimiento para lo cual se ha diseñado el programa de Matlab que se presenta en este trabajo.

Para procesar los archivos con los registros tomados en movimiento a la señal DRM se tomaron en cuenta esencialmente los parámetros de campo eléctrico (E), calidad de audio (AudioQ) y la relación señal a ruido (SNR), así como la distancia

total recorrida en cada trayectoria, esta distancia puede obtenerse de dos formas, mediante el sistema de tacómetro o por medio del sistema GPS.

5.1.1 Descripción del sistema empleado

Las características de la estación transmisora, desde donde fue emitida la señal DRM, se describen en la tabla 5.1. Dicha estación, se encuentra en las instalaciones de Radio Ibero en Santa Fe, a 16 kilómetros al sudoeste del centro de Ciudad de México, y actualmente se emplean para la radiodifusión regular analógica de FM (figura 5.1).

Tabla 5.1 Características del centro transmisor

Centro Transmisor	Radio Ibero (Santa Fe, México DF)
Radiodifusor	Radio Educación
Coordenadas del Centro Transmisor	99° 15.920' W ; 19° 22.071' N
Frecuencia	25.620 MHz
Ancho de banda	20 kHz
Sistema radiante	Antena Yagi-Uda de 3 elementos

Para la transmisión se empleo una antena Yagi-Uda de 3 elementos modelo YAGI-3EL-V con una ganancia máxima de 7 dB apuntando en dirección 45° noreste. El transmisor era del modelo **DRM Compact Audio Solution-2kW** de RIZ Transmitters de potencia media de 200 W, el cual fue instalado y ajustado para cumplir con la máscara de radiación espectral de la recomendación 1615 de la UIT-R [4].



Figura 5.1 Localización del centro transmisor

Con los parámetros de transmisión DRM se permiten distintos modos configurables de transmisión, los cuales se describen en el estándar DRM [2]. Para los fines de estudio y análisis que requieren quienes han tomado dichas

pruebas y con el fin de evaluar la influencia de cada parámetro, se escogieron los modos descritos en la tabla 5.2 para la toma de muestras.

Tabla 5.2 Modos de DRM empleados en las pruebas

<i>NOMBRE EN ESTE DOCUMENTO</i>	<i>Ancho de banda (kHz)</i>	<i>Modo de robustez</i>	<i>MSC</i>	<i>SDC</i>	<i>Índice de codificación medio</i>	<i>Entrelazado</i>	<i>Velocidad binaria: kbps</i>
20K_A/64/16/0,6	20	A	64QAM	16QAM	0,6	L (Largo)	54,98
18K_A/64/16/0,6	18	A	64QAM	16QAM	0,6	L	48,64
18K_B/64/16/0,6	18	B	64QAM	16QAM	0,6	L	38,18
20K_B/16/4/0,5	20	B	16QAM	4QAM	0,5	L	23,82
18K_B/16/4/0,5	18	B	16QAM	4QAM	0,5	L	21,20
10K_B/16/4/0,5	10	B	16QAM	4QAM	0,5	L	11,64

En la tabla anterior se muestran los modos de DRM empleados en las pruebas, en dicha tabla puede apreciarse que cuanto más robusto sea el modo, menor será la calidad obtenida debido a que será menor la velocidad binaria disponible.

Debido a un error en el sistema de medidas al emplear los modos de 20 kHz y dado que los resultados de este modo eran erróneos, quienes realizaron estas pruebas decidieron usar los modos equivalentes de 18 kHz que no sufrían este problema y cuyos resultados se pueden equiparar fácilmente a los de 20 kHz.

5.1.2 Descripción de las rutas de medición

La toma de muestras se realizó en rutas predefinidas para entornos diferentes y para distintos modos de DRM; tomándose en cada ruta dos tipos de medidas: fijas y en movimiento. De lo cual resulta un total de más de 60 puntos fijos y más de 600 km. en movimiento, cabe mencionar que el procesado con el programa de Matlab se realiza solamente para rutas en movimiento. Las rutas seleccionadas se describen en la tabla 5.3.

Tabla 5.3 Rutas empleadas en la toma de medidas

Denominación	Entorno	Zona	Distancia aproximada al transmisor
Ruta 1	Típico mexicano	Benito Juárez	11.5 km
Ruta 2	Urbano denso	Reforma Polanco	10 km
Ruta 3	Industrial poco denso	Azcapotzalco	15 km
Ruta 4	Residencial abierto	Chapultepec – Cd. Deportiva	9.5 – 17 km
Ruta 5	Urbano denso	Santa Fe	2 km
Ruta 6	Típico mexicano	Aragón – La Villa	20 km

Algunas características de estas rutas son las siguientes:

- **“Típico mexicano”**: es el entorno urbano con calles anchas y casas de poca altura, dos pisos habitualmente.
- **“Urbano denso”**: es una zona con edificios de mucha altura.
- **“Residencial abierto”**: zonas con muy edificios, como parques, o zonas abiertas. Se han escogido dos zonas diferentes, el bosque de Chapultepec y la Ciudad Deportiva, muy separadas entre ellas.
- **“Industrial poco denso”**: zona industrial con industria no pesada. [3]

Para determinar las características específicas de la propagación en cada tipo de entorno se eligió de la Ruta 1 a la Ruta 4. La ruta 6 se encuentra en una zona que presenta menos obstrucciones del terreno a la propagación de la señal, aunque esta más alejada del transmisor y la Ruta 5 se ubica en una zona de medidas cercana al transmisor con visión directa. [3]

En las pruebas se emplearon distintos programas para evaluar la calidad que puede ofrecer el sistema DRM, haciendo uso de los modos de 10 kHz y 20 kHz de ancho de banda. Además, se realizó una ruta en movimiento (Viaducto-autopista a Texcoco) con el objetivo de obtener datos que permitieran conocer la cobertura alcanzada con un transmisor de 200 Watts de potencia media. También se tomaron medidas en movimiento del ruido radioeléctrico provocado por la actividad humana (líneas eléctricas, motores de automóviles, plantas de transformación eléctrica, y equipos electrónicos en general) con el transmisor apagado y a la misma frecuencia de transmisión. [3]

5.1.3 Descripción del equipo empleado

Para la toma de medidas se equipó un vehículo que con un sistema basado en tres módulos: Antena/Distribución, Equipamiento de medida y Control, dicho sistema se muestra en la figura 5.2. A continuación se describe brevemente cada uno de estos módulos.

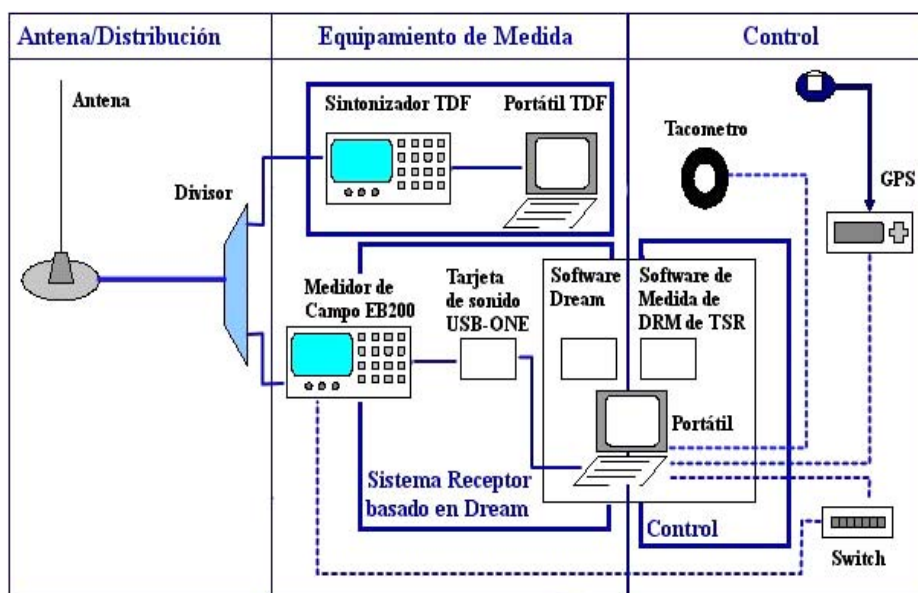


Figura 5.2 Sistema empleado para tomar las medidas de la señal DRM

Antena/Adquisición: Constituido de una antena activa monopolo corta R&S HE010 totalmente caracterizada, asentada sobre el techo de la camioneta con un plano de tierra específico.

La señal que dicha antena recibía era distribuida adecuadamente hacia el Front-End del Receptor TDF DRM y al medidor de campo R&S EB200.

Equipamiento de medida: El Receptor TDF lo constituían el Front-End y el software TDF DRM. Se empleo para pruebas específicas y para cotejar los resultados de la recepción con el Sistema Receptor basado en Dream.

El sistema de Recepción basado Dream lo formaba el Medidor de Campo R&S EB200, una tarjeta de sonido Media USB-ONE de 24 bits y un ordenador portátil en el que se ejecutaba una versión modificada del software demodulador de Radio GPL DReaM. El Medidor de Campo, además de medir la intensidad de campo, convertía la señal RF a frecuencia intermedia (FI) para que así fuese entregada a la tarjeta de sonido profesional, la cual muestreaba la señal y la enviaba a un PC en el que se ejecutaba el DRM GPL DReam sobre plataforma GNU/Linux. [3]

El segundo bloque de medidas lo constituyo el Medidor de Campo y su función era medir la intensidad de campo en el ancho de banda de la señal DRM.

Control: Este sistema se basaba en la misma computadora portátil ejecutando un software de control sobre plataforma GNU/Linux cuyas tareas eran configurar y controlar el resto de equipamiento y calcular algunos de los estadísticos. Un receptor GPS y un tacómetro proporcionaban datos auxiliares como el tiempo, la posición y datos propios de la ruta. [3]

Tabla 5.4 Parámetros medidos de la señal DRM

Proveedor	Tipo	Parámetro	Fs
Sistema Receptor DReaM & Front-End TDF	RF	Ensanchamiento por retardo	400 ms
		Ensanchamiento Doppler	
	FI	Constelación QAM	
	Banda base	Distribución de las tramas de audio erróneas	
Medidor de Intensidad de Campo	RF	Intensidad de campo	400 ms
Receptor GPS	Datos auxiliares	Tiempo	1s

El sistema de medidas capturaba un conjunto de parámetros de la señal DRM y de datos auxiliares y los almaceno en archivos de texto. La tabla 5.4 muestra en resumen las medidas realizadas por los diferentes módulos del sistema.

5.1.4 Descripción de las pruebas realizadas

Las pruebas realizadas en la ciudad de México están reunidas en una base de datos, que contiene muestras tomadas en puntos fijos y tomadas en rutas en movimiento para el estudio de la recepción DRM.

A continuación en la tabla 5.5 se describen algunos de los parámetros empleados en este estudio para el estudio de la señal en la recepción móvil. La primera columna nos indica la posición vertical del parámetro ocupada en la base de los registros obtenidos en las pruebas, así por ejemplo, la columna uno muestra el número de trama o frame, la cuarta columna es el rms, etc. Dichos parámetros se encuentran en los archivos DRM.EZ.400ms.txt,

Tabla 5.5 Parámetros obtenidos durante la toma de medidas de la señal DRM

Número de columna	Parametro	Descripción
1	frame o Nref	Número de referencia
4	rms o Efield	Intensidad de campo eléctrico
8	rsta	Número de tramas de audio a recibir
9	rafs	Número de tramas de audio recibidas
10	rwmf	Señal a ruido
23	trigger_pos	Posición según tacometro
24	trigger_speed	Velocidad según tacometro
28	gps_pos	Posición según al sistema GPS

Tabla 5.6 Porción de muestras tomadas de Ruta1/18K_B16405/Tramo1

Nref	Efield	rsta	rafs	rwmf	trigger_pos	trigger_speed	gps_pos
1	-7.0000	10	1111111111	20.7969	0.0000	0.0000	-
2	17.0000	10	1111111111	20.9023	0.0000	0.0000	-
3	16.0000	10	1111111111	20.9727	0.0000	0.0000	N1923019W09910145
4	16.0000	10	1111111111	21.0508	0.0000	0.0000	N1923019W09910145
5	17.0000	10	1111111111	21.1680	0.0000	0.0000	N1923019W09910145
6	16.0000	10	1111111111	21.3008	0.0000	0.0000	N1923019W09910145
7	15.0000	10	1111111111	21.3945	0.0000	0.0000	N1923019W09910145
8	16.0000	10	1111111111	21.4648	0.0000	0.0000	N1923019W09910145
9	16.0000	10	1111111111	21.5625	0.0000	0.0000	N1923019W09910145
10	16.0000	10	1111111111	21.6445	0.0000	0.0000	N1923019W09910145
11	17.0000	10	1111111111	21.7539	0.0000	0.0000	N1923019W09910145
12	16.0000	10	1111111111	21.8633	0.0000	0.0000	N1923019W09910145
13	16.0000	10	1111111111	21.9805	0.0000	0.0000	N1923019W09910145
14	17.0000	10	1111111111	22.0703	0.0000	0.0000	N1923019W09910145
15	16.0000	10	1111111111	22.1367	0.0000	0.0000	N1923020W09910145
16	16.0000	10	1111111111	22.1953	0.0000	0.0000	N1923020W09910145
17	16.0000	10	1111111111	22.2266	0.0000	0.0000	N1923020W09910145
18	15.0000	10	1111111111	22.3008	0.0000	0.0000	N1923020W09910145
19	16.0000	10	1111111111	22.3555	0.0000	0.0000	N1923020W09910145
20	16.0000	10	1111111111	22.4062	0.0000	0.0000	N1923020W09910145

A modo de ejemplo se muestran en la tabla 5.6 las primeras 20 muestras de un archivo tomado de la Ruta 1 cuyas características son: Punto de prueba, Ruta1/18K_B16405/Tramo1, el entorno es Urbano – Denso y la frecuencia utilizada es de 25.62 MHz.

Las bases de datos de las pruebas de la señal de DRM son datos que se efectuaron gracias al consorcio DRM y a la Universidad del País Vasco, dichas pruebas fueron proporcionadas por quien ha formado parte de dicho proyecto, y cuyos informes se entregaron a las organismos y/o autoridades correspondientes.

5.2 Diseño del programa en matlab

Para entender el comportamiento de los parámetros de la señal DRM antes descritos se diseñó un programa en Matlab. La estructura del programa para procesar los archivos que contienen los parámetros de la señal se muestra en la figura 5.3.

La función de los programas de la estructura de la figura 5.3 es la siguiente:

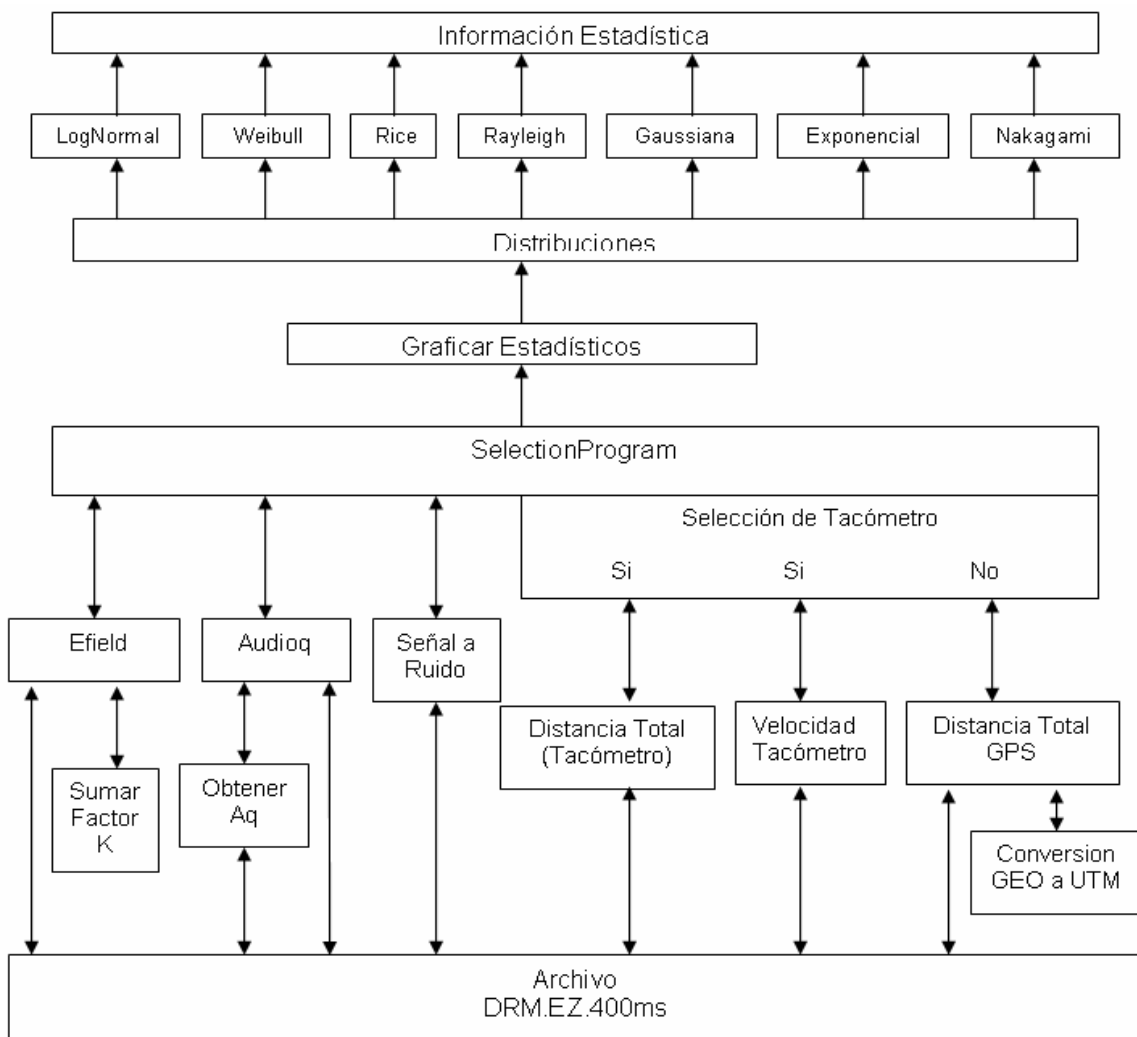


Figura 5.3 Estructura del programa en matlab

SelectionProgram: Es el programa principal que llama a todos los subprogramas. Desde este programa se selecciona el archivo que se va a procesar y se definen dos formatos para presentar los datos de las medidas tomadas a la señal DRM del archivo seleccionado. Un formato consiste presentar a los datos sin modificaciones (datos originales) y el segundo realiza un muestreo cada 0.5 lambdas (datos tratados). Aquí se definen también, las características de las ventanas y las graficas donde se presentaran ambos tipos de datos.

SeleccionaEfield: Este subprograma realiza una lectura de cada una de las líneas del archivo en proceso y selecciona la columna referente al campo eléctrico, medido durante el recorrido del tramo, de la señal DRM. Este subprograma llama a otro que se encarga de sumar el factor k correspondiente al tramo seleccionado para obtener finalmente un arreglo (Efield) de retorno al SelectionProgram para su posterior proceso.

Audioq: Es el subprograma que genera un vector para determinar la calidad de audio de la señal DRM. Este arreglo se obtiene con la ayuda del subprograma ObtenerAq, el cual guarda en un vector distinto (AqT), mediante la lectura del archivo, el número de tramas a recibir en cada prueba, el (AqT) se emplea en el Audioq para determinar cuantas tramas de audio se recibieron de forma correcta y con ello se genera el vector (Aq).

SeleccionaS_N: Subprograma que realiza una lectura al archivo en proceso y selecciona la columna de la señal a ruido, la cual se guarda en el arreglo llamado (S_N).

Dentro del SelectionProgram se encuentra la función de selección de tacómetro, el cual se activa o desactiva en la ventana grafica del SelectionProgram.

DistanciaTotal: Si la función de tacómetro esta activada, se ejecuta este subprograma el cual selecciona, de los datos auxiliares, la distancia total recorrida y genera los vectores (TotalDist) y (DeltaDist). Los cuales sirven para realizar las graficas del campo eléctrico en función de la distancia.

SeleccionaSpeed: Es el subprograma que genera el arreglo (Speed). Este es la velocidad, en función al sistema de tacómetro, alcanzada por la camioneta durante el recorrido hecho para realizar las pruebas.

SeleccionaGPSpos: Subprograma que se ejecuta si la selección de GPS esta activada, Con este subprograma se realiza la lectura del archivo DRM.EZ.400ms en proceso y selecciona la columna de las coordenadas geográficas, las clasifica y las guarda en un arreglo (Lat y Lon) que se envía al subprograma ConversionGEOaUTM, con el cual se obtienen los vectores de la distancia total recorrida (TatalDist), el incremento entre puntos de prueba (DeltaDist), la distancia radial entre el centro transmisor y el punto donde se registra la prueba (Drad) y las coordenadas UTM (UtmH, UtmX, UtmY).

DrawStats: Dentro del programa principal se llama a este subprograma que esencialmente define las características graficas con las que se debe realizar la presentación de las distintas distribuciones estadísticas.

Distribution: Es el subprograma que realiza el calculo de los parámetros de cada distribución estadística, de la media, la varianza y el likelihood, del archivo en proceso.

StatsInfo: Se encarga de definir las características en que se habrán de presentar las distintas distribuciones estadísticas, es decir definir los ejes de las graficas y las ventanas en que habrán de presentarse los parámetros de cada distribución.

Los subprogramas restantes se encargan del realizar las distribuciones estadísticas que se presentan en el StasInfo, estas son: LogNormal, Weibull, Rice, Rayleigh, Gaussiana, Exponencial y Nakagami.

A continuación se muestra en la figura 5.4 la ventana principal que se presenta al ejecutar el SelectionProgram

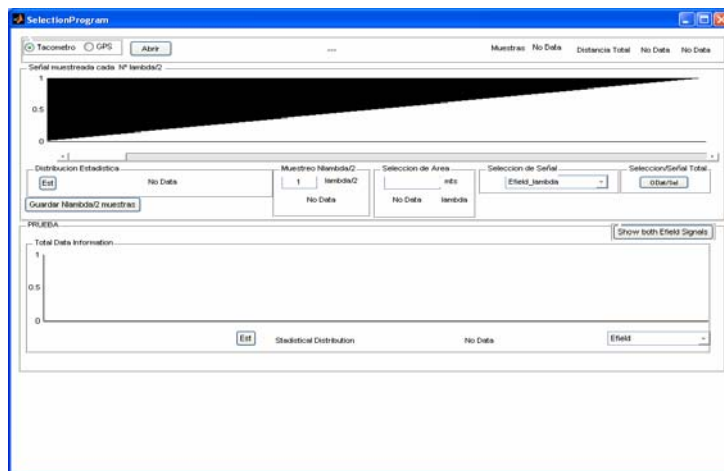


Figura 5.4 Ventana inicial

Obsérvese que en la parte superior de la ventana principal se encuentra el botón Abrir, el cual sirve para seleccionar el archivo DRM.EZ.400ms que se quiere procesar, a través de una ventana pequeña (figura 5.5).

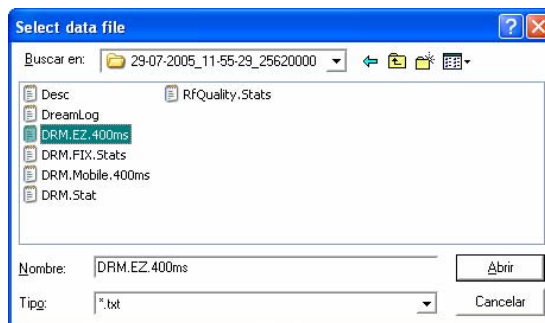


Figura 5.5 Selección del archivo a procesar

También, en la parte superior puede apreciarse un pequeño recuadro donde se realiza la selección de Tacómetro o GPS, la figura 5.6 presenta la ejecución del un archivo (Ruta1/18K_B16405/Tramo1) a una frecuencia de 25620000 Hz, cuya ubicación se muestra al lado derecho del botón Abrir.

La primera grafica presenta a la señal DRM tratada (datos tratados), es decir, la señal se encuentra muestreada cada $N \cdot \lambda / 2$, donde se puede cambiar el valor de N en el recuadro Muestreo Nlambda/2, también puede observarse una ventana de fondo gris, esta es movable y sirve para analizar áreas específicas de los datos procesados. El área puede modificarse dentro del recuadro Selección de Área.

En el recuadro Selección de Señal se puede cambiar la grafica de la Señal muestreada y observar otros parámetros de la señal de DRM, estos pueden ser: Efield_lambda + Noise (señal muestreada junto con la señal de ruido), Dradial (Distancia entre el transmisor y el punto de cada muestra), Speed (Velocidad de la camioneta que porta al receptor) y AQ (Calidad de Audio de la señal).

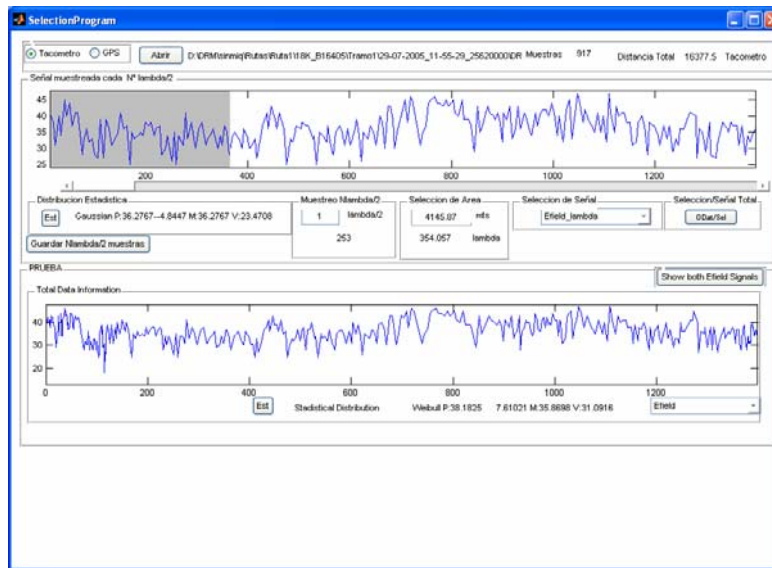


Figura 5.6 Se muestra gráficamente el archivo Ruta1/18K_B16405/Tramo1

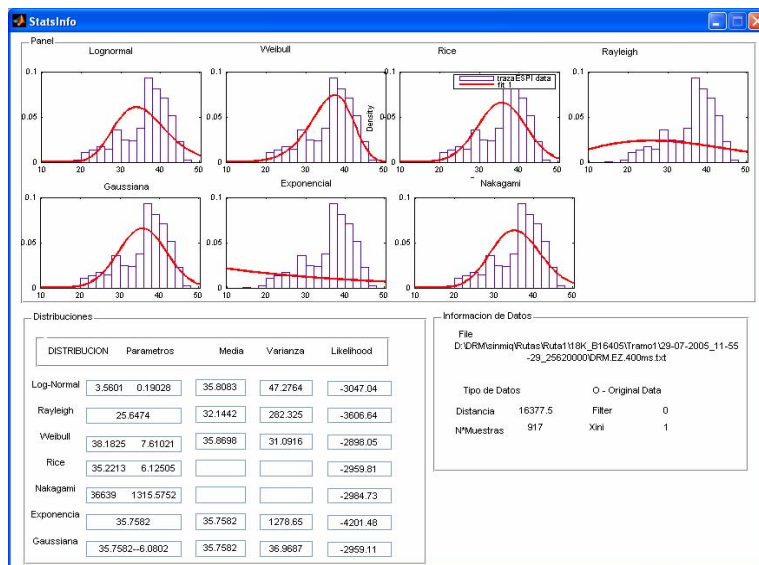


Figura 5.7

La segunda grafica esta realizada tomando en cuenta todos los datos tomados durante el recorrido de la ruta (datos originales), también esta señal Efield puede

cambiarse y observar otros parámetros medidos. Los botones Est presentan una segunda ventana con las distribuciones estadísticas más comunes y sus parámetros de la señal muestreada (botón dentro del recuadro Distribución estadística), o bien de la señal original (figura 5.7).

5.3 Análisis de las pruebas de la señal DRM en los 26 MHz

Los parámetros medidos más significativos que se han considera dentro del análisis de las pruebas de la señal DRM son la calidad de audio, el campo eléctrico obtenido en los diferentes puntos de recepción y las relación señal a ruido.

5.3.1 Calidad de audio

Durante las pruebas se utilizaron varios programas radiofónicos producidos por Radio Educación. Todos los programas fueron realizados en calidad CD (frecuencia de muestreo 44,1 kHz) y posteriormente remuestreados a 48 kHz por compatibilidad con el transmisor. Estos programas se transmitieron en las distintas pruebas realizadas de forma que cada programa fuera transmitido en el mayor número de modos posibles, intentando además que cada recorrido tuviera siempre el mismo programa para poder compararlos. Con el fin de evaluar la calidad subjetiva del sistema DRM, todas las grabaciones se realizaron en condiciones de recepción perfectas. [3]

La velocidad total del sistema depende del modo de transmisión usado y del ancho de banda. El modo de transmisión a usar a de ser elegido para adaptarse a la condiciones de propagación y del entorno. También depende de la potencia usada. [3]

Tabla 5.7 Codificaciones de audio empleadas

Codificador	Velocidad Binaria	Frecuencia de Muestreo	SBR	Sonido
AAC	54.98 kbps	24 kHz	Sí	estéreo completo
AAC	38.18 kbps	24 kHz	Sí	estéreo completo
AAC	23.82 kbps	24 kHz	Sí	estéreo paramétrico
AAC	21.10 kbps	24 kHz	Sí	estéreo paramétrico
AAC	11.64 kbps	12 kHz	Sí	mono

El codificador que se ha usado en las pruebas ha sido siempre el codificador AAC, salvo para las pruebas de transmisión multicanal, con SBR con sonido estéreo completo, estéreo paramétrico y mono y con distintas tasas binarias. En la tabla 5.7 se muestran las combinaciones usadas, ordenadas de mayor a menor calidad.

Como resultado general podemos decir que el codificador AAC codificado en estéreo (38 y 54 kbps) tiene una gran calidad. De hecho el usar 54 kbps podría considerarse desaprovechar capacidad de transmisión, ya que el aumento de la

calidad es prácticamente imperceptible para un oyente medio. El estéreo paramétrico también se escucha con una muy buena calidad, pero inferior a la calidad original, mientras que a 11 kbps, la calidad es bastante más pobre, pero aún superior a la de la recepción AM. Así todo, con esa velocidad de 11 kbps, es aconsejable emitir programas con contenido de voz y usando el codificador CELP para transmisión simultánea de varios canales, en vez de programas con contenido musical codificado en AAC. [3]

5.3.2 Fiabilidad de la transmisión

Para determinar si un circuito de transmisión ha sido exitoso, se utiliza un parámetro de calidad de audio objetiva denominado "AudioQ", que está definido de la siguiente manera:

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

Es, por tanto, el porcentaje de tiempo en que el audio recibido es perfecto, pudiéndose dar el caso de tramas de audio recibidas con errores que sean imperceptibles para el oyente. Se considera que una transmisión es exitosa si el valor de ese parámetro está por encima del 98%. Este es el valor considerado como referencia para la calidad de audio subjetiva para las diferentes pruebas realizadas dentro del consorcio DRM. [3]

5.3.3 Área de cobertura

El transmisor estaba localizado en las instalaciones de la Universidad Iberoamericana, sede de Radio Ibero. La antena transmisora se instaló sobre una torre a 40 metros de altura (casi 350 metros sobre la Ciudad de México). El emplazamiento era el mejor disponible para la ubicación tanto de la antena como del transmisor, pero debido a que la orografía del terreno era abrupta, esto provocó que algunos puntos estuvieran en áreas de sombra, aunque se encontraran cerca del transmisor. No obstante, debido a las características de robustez y multirayecto del sistema DRM, pudo recibirse incluso en algunos de los puntos de sombra. Con objeto de obtener lo mejor del sistema DRM en dichas zonas críticas, se utilizó el modo más robusto disponible para un ancho de banda de 18 kHz. [3]

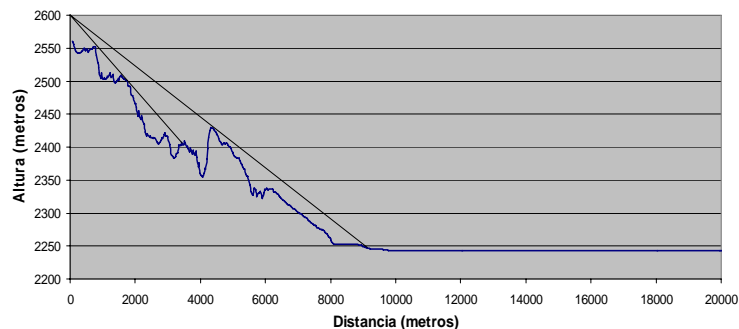


Figura 5.8 Perfil del terreno desde el transmisor en la dirección de 45° Noreste

La figura 5.8 muestra el perfil del terreno empezando desde el emplazamiento del transmisor y dirigido en la dirección de 45° , tal y como se ve en la figura, existe obstrucción de la línea de visión directa. Los primeros 10 km están en un área de sombra, lo que provoca que en los puntos a una distancia mayor de 10 km se obtenga mayor nivel de potencia que en aquellos localizados en los primeros 10 km. No obstante, no significa que no exista cobertura en los primeros 10 km, ya que existe propagación por onda terrestre en las proximidades del transmisor y el sistema DRM es capaz de realizar propagación multitrayecto, necesiéndose para cubrir algunas de esas zonas una potencia mayor. Además, debe destacarse que el ancho del haz de la antena transmisora es 120° y apunta en la dirección de 45° . [3]

Aparte de la orografía, existen otros factores que afectan a la recepción los cuales consideran edificios en áreas urbanas, interferencias y ruido. Por otro lado, también es destacable el efecto de los aviones sobre el área urbana de la ciudad de México cuando se aproximaban al Aeropuerto Internacional.

Cobertura en puntos fijos

De los modos DRM que han sido probados resulta más satisfactorio para el entorno descrito en el apartado anterior y la potencia disponible (200 Watts), aquél con ancho de banda de 18 kHz, modo B, MSC 16 QAM, SDC 4 QAM y protección redundante 0.5. Las medidas realizadas en puntos fijos para dicho modo se dibujan en el mapa de la figura 5.9. El criterio seguido para asignar colores de los emplazamientos es: verde para los puntos que cumplen un AudioQ mayor del 98%, amarillo para los puntos con AudioQ entre el 90 y 98% y rojo para los puntos con AudioQ menor del 90%.

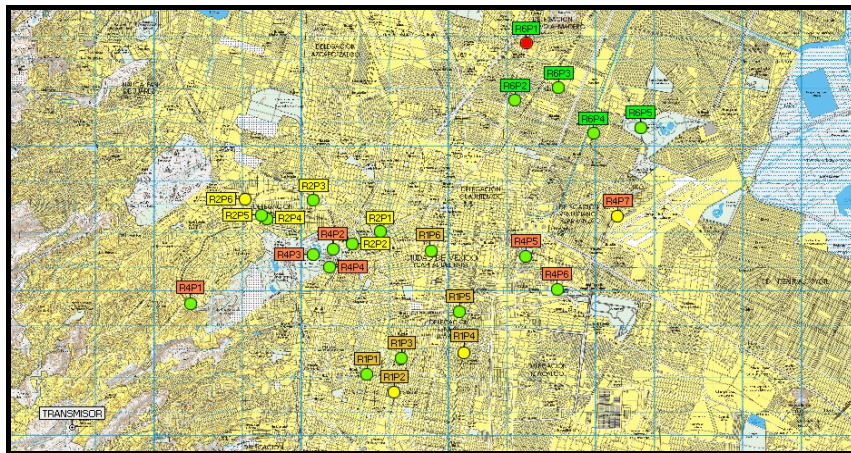


Figura 5.9 Cobertura estimada para el modo 18K_B/16/4/0.5

Con este modo la cobertura está alrededor de los 15 km, ya que, únicamente 3 de los 18 puntos considerados dentro de esta área de cobertura no cumplen con el estricto criterio de AudioQ del 98%. No obstante, estos tres puntos muestran un AudioQ superior al 97%. [3]

En la figura 5.10 se observa que para el modo B/64/16/0.6, considerando la misma potencia de 200 Watts, la cobertura se reduce drásticamente. Esta reducción se debe principalmente por los niveles de potencia reducidos de los

primeros 10 km resultantes de la orografía del terreno mencionada anteriormente. [3]

Finalmente, la cobertura en el modo 18K A/64/16/0.5, mostrada en el mapa de la figura 5.11, sucede como con el modo anterior, una reducción de cobertura provocada por los niveles de potencia reducidos existentes en los primeros 10 km resultantes de la orografía del terreno. [3]



Figura 5.10 Cobertura estimada para 18K_B/64/16/0.6

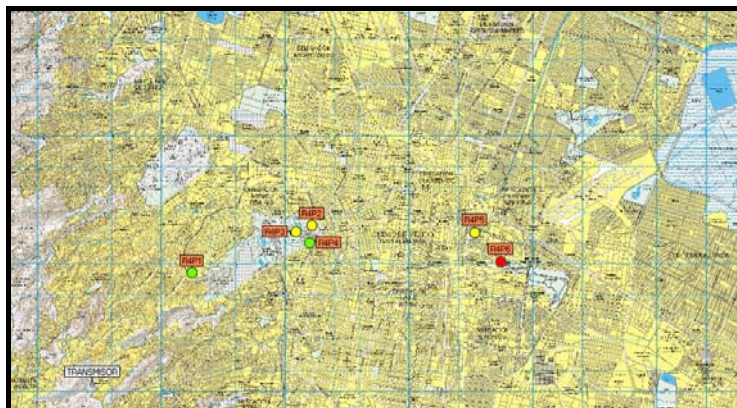


Figura 5.11 Cobertura estimada para 18K_A/64/16/0.5

Cobertura móvil

Para analizar este tipo de cobertura se han realizado seis rutas móviles, a fin de poder comparar la cobertura móvil con la cobertura en puntos fijos, las rutas en movimiento se han realizado en la proximidad de las zonas en las que se han tomado medidas en puntos fijos.

Adicionalmente, se han realizado pruebas de recepción móvil en una dirección aproximadamente radial desde el transmisor a fin de obtener información sobre el límite de cobertura del transmisor. Esta ruta estaba formada por dos secciones diferentes. La primera de ellas es el Viaducto y la segunda es la autovía de Texcoco.

La medida en movimiento del Viaducto ha sido realizada usando el modo B/16/4/0.5 de DRM en 10 kHz. En la figura 5.12 se muestra el campo eléctrico, la SNR y el AudioQ, junto con la posición de los túneles del viaducto.

La conclusión más importante de las medidas realizadas a lo largo de la ruta radial es la ausencia de pérdidas de audio en los primeros 10 km. Las dos primeras pérdidas de audio aparecen en 12.4 km y 13.3 km. Esas pérdidas de audio son debidas a dos túneles. La tercera pérdida de audio se produce en el kilómetro 15 y ha sido causada por un túnel largo. Entre el kilómetro 15 y el 16,5, aparecen otras tres pérdidas de audio debido también a túneles. Entre 16.5 y 20 kilómetros existen varias pérdidas adicionales debido a un nivel de señal bajo. [3]

Cabe destacar la existencia de túneles que quedan cubiertos por la señal DRM. Una conclusión adicional es la buena cobertura existente hasta distancias alejadas 45 km del transmisor. La segunda sección de la ruta puede ser considerada como un entorno rural y al ser el nivel de ruido menor, los valores de SNR en esta sección este por encima del umbral de 20 dB, permitiendo consecuentemente una cobertura razonable al margen de algunas excepciones. [3]

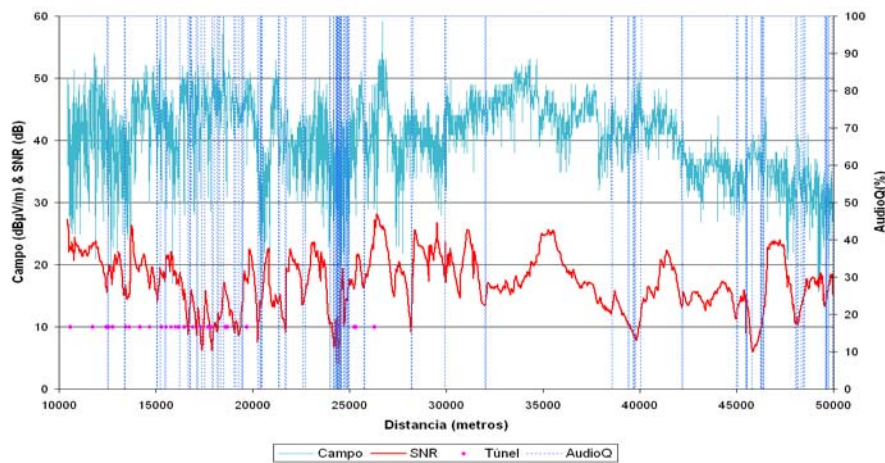


Figura 5.12 Ruta radial del Viaducto con el modo 10 kHz B/16/4/0.5

Como consecuencia de la potencia utilizada en el transmisor, el campo recibido era muy pequeño. La figura 5.12 sugiere que un incremento de 5 o 6 dB incrementaría la cobertura hasta 20 km (túneles incluidos). Si se aumentase la potencia del transmisor a 2 kW, se obtendría una cobertura sin errores hasta 40 kilómetros, excepto en puntos como túneles largos, donde la cobertura no sería posible con ningún tipo de sistema, analógico o digital.

Las seis rutas en movimiento medidas representan los diferentes tipos de entornos urbanos existentes en Ciudad de México. Antes de analizar cada movimiento, cabe mencionar que la cobertura móvil en Ciudad de México no ha sido satisfactoria. Esto es debido a que, tal y como se ha mencionado anteriormente en este documento, el transmisor usado en las pruebas era de muy baja potencia y el objetivo principal de las pruebas no era dar cobertura global a todo México DF. Durante la recepción en movimiento se ha determinado que la potencia era demasiado baja para los modos y rutas incluidas en las pruebas. La SNR recibida era muy baja debido principalmente a la baja potencia transmitida y a los altos niveles de ruido en la zona de cobertura. Cabe destacar que un incremento de 10 dB en la potencia de transmisión proporcionaría una cobertura móvil satisfactoria para el modo B/16/4/0.5. [3]

Recepción móvil en un entorno típico mexicano

La recepción móvil de la Ruta 1 esta representada en la gráfica de la figura 5.13. Esta ruta estaba afectada por el ruido y por un campo recibido muy bajo. El campo recibido era menor que el recibido en el viaducto, siendo además el ruido 4 dB más alto. Asumiendo un umbral de 20 dB a partir de las pruebas de recepción en puntos fijos, y consecuentemente cabe destacar que la mayoría del área de la ruta no esta cubierta.

La mayoría de los valores de SNR de la figura 5.13 estarían por encima de ese umbral si la potencia fuera de 2 kW. Excepto en puntos situados en 9, 10, 13 y 15 km, en los cuales hay túneles e interferencias que provocan que la recepción no sea posible para ningún tipo de servicio, ni analógico, ni digital en esta banda de frecuencia.

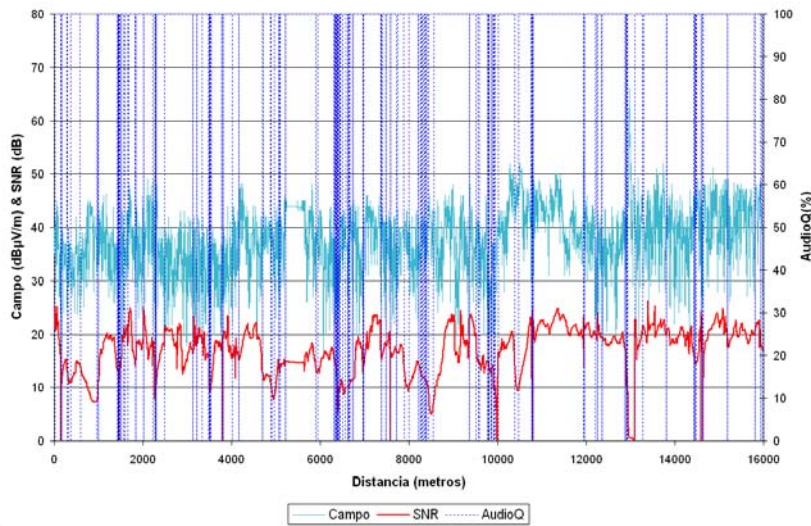


Figura 5.13 Ruta 1, modo 18 kHz B/16/4/0.5

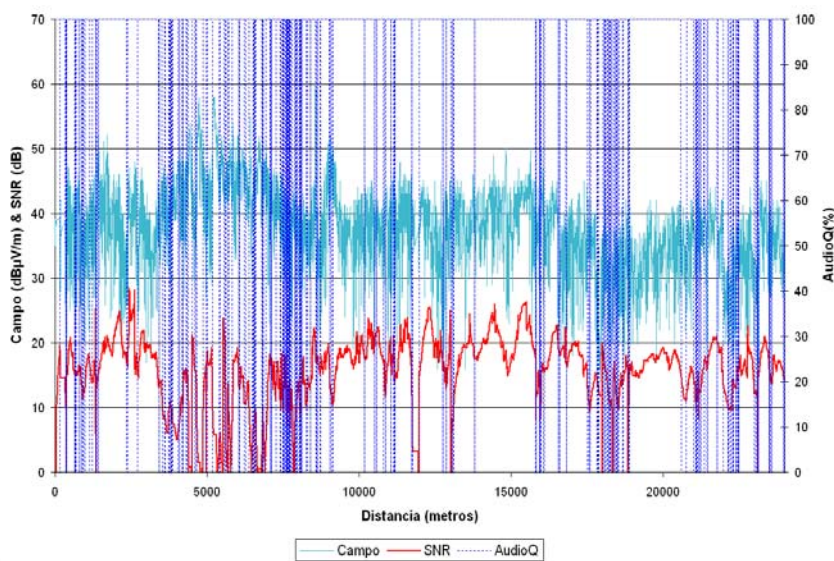


Figura 5.14 Ruta 6, modo 18 kHz B/16/4/0.5

Otro ejemplo del entorno típico mexicano es la Ruta 6, la gráfica de esta medida se representa en la figura 5.14. Esta ruta está más afectada por el ruido y las interferencias que la Ruta 1. En las proximidades del kilómetro cuarenta existe un desvanecimiento total de la SNR, siendo el campo recibido bastante alto comparado con el valor medio de esta ruta. De la misma forma que la ruta anterior, estos niveles de interferencia y ruido impiden la utilización de cualquier tipo de servicio radioeléctrico en este punto.

Recepción móvil en entornos residenciales abiertos

La Ruta 4 representada en la grafica de la figura 5.15, muestra que el campo recibido ha sido similar al de la Ruta 1 y, aunque el nivel de ruido es unos 4 dB inferior, en esta ruta se recibe de forma similar a como se recibía en la Ruta 1.

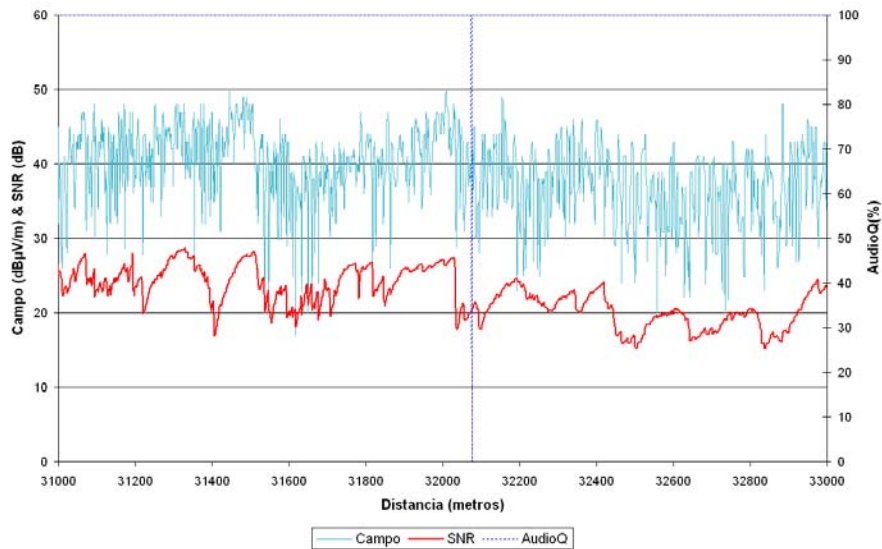


Figura 5.15 Ruta 4, modo 18 kHz B/16/4/0.5

Recepción móvil en entornos urbanos densos

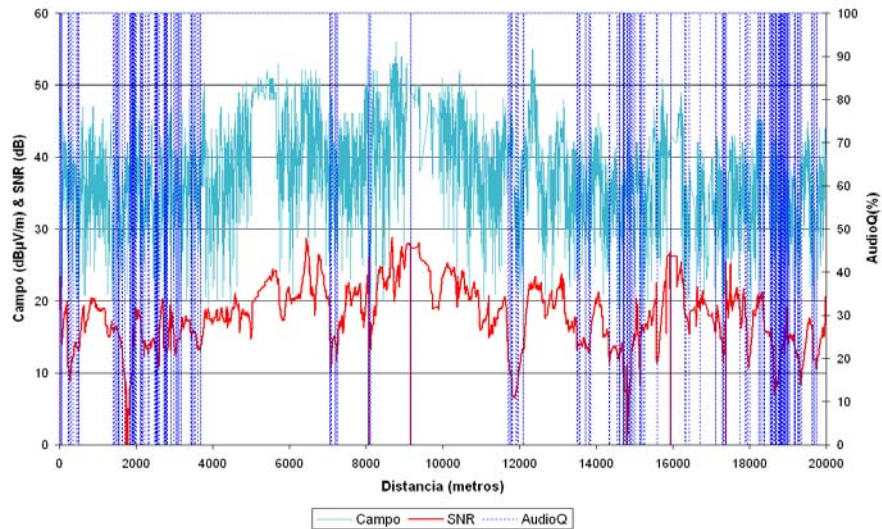


Figura 5.16 Ruta 2, modo 18 kHz B/16/4/0.5

Las pruebas realizadas en la Ruta 2 se encuentran representadas en la gráfica de la figura 5.16. En los primeros 15 km el campo recibido ha sido ligeramente superior que en la Ruta 1, siendo el nivel de ruido similar. Las pérdidas de audio en la primera sección ocurren debido a niveles de campo bajos que provocan que la relación SNR baje por debajo del umbral requerido. Además, hay un túnel situado entre los dos primeros kilómetros que hacen que la recepción de cualquier tipo de servicio radioeléctrico no sea posible en ese punto en esta banda de frecuencias. La segunda parte de esta ruta está afectada por una interferencia muy fuerte o por ruido que provoca zonas de SNR reducida.

5.4 Análisis de los resultados obtenidos con el programa desarrollado en matlab

Los modos elegidos de la señal DRM probados en las pruebas móviles en las distintas rutas elegidas se describen en la tabla 5.9. A continuación se realizara un análisis para establecer el comportamiento de la recepción móvil de la señal de DRM para cada entorno de la ciudad de México, para ello se empleara el programa elaborado en Matlab, el cual nos muestra gráficamente dicho comportamiento, a través de los parámetros de campo eléctrico, señal a ruido y calidad de audio recibidos durante las pruebas.

Tabla 5.9 Modos de DRM probados en cada ruta

Entornos:	Típico mexicano	Urbano denso	Industrial poco denso	Residencial abierto
Ruta1	18K_B16405 20K_B16405			
Ruta2		18K_B16405 18K_B641606 20K_A641606		
Ruta3			20K_B16405	
Ruta4				18K_B16405 18K_B641606 18K_A641606
Ruta5		20K_A641606		
Ruta6	10K_B16405 18K_B16405 20K_B16405 20K_A641606			

Para darnos una idea de que tan bien se recibieron los parámetros de campo eléctrico (E), señal a ruido (S/N) y calidad de audio (AudioQ) en cada prueba, se tomaron en cuenta los umbrales para una recepción satisfactoria o aceptable para cada uno de ellos, así por ejemplo para E se tiene un umbral de 37 dB como valor mínimo necesario para una buena recepción de la señal DRM, para SNR el umbral es de 18 dB y en el caso del AudioQ el valor mínimo para una recepción aceptable es del 98%.

En cada una de las tablas de los apartados siguientes se tomaron en cuenta los umbrales mencionados anteriormente, los resultados que se encuentran en dichas tablas muestran el porcentaje de las muestras que cumplen con dichos valores mínimos para la buena recepción de la señal DRM, estos porcentajes se muestran para cada modo de DRM probado, para cada ruta y para cada tramo.

Como ejemplo del comportamiento que presenta la señal DRM en la recepción móvil se grafican los datos de algunos tramos, esta representación grafica se genera a partir del procesado de los archivos de cada ruta a través del programa desarrollado en Matlab. El procesado puede ser realizado de dos formas, empleando los datos del tacómetro utilizado en las pruebas de medición, o bien, empleando los datos registrados durante las mediciones del sistema GPS.

5.4.1 Recepción móvil en un entorno típico mexicano

Los porcentajes de los parámetros E, SNR y AudioQ de la señal DRM que se recibieron por encima de su umbral correspondiente para el modo 18K_B16405 y el modo 20K_B16405 en la ruta 1 se muestra en las tablas 5.10 y 5.11 respectivamente.

Tabla 5.10

Modo DRM 18K_B16405						
Porcentaje de E, SNR y AudioQ recibos aceptablemente						
Ruta1	Tramo					
	1	2	3	4	5	6
Campo Eléctrico (E)	48.61	45.71	65.23	69.18	79.38	61.23
Relación Señal a Ruido (SNR)	24.90	54.02	32.53	27.74	86.41	46.72
Calidad de Audio (AudioQ)	66.40	97.40	89.89	81.08	92.82	83.34

Tabla 5.11

Modo DRM 20K_B16405						
Porcentaje de E, S/N y AudioQ recibos aceptablemente						
Ruta1	Tramo					
	1	2	3	4	5	6
Campo Eléctrico (E)	53.60	56.36	73.17	74.54	79.93	66.04
Relación Señal a Ruido (S/N)	4.00	33.50	41.59	17.63	70.29	37.46
Calidad de Audio (AudioQ)	41.60	89.35	89.83	83.36	98.00	85.97

Los dos modos probados en la ruta 1 son muy parecidos, la diferencia entre ellos se encuentra en el ancho de banda de 18 kHz del primero y una velocidad binaria de 21.20 kbps, en cuanto al segundo modo tiene 20 kHz de ancho de banda y presenta una velocidad de 23.82 kbps, puede comprobarse además la similitud de ambas modos observando el parecido de los resultados de ambas tablas, ambos modos son empleados para una transmisión de estéreo paramétrico.

De las tablas 5.10 y 5.11 podemos observar el comportamiento de E, SNR y AudioQ, en el momento de ser captada por el receptor en movimiento, para la ruta 1 el campo E presenta entre el 45% y 79% de las muestras que cumplen con el valor mínimo de 37 dB para dicho parámetro; en el caso de SNR el porcentaje de

muestras que cumplen con el valor mínimo de 18 dB están entre el 4% y el 86%, finalmente para el AudioQ se tiene entre el 41% y 98% de muestras recibidas aceptablemente siendo el parámetro con menos problemas en la recepción.

Cabe destacar los valores del tramo 5 para ambos modos de DRM empleados en la ruta 1, este tramo es el que presenta menos problemas en la ruta, ya que el porcentaje de E es muy próximo al 80%, el de SNR es de 70% - 86%, superando aproximadamente el 50% de los valores promedio y para el AudioQ los porcentajes recibidos aceptablemente se encuentran entre el 92% y 98%.

Como ejemplo del comportamiento de los modos empleados en la ruta 1 se muestran las graficas correspondientes a los parámetros medidos de la señal DRM, para el tramo 5 del modo 20K_B16405. Para graficar dicho tramo se proceso el archivo a través de los datos del tacómetro. La figura 5.17 presenta al campo eléctrico (E), la calidad de audio (AudioQ) y la velocidad que se tenía al momento de realizar las pruebas con muestras cada 0.5 λ , así como también la relación señal a ruido.

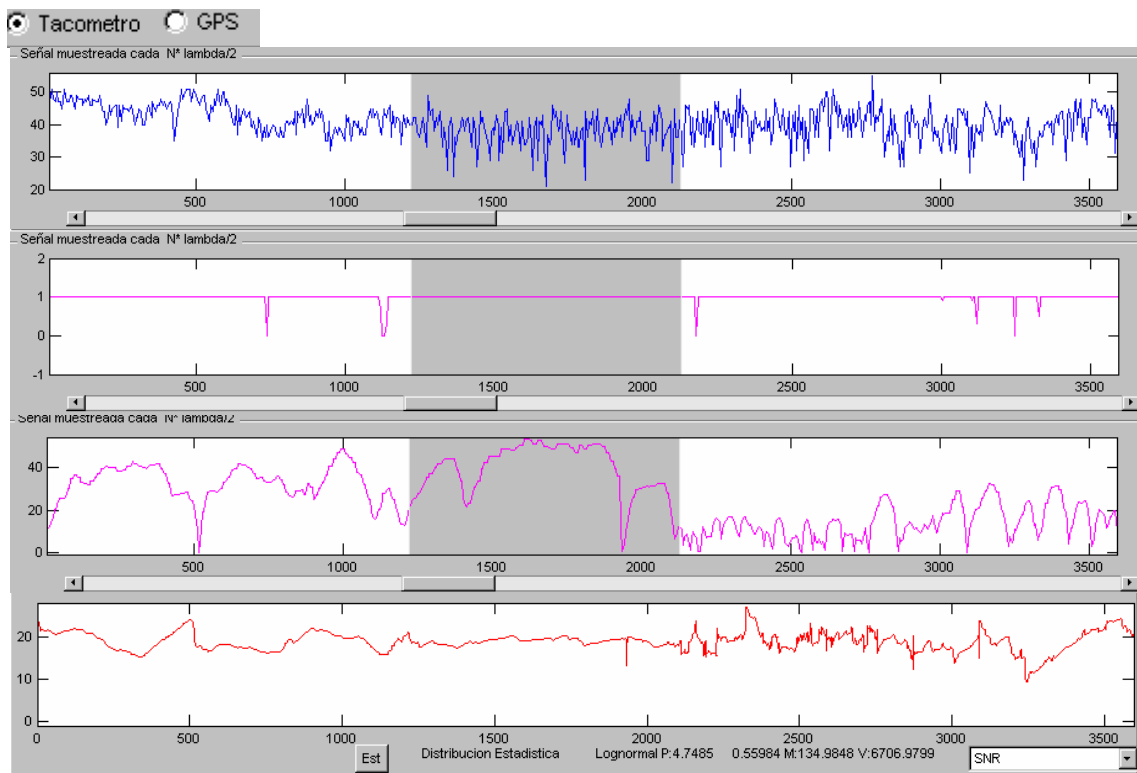


Figura 5.17 Comportamiento de E, AudioQ y velocidad cada 0.5 λ , así como la SNR. (Tramo 5, Ruta 1)

Obsérvese que en la figura anterior se encuentra una ventana sombreada, con ella se selecciona parte de los datos, lo que permite realizar un análisis aislado de dicha selección. El programa desarrollado en Matlab, grafica por separado el comportamiento de los datos elegidos. La figura 5.18 presenta el comportamiento de los datos seleccionados de la figura anterior.

Las graficas aisladas (figura 5.18) que presenta el programa al realizar una selección de datos son el campo eléctrico, la velocidad, la distancia radial al transmisor, la cual en el caso de elegir el procesado de los datos por medio del

tacómetro siempre es cero y una distribución estadística semejante al comportamiento de los datos elegidos.

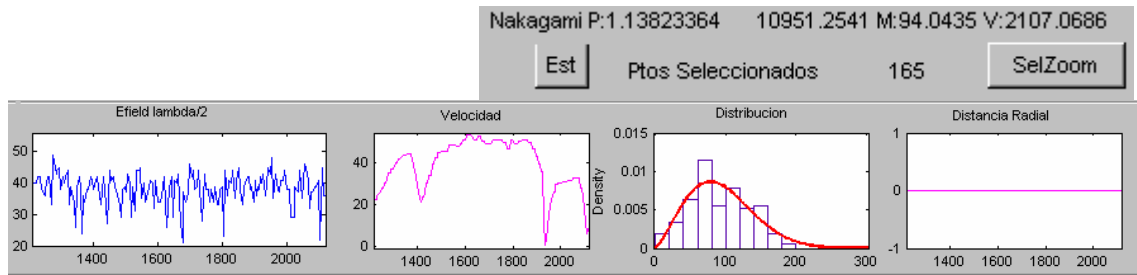


Figura 5.18 Comportamiento de los datos seleccionados del Tramo 5, Ruta 1

Para representar como algunos factores pueden afectar una recepción aceptable de la señal DRM se mostraran las graficas del Tramo 6 de la ruta 1 con el modo 20K_B16405 empleado.

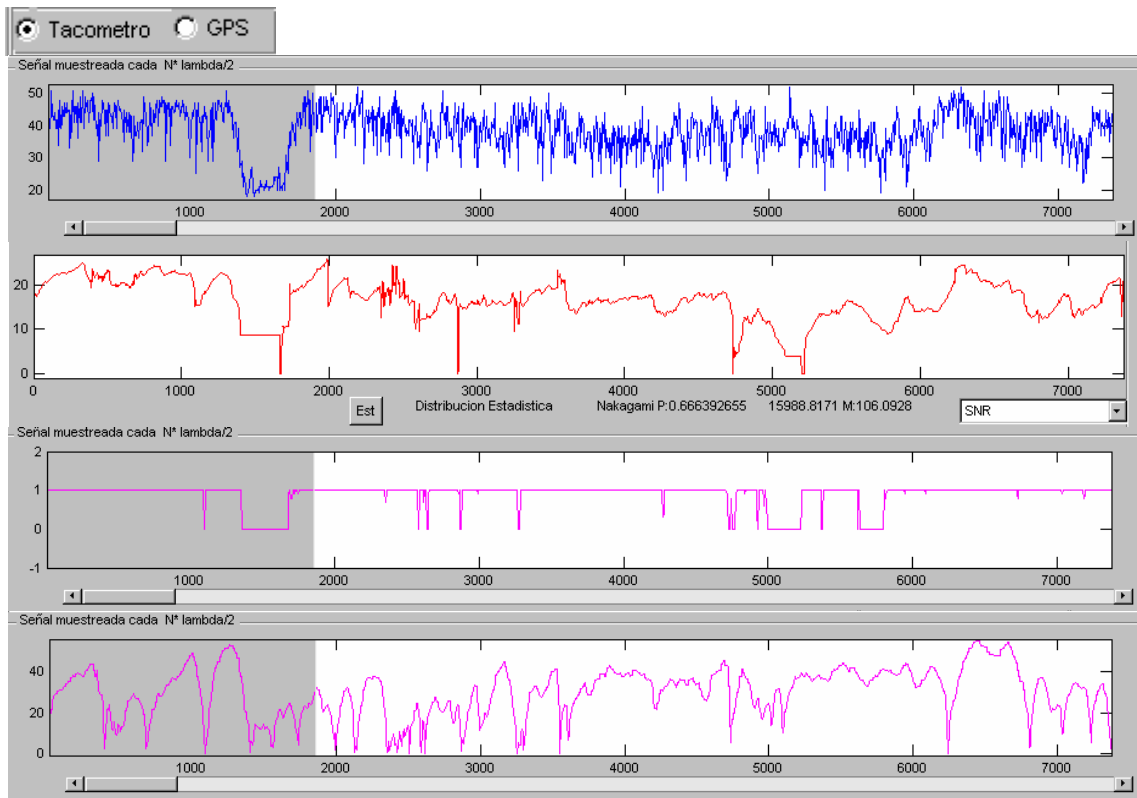


Figura 5.19 Comportamiento del Campo E, la SNR, el AudioQ y la velocidad en el Tramo 6, Ruta 1

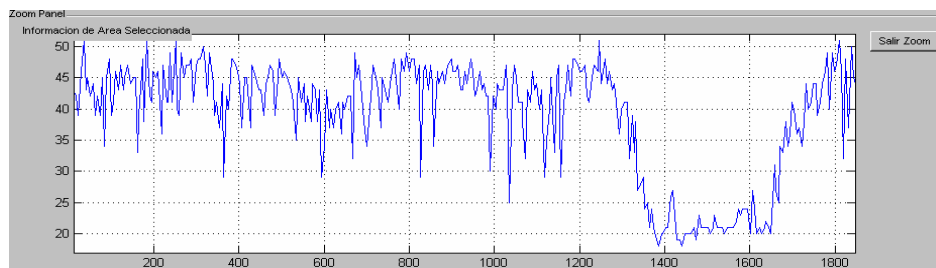


Figura 5.20 Ampliación de la ventana de selección del campo E (tramo 6, Ruta 1)

En la figura 5.19 se puede observar una caída del campo E que se debe a que en ese momento se circulaba por un túnel, en el cual no es posible recibir la señal de DRM, sin embargo tampoco es posible recibir otras señales como de AM o FM por ejemplo. En la misma figura 5.19 puede observarse como se ve afectada la relación señal a ruido, así como el AudioQ y la velocidad respectivamente, cuando se transita por dicho túnel. Puede apreciarse en la grafica de la velocidad como la gran cantidad de puntos en los que el móvil se detiene, esto se debe, desde luego, al tráfico existente en la ciudad de México.

La figura 5.20 muestra una ampliación o zoom de los datos elegidos por la ventana (gris) de selección, esta ampliación se grafica por separado y solo se realiza para los datos del campo eléctrico.

La ruta 1 tiene una distancia aproximada al transmisor de 11.5 km y se encuentra en la zona de la delegación Benito Juárez. A continuación se realizara el análisis para la ruta 6, la cual tiene una distancia de 20 km del transmisor aproximadamente y se ubico en la zona de Aragón - La Villa. La tabla 5.12 muestra los valores de los porcentajes aproximados de los parámetros de E, SNR y AudioQ, obtenidos en el modo de DRM 10K_B16405, cabe destacar que para este modo solo se realizaron las pruebas de esta ruta.

Tabla 5.12

Modo DRM 10K_B16405											
Porcentaje de E, S/N y AudioQ recibos aceptablemente											
Ruta6	Tramo										
	1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3	3	4	5	6	7
E	87.87	89.50	89.01	78.48	71.63	84.14	78.61	82.69	85.74	91.61	93.41
SNR	23.23	79.28	67.74	52.07	19.23	35.22	46.96	26.96	57.45	63.47	29.63
AQ	71.21	97.28	93.27	96.08	68.50	80.03	95.80	89.93	90.13	94.01	64.31

Este modo tiene un ancho de banda de 10 kHz, una velocidad binaria de 11.64 kbps y es empleada en una transmisión monofónica, por lo que es de esperarse se reciba satisfactoriamente en un alto porcentaje, ya que tiene menos requerimientos para ello.

El porcentaje de recepción aceptable para el campo E se encuentra entre el 71% y el 93%; para SNR este porcentaje es muy variable para cada tramo, la mayoría de ellos se encuentran entre el 19% y el 79% y en cuanto al AudioQ la mayor parte de los tramos tienen valores entre el 64% y el 97%.

La figura 5.21 contiene la grafica del campo E para el tramo 1-3 del modo 10K_B16405, en la cual pueden apreciarse altibajos de la señal, el más notable de ellos se muestra en los datos dentro de la ventana de selección.

El comportamiento del SNR, el AudioQ y la velocidad para el mismo tramo 1-3 se encuentra también en la figura 5.21, en ellas pueden apreciarse los puntos en los que la recepción de la señal es deficiente, ya que cuando decae E, sucede lo mismo con la SNR y el AudioQ.

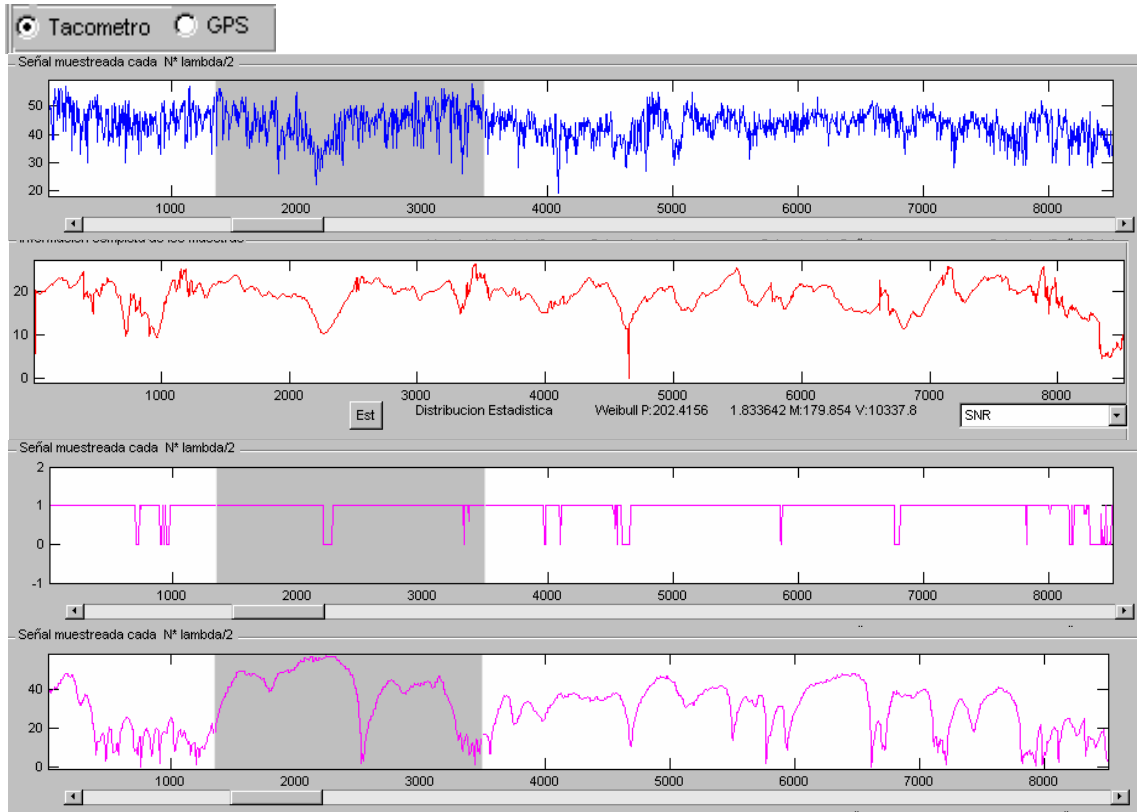


Figura 5.21 Comportamiento de E, SNR, AudioQ y la velocidad en el Tramo 1-3, Ruta 6

Las siguientes dos tablas nos presentan los datos del modo 18K_B16405 (tabla 5.13), de ancho de banda de 18 kHz y velocidad binaria de 21.20 kbps, y el modo DRM 20K_B16405 (tabla 5.14), de ancho de banda de 20 kHz y velocidad de 23.82 kbps, ambos modos son muy parecidos y pueden para el análisis de las pruebas considerarse iguales.

Tabla 5.13

Modo DRM 18K_B16405										
Porcentaje de E, S/N y AudioQ recibos aceptablemente										
Ruta6	Tramo								Antenas RE	Antenas RE
	1-1	1-2	1-3	2	3	4	5	6		
Campo Eléctrico	46.66	78.29	53.33	55.29	40.89	42.02	55.77	80.50	78.89	76.86
R. Señal a Ruido	13.33	29.85	41.59	32.71	49.40	15.95	39.65	67.03	27.78	31.85
Calidad de Audio	66.66	75.64	85.96	83.87	91.72	78.58	93.02	88.83	60.92	72.42

Aunque estos dos modos son solo un poco distintos, en el caso del modo 18K_B16405 los primeros tramos presentan una mayor dificultad en la recepción, esto se debe muy probablemente a problemas de ruido presente en el momento de realizar las pruebas, en el caso del modo 20K_B16405 y de los últimos tramos de la tabla 5.14 el campo E se encuentra en un rango de 40% a 91%, la SNR esta ubicada entre el 12% al 49%, hay algunos tramos que superan este rango sin embargo muy pocos, y por último en la calidad de audio la mayor cantidad de valores están entre el 57% y 93%.

Tabla 5.14

Modo DRM 20K_B16405								
Porcentaje de E, S/N y AudioQ recibos aceptablemente								
Ruta6	Tramo							
	1	2	3	4	5	6	7-1	7-2
Campo Eléctrico (E)	87.92	86.65	78.85	74.64	87.47	88.88	90.80	91.56
R. Señal a Ruido (S/N)	17.68	20.88	20.93	12.27	36.87	32.74	28.35	18.75
C. de Audio (AudioQ)	66.38	57.05	79.70	73.84	87.94	76.02	60.48	62.81

Para ejemplificar como es recibida la señal DRM en estos modos se mostrara las graficas correspondientes al tramo 7-1 del modo 20K_B16405, empleando el sistema de tacómetro. La figura 5.22 presenta una forma diferente de como pueden presentarse las graficas de E y SNR. En esta figura puede observarse (el caso más notable dentro de la ventana de selección) como aumenta el campo E y la SNR disminuye. Lo que explica por que dentro de las tablas 5.13 y 5.14 los valores de E son mayores a los de SNR, esto se debe indudablemente al ruido presente al tomar las muestras.

En la misma figura 5.22 se muestra el comportamiento del AudioQ para el mismo Tramo 7-1, obsérvese dentro de la ventana de selección como este parámetro tiene una caída en el mismo momento en que disminuye la relación señal a ruido, lo que significa que en ese momento la recepción presenta serios problemas.

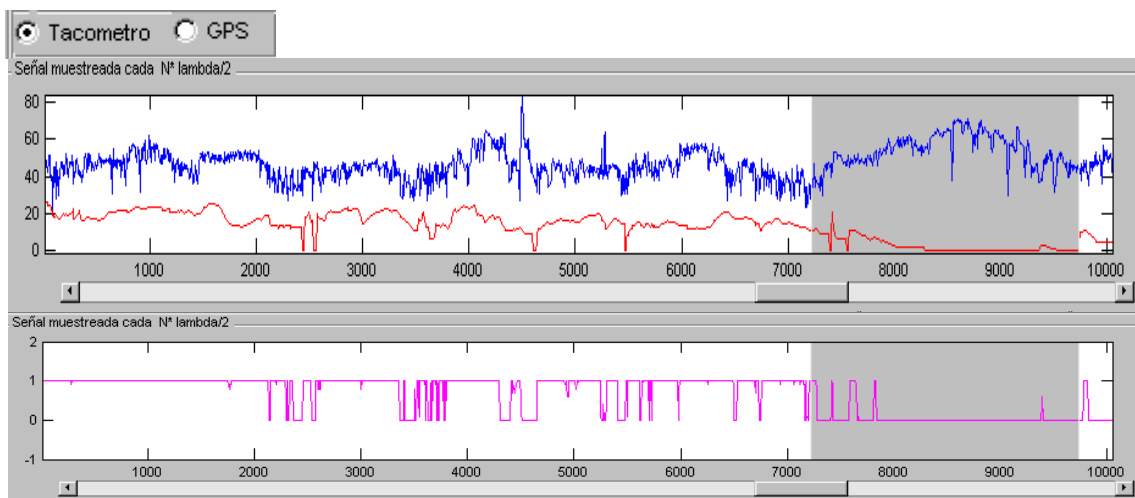


Figura 5.22 Comportamiento de E, SNR y AudioQ cada 0.5 lambda del Tramo 7-1, Ruta 6

El programa de Matlab tiene la opción de mostrar las graficas considerando el total de las muestras, o bien cada $x/2$ lambda, donde x es un entero positivo, al fijar un valor de lambda se consideran a las muestras en puntos distintos, es decir en movimiento, si se elige el total de ellas, se estarían graficando los puntos donde el móvil a cargo de las pruebas estuvo estático, por ejemplo a causa del trafico.

Por último, dentro de la ruta 6 se probó el modo 20K_A641606, este modo es el de mayor velocidad binaria de todos los modos utilizados, tiene un ancho de banda de 20 kHz, 54.98 kbps de velocidad y los porcentajes de recepción aceptable se encuentran en la tabla 5.15.

Tabla 5.15

Modo DRM 20K_A641606				
Porcentaje de E, S/N y AudioQ recibos aceptablemente				
Ruta6	Tramo			
	00	01-1	01-2	02
Campo Eléctrico (E)	58.33	3.60	36.17	32.70
Relación Señal a Ruido (S/N)	19.21	0	31.45	11.35
Calidad de Audio (AudioQ)	41.41	2.70	45.89	27.44

Las pruebas realizadas en este modo no arrojaron resultados satisfactorios, como puede observarse en la tabla 5.15. Los valores del campo E que se reciben satisfactoriamente se encuentran entre el 32% y 58%, los de SNR están entre 11% y 31%, finalmente los del AudioQ se localizan entre el 27% y 45%. Cabe mencionar que en el tramo 1 se realizaron las pruebas en dos ocasiones, dado que en la primera no hay datos del tacómetro y que las muestras tomadas son realmente pocas en el tramo 01-1, debido a esto, dicho tramo no se considera en el análisis.

Para ejemplificar el comportamiento del modo 20K_A641606 se eligió el Tramo 02, el cual se encuentra representado en la figura 5.23, con los parámetros de campo eléctrico, señal a ruido y calidad de audio respectivamente, para ello se emplearon los datos del sistema GPS.

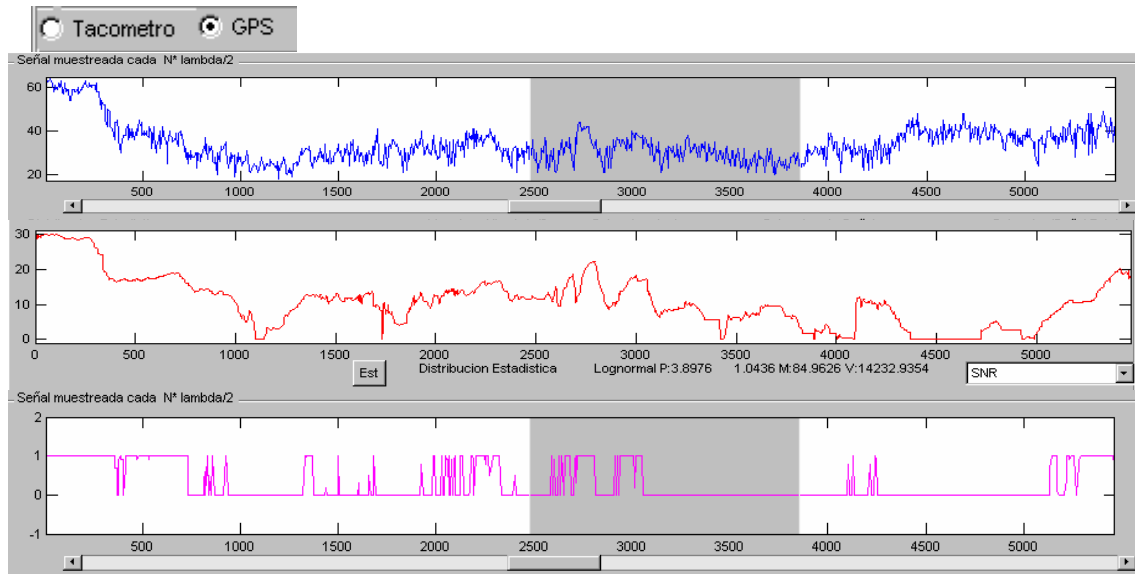


Figura 5.23 Comportamiento de E y AudioQ cada 0.5 lambda y del SNR del Tramo 02, Ruta 6. Empleando el sistema GPS

Al contrario de lo sucedido en el caso anterior (Ruta6, modo 20K_B16405), puede apreciarse que al elevarse la señal recibida del campo E, aumenta también la SNR y el AudioQ, y si E decae lo mismo sucede con los otros dos parámetros medidos, puede deducirse entonces que el ruido no afecta considerablemente en este caso a la señal, sin embargo el que haya un bajo porcentaje de la recepción aceptable de la misma puede atribuirse a la baja potencia de la señal emitida en el transmisor y a la distancia existente entre este y el receptor en movimiento.

En general, el comportamiento que se obtuvo en la recepción móvil de la señal DRM en el entorno típico mexicano no tuvo buenos resultados, recordemos que este entorno urbano presenta calles anchas y casas de poca altura; en la ruta 1 las mejores mediciones se encuentran próximas al 80% de E, el 30% de SNR y una AudioQ cercana al 98%. Recordemos que la distancia al transmisor de esta ruta es de aproximadamente 11.5 km. La figura 5.24 muestra la grafica de la distancia radial aproximada del tramo 5 de la ruta 1 y con modo 20K_B16405. La distancia radial solo es posible obtenerse con los datos del sistema GPS, obsérvese que para este caso dicha distancia se encuentra entre los 13 y 14 km.

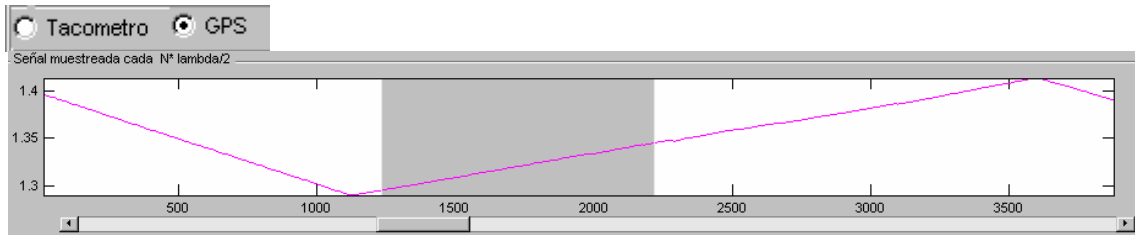


Figura 5.24 Distancia radial del Tramo5, Ruta1, modo 20K_B16405

Para el caso de la ruta 6, en el modo 18K_B16405, los mejores resultados son aproximadamente del 91% para E, del 32% para SNR y del 88% para el AudioQ, mientras que para el modo 20K_A641606 es del 58% para E, del 31% para SNR y del 45% para el AudioQ. En comparación con la ruta 1 estos valores son menores, aunque no debe descartarse la presencia del ruido como en cualquier entorno urbano, la principal causa de la baja en la recepción aceptable de la señal en esta ruta es debida a la distancia radial que tiene con el transmisor. La figura 5.25 muestra la distancia radial del tramo 02 de la ruta 6 con modo 20K_B641606.

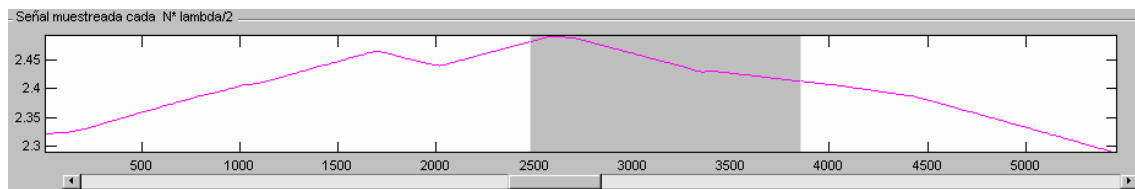


Figura 5.25 Distancia radial del Tramo02, Ruta6, modo 20K_A641606

De las graficas anteriores podemos observar que la distancia radial del tramo 02 de la ruta 6 se encuentra entre los 23 y 25 km, por ello se debe que los resultados obtenidos de forma aceptable en esta ruta sean menos. Esto podría solucionarse al aumentar la potencia del transmisor para que los resultados tengan una mejor cobertura y una recepción mucho más aceptable.

Para el caso del modo 10K_B16405 de la ruta 6, la buena recepción obtenida se explica debido a que las condiciones requeridas para dicho modo son menos, por ejemplo un ancho de banda de 10 kHz, velocidad de 11.64 kbps, desde luego con este modo solo es posible la transmisión monofónica por lo que su empleo es limitado. Los mejores resultados que se obtuvieron son próximos al 93% para E, 65% para SNR y 97% para el AudioQ a una distancia radial aproximada de 20 km. Comparado con modos más robustos este presenta menores dificultades para la recepción aceptable.

5.4.2 Recepción móvil en un entorno urbano denso

Las pruebas realizadas para la recepción móvil en un entorno urbano denso se llevaron a cabo en las rutas 2 y 5. Los modos de operación de la señal DRM en estas rutas son: 18K_B16405, 18K_B641606 y 20K_A641606.

Para la ruta 2 se tienen dos tablas con los porcentajes de recepción aceptable del modo 18K_B16405. Estas son las tablas 5.16 y 5.17 en las cuales se puede observar que la mayor parte de los resultados recibidos aceptablemente en movimiento del campo E se encuentran entre el 40% y el 96%, para la relación señal a ruido este porcentaje es del 3% al 85% y para el AudioQ estos valores se encuentran entre el 28% al 97%. Este modo tiene un ancho de banda de 18 kHz y una velocidad binaria de 21.20 kbps.

Tabla 5.16

Modo DRM 18K_B16405								
Porcentaje de E, S/N y AudioQ recibos aceptablemente								
Ruta2	Tramo							
	1	2	3	4	5	7-1	7-2	7-3
Campo Eléctrico (E)	63.76	89.88	61.88	42.44	47.30	65.69	95.06	96.57
R. Señal a Ruido (S/N)	42.88	85.39	48.01	57.55	27.32	20.58	24.69	4.11
C. de Audio (AudioQ)	87.92	97.75	90	93.52	82.93	69.12	55.55	28.66

Tabla 5.17

Modo DRM 18K_B16405_S					
Porcentaje de E, S/N y AudioQ recibos aceptablemente					
Ruta2	Tramo				
	1-1	1-2	2	3	4
Campo Eléctrico (E)	45.45	64.92	66.52	40.84	72.44
R. Señal a Ruido (S/N)	3.03	62.81	65.54	19.60	39.11
C. de Audio (AudioQ)	90.90	89.53	92.98	86.60	89.57

Se mostraran las graficas del tramo 1-2 de la tabla 5.17 que nos ayudara a entender el comportamiento de este modo en el entorno urbano denso, estas graficas se encuentran en la figura 5.26, donde se describen los parámetros de E, SNR, AudioQ y la velocidad respectivamente, utilizando el sistema GPS.

De estas graficas anteriores podemos observar que se presentan caídas de los tres parámetros medidos, esto ocasionado generalmente al ruido presente en los tramos al momento de tomar las pruebas. En la grafica del comportamiento de la velocidad, puede apreciarse pequeños tramos donde la velocidad es cero, desde luego esto es debido al tráfico cotidiano de la ciudad y más aún presente en el entorno urbano denso. La distancia radial se encuentra entre los 10.5 y 13.5 km.

El siguiente modo 18K_B641606 esta representado en la tabla 5.18, en ella se encuentra los porcentajes de los parámetros que cumplieron con los umbrales mínimos para una buena recepción de la señal DRM. La velocidad de este modo es de 38.18 kbps y un ancho de banda de 18 kHz.

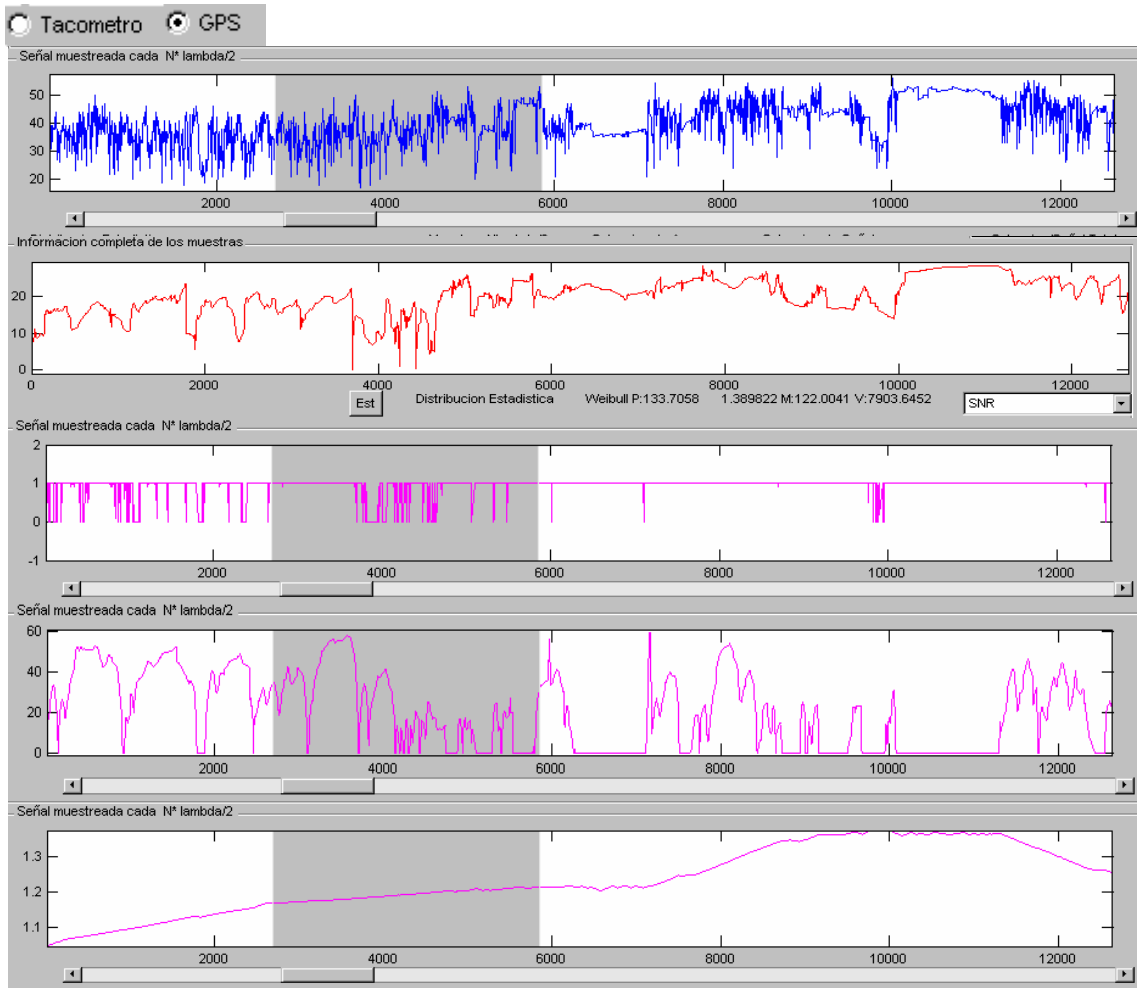


Figura 5.26 Comportamiento de E, SNR, AudioQ, velocidad y distancia radial del Tramo 1-2, Ruta 2

En este modo el campo E tuvo un comportamiento muy variable, por ejemplo encontramos tramos en los que la recepción estuvo realmente baja 42% y tramos en los que la recepción fue buena del 91%. En el caso del SNR la mayor parte de los porcentajes que cumplen con 18 dB como mínimo se encuentran entre el 35% y 73%, para el AudioQ la recepción es buena entre un 58% y 82%.

Tabla 5.18

Modo DRM 18K_B641606							
Porcentaje de E, S/N y AudioQ recibos aceptablemente							
Ruta2	Tramo						
	1	2	3	4	5	6	7
Campo Eléctrico (E)	79.68	91.70	58.56	51.78	42.36	48.74	64.82
R. Señal a Ruido (S/N)	73.96	42.48	60.06	35.20	38.88	41.57	48.55
C. de Audio (AudioQ)	82.17	68.39	72.04	58.92	63.88	63.08	62.99

Para ejemplificar este modo se presentan las graficas del tramo 7, en las cuales pueden observarse los comportamientos del campo E, la relación S/N, la calidad de audio y la velocidad en la figura 5.27, empleando los datos del tacómetro.

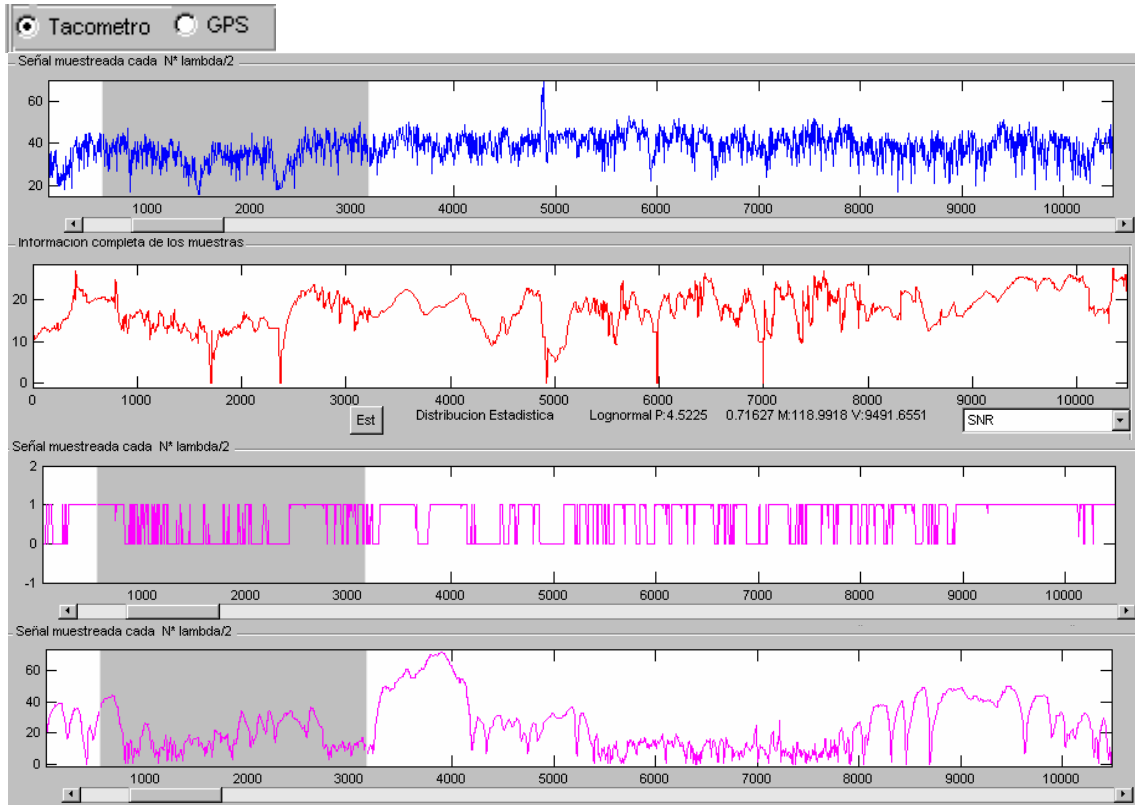


Figura 5.27 Comportamiento de E, SNR y AudioQ del Tramo 7, Ruta 2

A lo largo del recorrido de este tramo puede observarse que hay varios puntos en los que la señal cae bruscamente, esto nuevamente se puede entender se debe al propio entorno, el cual presenta tráfico y zonas en las que el ruido es muy alto. Puede comprobarse que efectivamente el problema para una buena recepción de la señal DRM es el tráfico al observar la grafica correspondiente a la velocidad, donde se aprecia que la velocidad es muy baja durante largos periodos durante el recorrido del tramo 7.

La descripción de la buena recepción obtenida de la señal DRM para el modo 20K_A641606 de la ruta 2 se encuentra en la tabla 5.19. En ella, aunque en el tramo 2 se tiene una buena recepción, el porcentaje promedio de E que se recibe bien en este modo se encuentra entre el 50% y 88%, el de la relación señal a ruido se ubica entre el 6% y 65%, en el caso del AudioQ el porcentaje de buena recepción esta entre el 33% y 85%

Tabla 5.19

Modo DRM 20K_A641606							
Porcentaje de E, S/N y AudioQ recibos aceptablemente							
Ruta2	Tramo						
	1	2	3	4	5	6	7
Campo Eléctrico (E)	77.67	88.42	71.42	52.14	57.66	50.19	72.58
R. Señal a Ruido (S/N)	44.21	65.78	37.54	30.69	33.66	6.66	47.03
C. de Audio (AudioQ)	64.63	85.26	57.52	58.23	68.33	33.20	66.47

Este modo tiene una velocidad de 54.98 kbps y un ancho de banda de 20 kHz. Para representar este modo de la ruta 2 se utilizaran los datos del tramo 7 y se

emplearan los datos del sistema GPS. La figura 5.28 contiene la grafica del campo E, de la relación S/R y la calidad de audio.

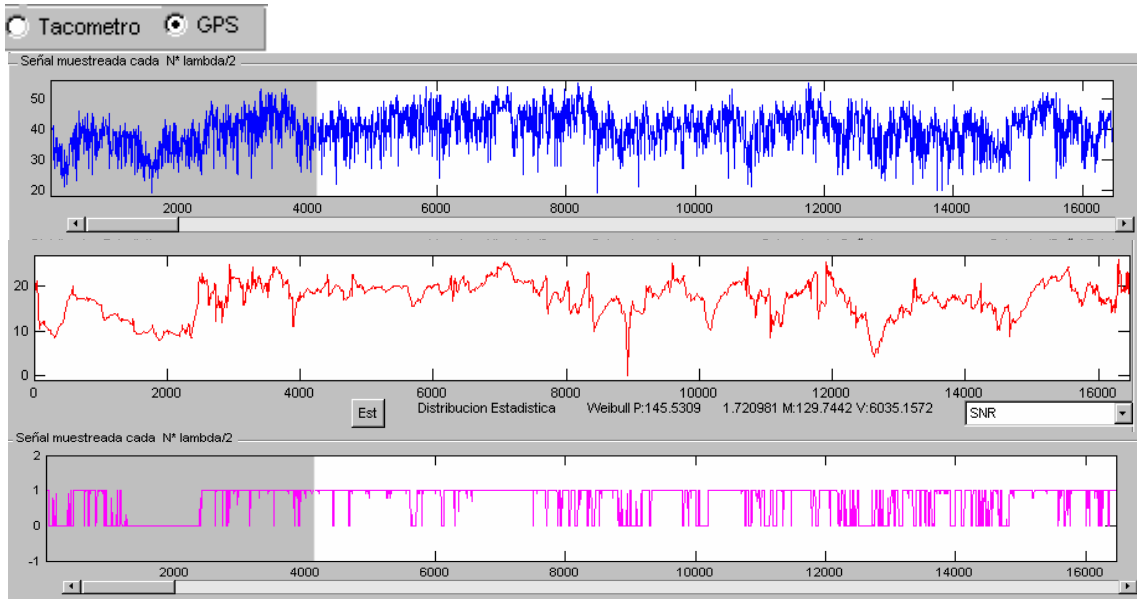


Figura 5.28 Comportamiento de E, SNR y la calidad de audio del tramo 7, Ruta 2

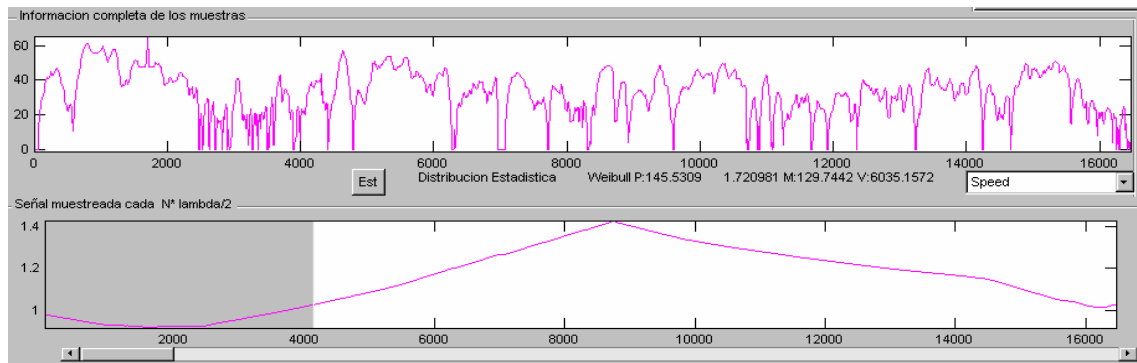


Figura 5.29 Comportamiento de la velocidad y la distancia radial al transmisor del Tramo 7, Ruta 2

El tráfico en este tramo es más ágil, esto puede apreciarse en la figura 5.29, por lo que puede deducirse también que gracias a esto se mejoro la recepción de la señal DRM en comparación de los modos descritos anteriormente, donde el trafico es más lento. En la misma figura 5.29 se presenta la distancia radial del móvil al transmisor, esta se ubica entre los 10 y 14 km.

Tabla 5.20

Modo DRM 20K_A641606					
Porcentaje de E, S/N y AudioQ recibos aceptablemente					
Ruta5	Tramo				
	1	2	3	4	5
Campo Eléctrico (E)	90.97	100	100	99.88	88.46
Relación Señal a Ruido (S/N)	70.15	98.42	99	96.12	32.19
Calidad de Audio (AudioQ)	80.56	98.34	96.74	96.34	51.41

Por último, para el entorno industrial denso se realizaron las pruebas de la ruta 5 la cual tiene una distancia aproximada al transmisor de 2 km. La tabla 5.20 muestra los porcentajes de las muestras que tuvieron una buena recepción, este modo 20K_A641606 tiene una velocidad de 54.98 kbps y un ancho de banda de 20 kHz, estas pruebas se llevaron a cabo en cinco tramos, en los cuales se obtuvieron muy buenos resultados.

El campo eléctrico tuvo excelentes resultados, alcanzando en dos tramos que el 100% de la muestras se recibieran correctamente, los tramos 2, 3 y 4 representan los mejores valores de esta ruta y son muy parecidos entre ellos. El porcentaje de muestras que se recibieron aceptablemente del campo E se encuentran entre el 88% y el 100%, para la SNR sus mejores valores están entre el 32% y 99%, y en el caso de la AudioQ la recepción aceptable esta entre el 51% y 98%, cabe mencionar que el tramo 5 es el que tuvo más problemas en los tres parámetros, esto puede atribuirse al ruido presente en este tramo, si no consideramos este tramo las estimaciones de buena recepción mejoran en toda la ruta 5.

El ejemplo grafico del Tramo 2 para este modo se encuentra en la figura 5.30, que presenta el comportamiento del campo E, la relación SNR y la calidad de audio, respectivamente. Para el procesado de estas muestras se emplearon los datos del tacómetro.

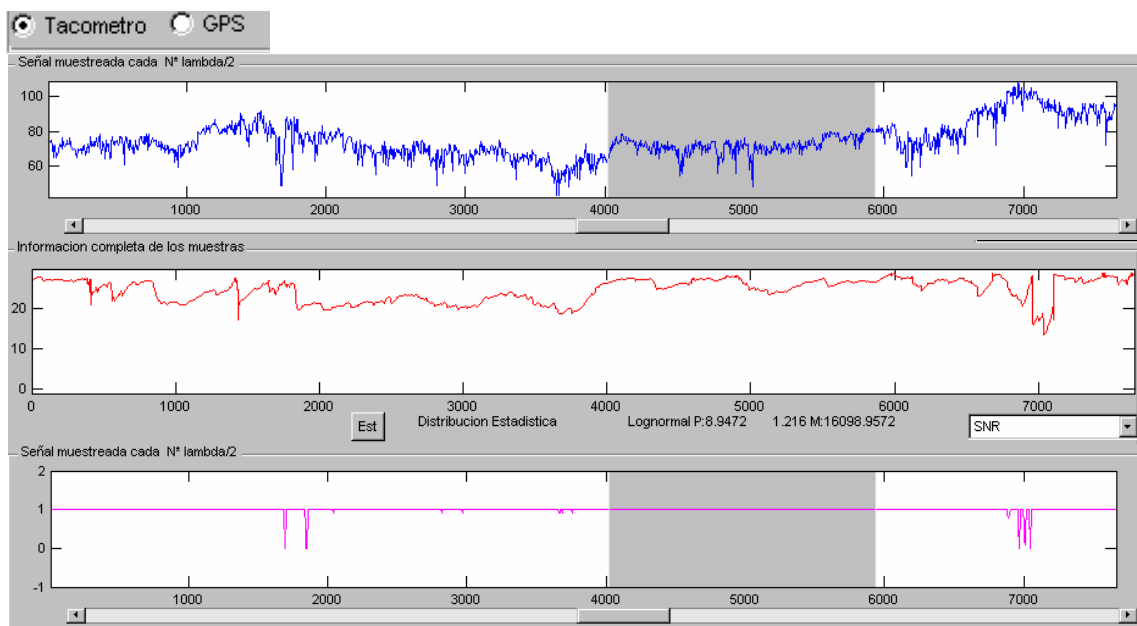


Figura 5.30 Comportamiento de E, SNR y AudioQ del Tramo 2, Ruta 5

En las tres graficas podemos observar la buena señal recibida durante el recorrido a lo largo del Tramo 2, de estas graficas destaca un punto en el cual decae el AudioQ y la SNR, para este punto el campo E aumenta, lo que es atribuible al ruido presente en ese momento.

Para resumir el comportamiento de la señal DRM en el entorno urbano denso, recordemos que para el modo 18K_B16405 de la ruta 2 el porcentaje de buena recepción del campo E se encuentra entre el 40% y 96%, para el modo 18K_B641606 de la misma ruta es de 42% y 91%, para el modo 20K_A641606 E

se encuentra entre 50% y 77%, finalmente para el modo 20K_A641606 de la ruta 5 la buena recepción de E se encuentra entre el 88% y 100%.

Al realizar una comparación similar para el caso de la relación señal a ruido y la calidad de audio se observa el mismo comportamiento. Para la ruta 2 la señal se recibe deficientemente, sin embargo para el caso de la ruta 5 presenta muy buenos resultados. La causa de esto es desde luego al entorno mismo, urbano denso que es una zona con edificios de mucha altura, lo que impide una buena recepción de la señal DRM, sin embargo en un entorno similar (urbano denso) pero al estar más cerca del transmisor la señal tiene una buena recepción.

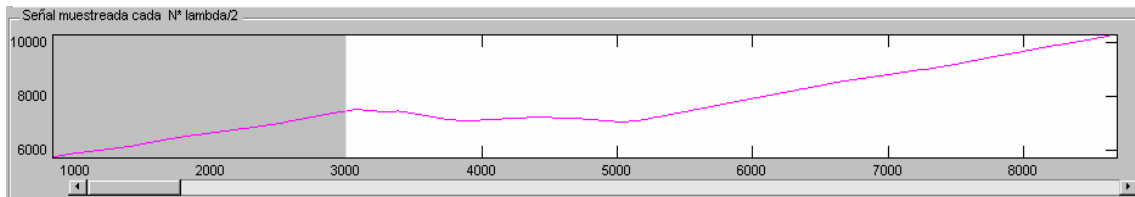


Figura 5.31 Distancia radial del tramo 5 de la ruta 5

Observemos, con ayuda de las graficas, la distancia radial promedio entre el móvil y el transmisor de las rutas 2 y 5. Para la ruta 2, en la figura 5.26 se tiene una distancia radial promedio entre los 10.5 y 13.5 km, y en la figura 5.29 se encuentra entre los 10 y 14 km. Para observar la distancia radial de la ruta 5 se presenta la figura 5.31, esta grafica corresponde al tramo 5, el cual presento los porcentajes más bajos de recepción aceptable de la ruta 5 y es el tramo más alejado al transmisor, la distancia radial esta entre los 6 y 10 km.

Para complementar la visión del tramo 5 se muestran a continuación la figura 5.32, la cual contiene las graficas del campo E, la SNR y la calidad de audio.

Por lo que los problemas de recepción de la señal DRM en este entorno urbano denso son atribuibles desde luego al ruido presente en la ciudad, como en cualquier otra, a la interferencia presente en el entorno y sobretodo a la potencia que se tenía en el transmisor, siendo esta muy baja para poder cubrir satisfactoriamente los tramos y rutas elegidos.

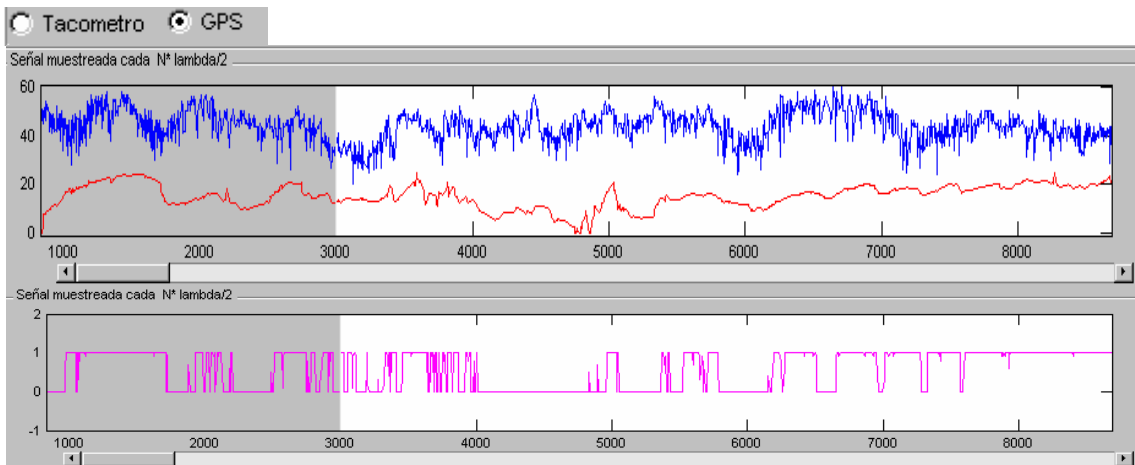


Figura 5.32 Comportamiento de E, SNR y el AudioQ, Tramo 5, Ruta 5

5.4.3 Recepción móvil en un entorno industrial poco denso

En el entorno industrial poco denso se empleó el modo de la señal DRM siguiente: 20K_B16405. Estas pruebas de recepción móvil se llevaron a cabo en la ruta 3 y los porcentajes de los parámetros de campo E, de SNR y calidad de audio que se recibieron de forma adecuada en esta ruta se encuentran en la tabla 5.21.

Tabla 5.21

Modo DRM 20K_B16405						
Porcentaje de E, S/N y AudioQ recibos aceptablemente						
Ruta3	Tramo					
	1	2	3	4	5	6
Campo Eléctrico (E)	59.05	63.47	69.16	40.99	34.69	61.11
Relación Señal a Ruido (S/N)	30.49	30.47	3.65	0.45	6.17	28.04
Calidad de Audio (AudioQ)	83.51	80.63	46.49	55.85	57.86	82.92

Dentro de esta ruta tres tramos son los que tienen más problemas con la recepción y tres los que tienen un comportamiento un poco mejor. En el campo E se tienen entre el 34% y 69% de las muestras que son recibidas de forma adecuada, la SNR se encuentra entre el 0% y 30%, estos son porcentajes realmente muy bajos en comparación de las rutas anteriores, y la calidad de audio tiene entre el 46% y 83% de muestras sin problemas de recepción.

La velocidad binaria del modo empleado en esta ruta es de 23.82 kbps y tiene un ancho de banda de 20 kHz. Las graficas que se encuentran a continuación en la figura 5.33 permiten observar el comportamiento del campo E, la SNR y la calidad de audio del Tramo 3. Los datos empleados para la elaboración de estas graficas fueron los del sistema GPS.

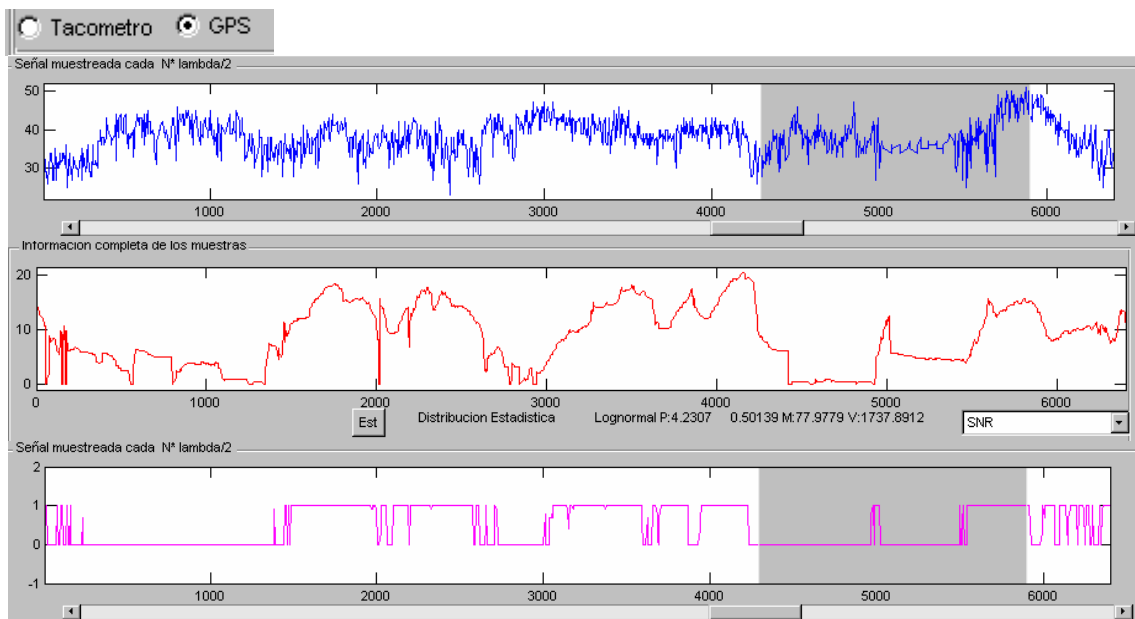


Figura 5.33 Comportamiento de E, SNR y la calidad de audio del Tramo 3, Ruta 3

Para darnos cuenta de las posibles causas del fallo en la recepción de la señal observemos la siguiente figura 5.34. Donde se encuentran las graficas de la velocidad y la distancia radial del tramo 3 al transmisor.

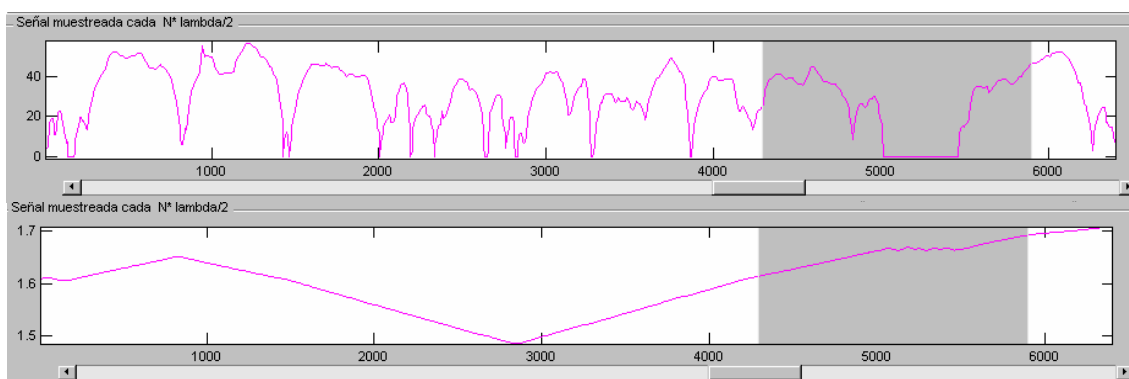


Figura 5.34 Comportamiento de la velocidad y la distancia radial del Tramo 3, Ruta 3

En la figura 5.34 podemos apreciar que la distancia radial se encuentra entre los 15 y 17 km del tramo 3 al transmisor, por lo que nuevamente la distancia entre transmisor y receptor resulta relevante, ya que el entorno, industrial poco denso, presenta problemas de ruido e interferencia como en la mayor parte de las zonas urbanas de la ciudad y no de mayor consideración. Sin embargo, cabe mencionar que durante el recorrido de este tramo se transita dentro de túneles, dentro de los cuales la señal sufre una caída e incluso una pérdida de la misma, esto realmente sucede con cualquier tipo de señal dentro al pasar por estos túneles por lo que no es un problema en realidad.

La solución nuevamente se encuentra en aumentar la potencia del transmisor lo suficiente que permita cubrir sin problemas a la ciudad de México, recordemos que la potencia del transmisor fue de 200 watts no tenía el objetivo de estudiar la cobertura o alcance de la señal DRM.

5.4.4 Recepción móvil en un entorno residencial abierto

Finalmente, en la ruta 4 se efectuaron las pruebas para la recepción móvil de un entorno residencial abierto. En este entorno se utilizaron los modos siguientes de la señal DRM: 18K_B16405, 18K_B641606 y 18K_A641606.

Comencemos con la tabla 5.22 en la que se muestra los porcentajes de recepción aceptable que se obtuvieron durante los recorridos de siete tramos para la realización de pruebas del modo 18K_A641606 de DRM, este modo tiene un ancho de banda de 18 kHz y una velocidad de 38.18 kbps.

Tabla 5.22

Modo DRM 18K_A641606										
Porcentaje de E, S/N y AudioQ recibos aceptablemente										
Ruta4	Tramo									
	1-1	1-2	2	3	4	5-1	5-2	5-3	6	7
Campo Eléctrico (E)	88.52	98.29	79.29	84	77.13	86.36	83.67	76.69	83.05	74.91
R. Señal a Ruido (S/N)	61.50	93.18	67.80	89.71	96.92	13.63	91.83	55.84	35.16	34.92
C. de Audio (AudioQ)	72.64	98.05	84.47	96.57	98.63	59.09	95.57	72.82	53.81	62.03

Los resultados con una buena recepción obtenidos con este modo se encuentran entre el 74% y el 98% para el campo eléctrico, entre el 13% y 96% para la SNR y del 53% al 98% para la calidad de audio.

El rango de estos porcentajes es muy amplio y el caso más notable es el de la relación señal a ruido, sin embargo dentro de este entorno, residencial abierto con zonas de pocos edificios, con parques o zonas abiertas, presenta interferencias como lo son el paso de aviones o interferencias de los cables de alta tensión, estos problemas son propios de la zona y de los tramos que se eligieron, por lo que no pueden evitarse.

Las dos zonas que se eligieron para realizar las pruebas de recepción móvil fueron el bosque de Chapultepec y la Ciudad Deportiva, muy separadas entre ellas, también dentro de este entorno es muy común encontrar túneles donde no es posible recibir la señal DRM, ni cualquier otra,

Observemos el comportamiento del Tramo 5-3 para ejemplificar el comportamiento de la recepción móvil de este modo en la ruta 4. La figura 5.35 muestra las graficas del campo E y la SNR considerando la posición en base al sistema GPS. También pueden observarse el comportamiento del parámetro AudioQ y, para visualizar las características del entorno, la velocidad registrada y la distancia radial del móvil al transmisor de la señal DRM.

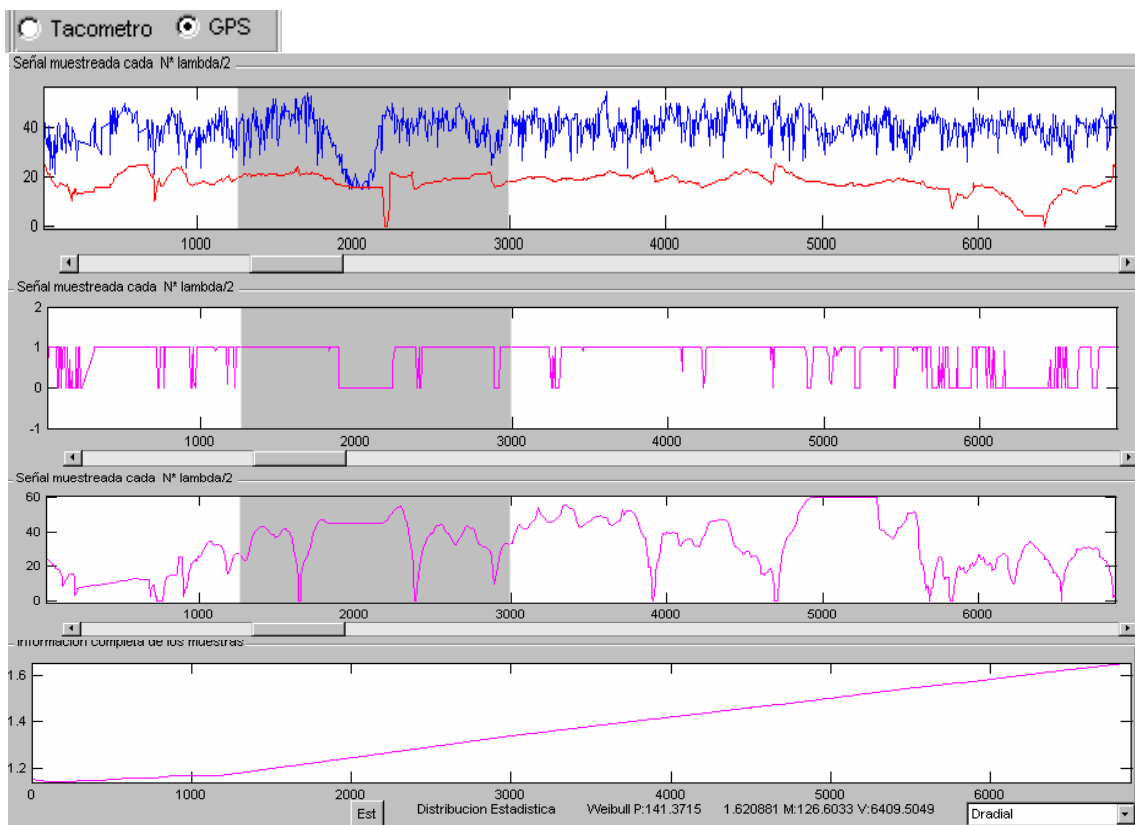


Figura 5.35 Comportamiento de E, SNR, AudioQ, velocidad y distancia radial entre transmisor y receptor móvil, en el Tramo 5-3, Ruta 4

En la figura anterior se puede apreciar el efecto que tiene la señal DRM al pasar por un túnel (este efecto se observa dentro de la ventana de selección), durante el

cual no es posible recibir la señal correctamente, este problema persistirá aún cuando la potencia del transmisor aumente. También, en la figura 5.35 puede verse que la distancia radial del tramo 5-3 al transmisor se encuentra entre los 12 y 16 km.

Continuando con el análisis de la ruta 4 se tiene al modo DRM 18K_B16405, durante estas pruebas en especial se presentaron problemas con el sistema de medición, ya que hay huecos en los datos tomados con el sistema GPS y no se tienen los datos correspondientes al tacómetro. Sin embargo los tramos mostrados en la tabla 5.23 son muy representativos del comportamiento de este modo en la ruta 4.

Tabla 5.23

Modo DRM 18K_B16405			
Porcentaje de E, S/N y AudioQ recibos aceptablemente			
Ruta4	Tramo		
	1	2	4
Campo Eléctrico (E)	80.96	83.27	72.25
Relación Señal a Ruido (S/N)	57.68	85.23	83.22
Calidad de Audio (AudioQ)	94.71	97.03	100

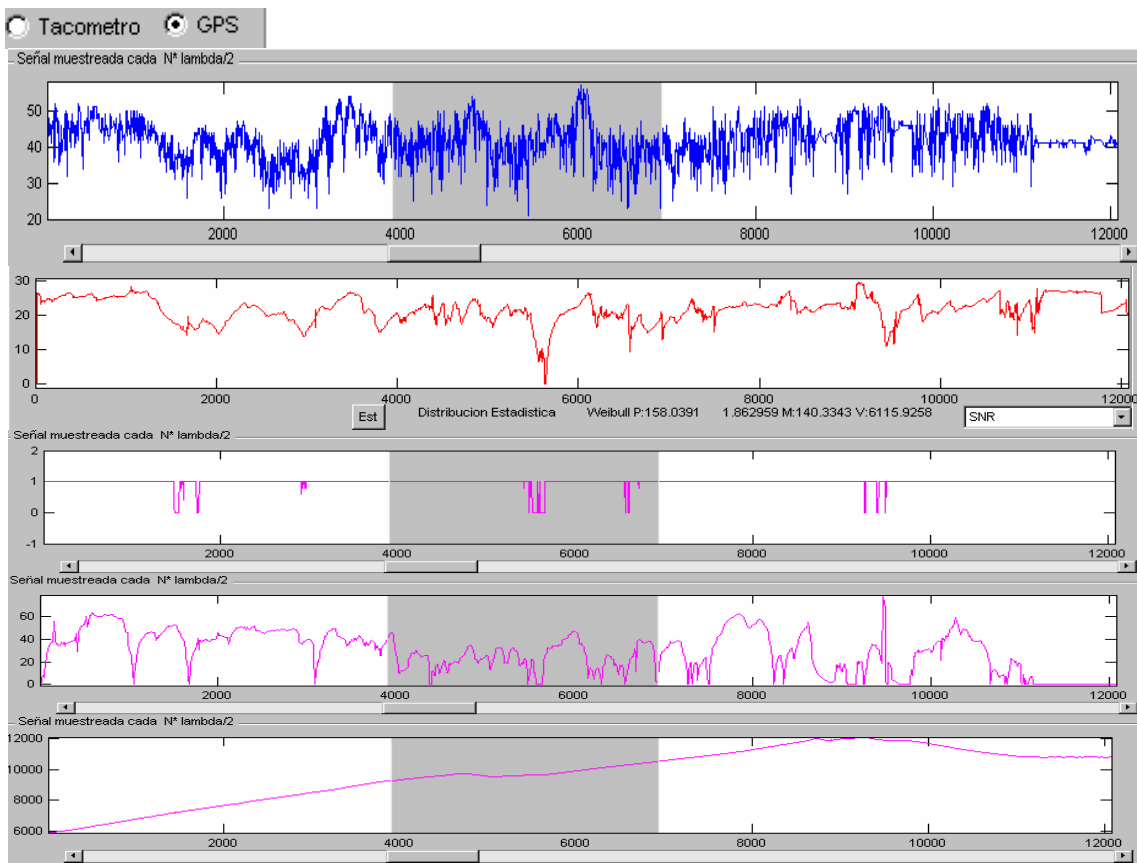


Figura 5.36 Comportamiento de E, SNR, la calidad de audio, la velocidad y la distancia radial del Tramo 2, Ruta 4

Los rangos que tienen una buena recepción para el campo E, la SNR y el AudioQ son del 72% al 83%, del 57% al 85% y del 94% al 100% respectivamente.

Resultados en general buenos si observamos que la calidad del audio en estos tramos en muy alta.

Observemos el comportamiento del Tramo 2 para darnos cuenta del comportamiento de la señal DRM en este entorno residencial abierto. Para ello, se presenta la figura 5.36 que muestra las graficas del campo eléctrico, la relación señal a ruido, la calidad de audio, la velocidad y la distancia radial. Para realizar estas graficas se emplearon los datos del sistema GPS.

La distancia radial del tramo 2 se encuentra entre los 6 y 12 km, si observamos el punto en el cual el receptor esta más alejado del transmisor durante este tramo, nos daremos cuenta que en ese punto se tiene problemas con el campo E, la SNR y el AudioQ, ahora si observamos los puntos donde esta distancia radial es menor, veremos que la recepción de la señal es buena.

Para finalizar el análisis del entorno residencial abierto se presenta la tabla 5.24 con los porcentajes con buena recepción para el modo 18K_B641606 de DRM.

Con este modo solo se realizaron las pruebas de recepción en dos tramos, en general se tuvo una buena recepción de la señal de campo E con porcentajes del 79% y 90%, la SNR presento 69% y 84% de las muestras recibidas aceptablemente y en la calidad de audio estos valores son del 79% y 92%.

Tabla 5.24

Modo DRM 18K_B641606		
Porcentaje de E, S/N y AudioQ recibos aceptablemente		
Ruta4	Tramo	
	1	2
Campo Eléctrico (E)	90.49	79.54
Relación Señal a Ruido (S/N)	69.38	84.07
Calidad de Audio (AudioQ)	79.51	92.03

En las graficas correspondientes al tramo 2 de la tabla anterior, empleando los datos del sistema GPS, mostradas en la figura 5.37 se encuentra la grafica del campo eléctrico, el comportamiento de la relación señal a ruido, la calidad de audio, la distancia radial y la velocidad. La distancia radial en el caso de este tramo se encuentra entre los 6 y 10 km como puede observarse.

Para concluir con el entorno residencial abierto, mencionemos nuevamente que la recepción del campo eléctrico en los tres modos probados de esta ruta tuvieron buenos resultados y en cuantos a los parámetros de relación señal a ruido y calidad son muy parecidos, a excepción de la señal a ruido y calidad de audio del modo 18K_A641606 cuyo rango es más amplio, esto es debido a que hay tramos en los que la recepción no muy buena y tramos en los que mejora.

Podemos explicar que esto es debido en gran parte a la distancia radial que tienen la zona de este entorno, en el primer modo 18K_A641606 las pruebas se realizaron en el área de la Ciudad Deportiva con una distancia radial de entre 12 y 16 km para el tramo 5-3 de este modo.

Mientras que para el tramo 2 del modo 18K_B16405 la distancia radial se encuentra entre los 6 y 12 km y para el tramo 2 del modo 18K_B641606 la distancia radial es de entre 6 y 10 km, ambos modos probados en el área de chapultepec

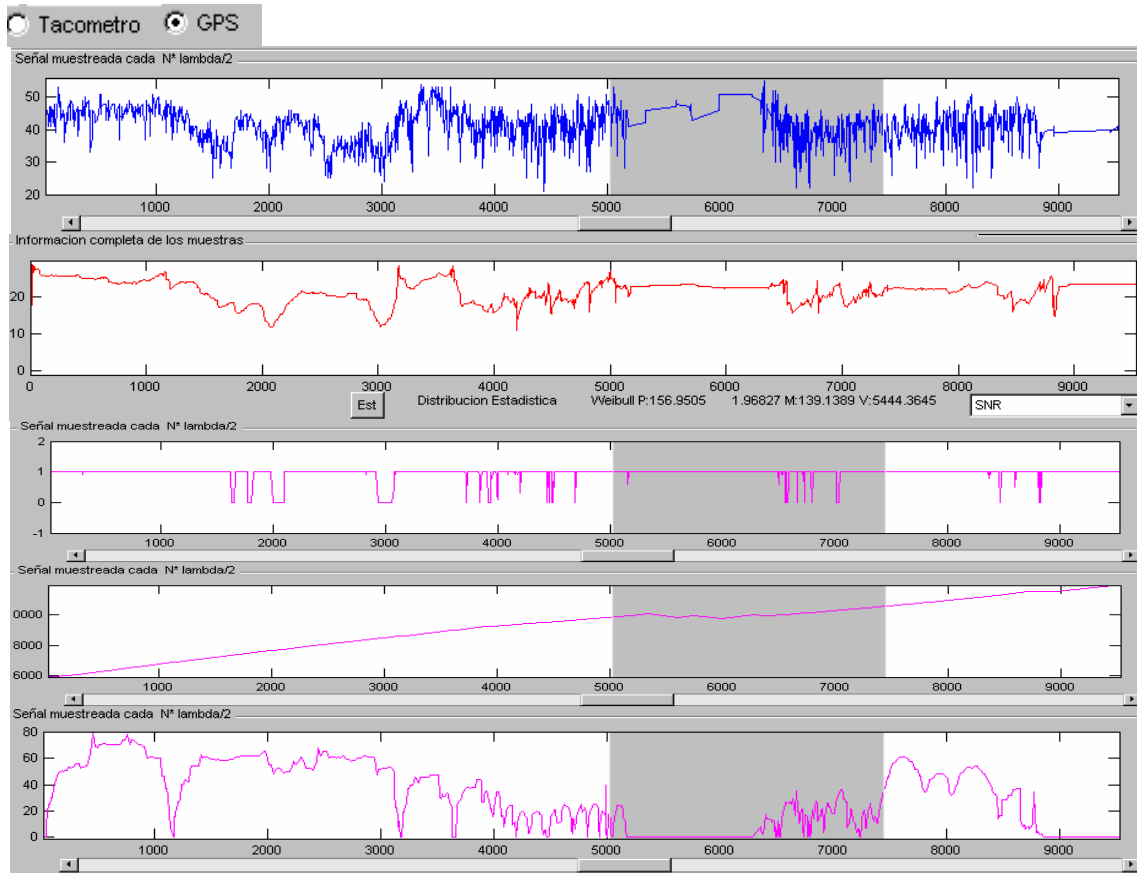


Figura 5.37 Comportamiento de E, SNR, AudioQ, distancia radial y la velocidad del Tramo 2, Ruta 4

En las tablas 5.23 y 5.24 se tuvieron mejores resultados y estos tramos son los más cercanos al transmisor, por lo que se concluye que al aumentar la potencia del transmisor la recepción móvil será aceptable. Cabe mencionar que en el modo 18K_A641606 de esta ruta se tuvieron buenos resultados a pesar de la distancia radial al transmisor que se presentaba, la causa de esto es el poco ruido que se encuentra en el mismo entorno residencial abierto.

5.4.5 Resultados

Los resultados del análisis anterior se encuentran resumidos en las tablas siguientes, dicha tablas se obtuvieron realizando el promedio de los porcentajes recibidos aceptablemente de cada modo y ruta. La tabla 5.25 muestra los porcentajes de los parámetros de campo eléctrico (E), relación señal a ruido (SNR) y calidad de audio (AudioQ) que se han recibido de manera aceptable para cada modo y ruta en un entorno típico mexicano.

Debido a las pruebas realizadas y al análisis del punto 5.4.3 para la cobertura, se concluyó que con la potencia de 200 W del transmisor se obtiene una cobertura

radial promedio de 16 km. En la tabla 5.25 se presenta una cobertura regular para la ruta 1 a una distancia promedio del transmisor de 11.5 km, la causa de esta recepción móvil regular se debe principalmente al ruido presenta en dicha ruta, obsérvese que la SNR es muy baja.

Tabla 5.25

Recepción Móvil en un Entorno Típico Mexicano				
Porcentaje promedio de E, S/N y AudioQ recibos aceptablemente				
Modo DRM	Campo Eléctrico (E)	Relación Señal a Ruido (SNR)	Calidad de Audio (AudioQ)	Recepción Móvil
Ruta 1 18K_B16405 20K_B16405	64.41	39.73	83.25	<i>Regular</i>
Ruta 6 10K_B16405	84.79	45.56	85.50	<i>Buena</i>
Ruta 6 18K_B16405 20K_B16405	71.95	29.86	75.65	<i>Regular</i>
Ruta 6 20K_A641606	42.4	20.67	38.24	<i>Mala</i>
Entorno Típico Mexicano	65.89	33.95	70.66	Regular

En cuanto a la ruta 6, la recepción móvil en el modo 10K_B16405 es buena, esto se debe a que este modo solo se emplea para transmisión de voz (canales de audio mono), es decir, presenta menor dificultad su recepción, aunque la distancia radial de esta ruta al transmisor es de 20 km. Por el contrario, para los otros modos la recepción móvil resulta regular y mala, la causa de ello es la distancia radial de la ruta 6 que supera los 16 km. Por lo que puede concluirse que la recepción móvil en un entorno típico mexicano, para las pruebas realizadas, es en general regular.

Los porcentajes de recepción móvil promedio para un entorno urbano denso se encuentran en la tabla 5.26. Para la ruta 2 dicha recepción es regular y esto se debe principalmente al ruido presente en la ruta (relación señal a ruido baja); la distancia radial al transmisor es de 10 km.

Tabla 5.26

Recepción Móvil en un Entorno Urbano Denso				
Porcentaje promedio de E, S/N y AudioQ recibos aceptablemente				
Modo DRM	Campo Eléctrico (E)	Relación Señal a Ruido (SNR)	Calidad de Audio (AudioQ)	Recepción Móvil
Ruta 2 18K_B16405 18K_B16405_S	65.59	38.50	81.15	<i>Regular</i>
Ruta 2 18K_B641606	62.52	48.67	67.35	<i>Regular</i>
Ruta 2 20K_A641606	67.15	37.93	61.94	<i>Regular</i>
Ruta 5 20K_A641606	95.86	79.17	84.67	<i>Buena</i>
Entorno Urbano Denso	72.78	51.06	73.77	Regular

Sin embargo, para la ruta 5 (mismo entorno) se tiene una buena recepción móvil, esto se debe a que la distancia radial de la ruta es de 2 km. Por lo que puede concluirse que la recepción móvil en un entorno urbano denso, para las pruebas realizadas, es en general regular.

Tabla 5.27

Recepción Móvil en un Entorno Industrial Poco Denso Porcentaje promedio de E, S/N y AudioQ recibos aceptablemente				
Modo DRM	Campo Eléctrico (E)	Relación Señal a Ruido (SNR)	Calidad de Audio (AudioQ)	Recepción Móvil
Ruta 3 20K_B16405	54.745	16.545	67.87	<i>Mala</i>
Entorno Industrial Poco Denso	54.745	16.545	67.87	<i>Mala</i>

Los porcentajes de recepción móvil promedio para un entorno industrial poco denso se encuentran en la tabla 5.27. Para la ruta 3, solo se realizaron las pruebas para un solo modo, la recepción móvil es mala, esto se debe principalmente al ruido presente en la ruta (relación señal a ruido muy baja) y a la distancia radial transmisor-receptor, que es en promedio de 15 km (próxima al límite de cobertura). Por lo que puede concluirse que la recepción móvil en un entorno industrial poco denso, para las pruebas realizadas, es en general mala, cabe mencionar nuevamente que solo se realizaron estas pruebas en una sola ruta y para un solo modo.

Los porcentajes de recepción móvil promedio para un entorno residencial abierto se encuentran en la tabla 5.28. Para la única ruta donde se realizaron las pruebas, ruta 4, dicha recepción es buena, gracias a que el ruido presente en la ruta es bajo (relación señal a ruido alta), característico de la zona, también gracias a que hay pocos edificios, es decir, hay pocos obstáculos entre transmisor y receptor. Por lo que puede concluirse que, aunque la distancia radial al transmisor es de 9.5 a 17 km, el entorno residencial abierto presenta una buena recepción móvil, sin duda, debido a las características de la misma.

Tabla 5.28

Recepción Móvil en un Entorno Residencial Abierto Porcentaje de E, S/N y AudioQ recibos aceptablemente				
Modo DRM	Campo Eléctrico (E)	Relación Señal a Ruido (SNR)	Calidad de Audio (AudioQ)	Recepción Móvil
Ruta 4 18K_A641606	83.19	64.04	79.36	<i>Buena</i>
Ruta 4 18K_B16405	78.82	75.37	97.24	<i>Buena</i>
Ruta 4 18K_B641606	85.01	76.72	85.77	<i>Buena</i>
Entorno Residencial Abierto	82.34	72.04	87.45	<i>Buena</i>

Capítulo 6

Conclusiones

En la banda de 26 MHz (HF) el sistema DRM (Digital Radio Mondiale) ofrece una muy buena calidad de audio (dentro del área de cobertura), similar a la de FM analógica con una relación señal a ruido 18 dB menor a la necesaria para la recepción de AM. Con el transmisor de 200 Watts empleado, se consiguió una cobertura aproximada de 15 km de radio. En las pruebas que se realizaron con el sistema DRM, se emplearon canales de 10 kHz, 18 kHz y 20 kHz de ancho de banda y los Modos de DRM A y B.

El comportamiento que se obtuvo de la recepción móvil de la señal DRM en el entorno típico mexicano (Ruta 1) no tuvo buenos resultados, este entorno urbano lo componen generalmente calles anchas y casas de poca altura. Los mejores resultados obtenidos se encontraron próximos al 80% de campo eléctrico (E), el 30% de la relación señal a ruido (SNR) y una calidad de audio (AudioQ) cercana al 98%. Recordemos también que, la distancia al transmisor de esta ruta es de aproximadamente 11.5 km.

Por ello, en la Ruta 1 la señal DRM se caracteriza por el elevado ruido que afecta a la señal y por la baja recepción del campo E. Si se considera un umbral de 18 dB para la SNR, y tomando en cuenta que la mayor parte del área de la ruta no esta cubierta, la mayoría de los valores de SNR estarían por encima de dicho umbral si la potencia fuera mayor (por ejemplo de 2 kW). Exceptuando desde luego, los puntos donde se encuentran túneles e interferencias que provocan que la recepción no sea posible para ningún tipo de servicio, ni analógico, ni digital en esta banda de frecuencia.

En el caso de la ruta 6, en el modo 18K_B16405, los mejores resultados son aproximadamente del 91% para E, del 32% para SNR y del 88% para el AudioQ, mientras que para el modo 20K_A641606 es del 58% para E, del 31% para SNR y del 45% para el AudioQ.

En la Ruta 6, en comparación con la Ruta 1, la señal se encuentra más afectada por el ruido y las interferencias. Aunque como se menciona en la Ruta 1, existen puntos con niveles de interferencia y ruido que impiden utilizar cualquier tipo de servicio radioeléctrico. La principal causa de la baja recepción aceptable de la señal en esta ruta se debe a la distancia radial de aproximadamente de 20 km. Esto puede solucionarse aumentando la potencia del transmisor, lo que implica una mayor área de cobertura.

Para el caso del modo 10K_B16405 de la ruta 6, se obtuvo una buena recepción, esto se debe a que las condiciones necesarias para dicho modo son menos, por ejemplo un ancho de banda de 10 kHz y una velocidad de 11.64 kbps. Por lo que en este modo solo es posible la transmisión monofónica. Los mejores resultados que se obtuvieron son próximos al 93% para E, 65% para SNR y 97% para el

AudioQ a una distancia radial aproximada de 20 km. Comparado con modos más robustos este presenta menores dificultades para la recepción aceptable.

La recepción móvil de la señal DRM en el entorno urbano denso (Ruta 2), zona con edificios de mucha altura, fue deficientemente, sin embargo en la Ruta 5 se presentan muy buenos resultados. El comportamiento de la señal DRM en el modo 18K_B16405 de la ruta 2 presenta valores para el campo E entre el 64% y 96% de recepción aceptable, para el modo 18K_B641606 de la misma ruta es de 42% y 91%, para el modo 20K_A641606 el campo eléctrico se encuentra entre 50% y 77%, finalmente para el modo 20K_A641606 de la ruta 5 la buena recepción de E se encuentra entre el 99% y 100%.

Por lo que el campo recibido ha sido ligeramente superior que en la Ruta 1, en algunos casos, con un nivel de ruido similar. Las pérdidas de audio ocurren debido a niveles de campo bajos que provocan que la relación SNR baje por debajo del umbral requerido. Otra causa de estos resultados es la distancia radial, en la Ruta 5, al ser menor presenta muy buenos niveles de recepción, y en la Ruta 2, se presentarían mejores resultados al aumentar la potencia de transmisión.

En la Ruta 3 (industrial poco denso), nuevamente la distancia entre transmisor y receptor resulta relevante, aunque se presentan también problemas de ruido e interferencia. Por lo que, la solución nuevamente se encuentra en aumentar la potencia del transmisor lo suficiente que permita cubrir sin problemas dicha ruta, dado que la distancia radial promedio es de 15 km, obteniendo valores promedio de campo E de entre 59% y 69%. Cabe mencionar también que solo se realizaron pruebas para esta ruta en un solo modo (20K_B16405).

En la Ruta 4 (entorno residencial abierto) se presentaron buenos resultados, muy similares para cada modo, a excepción de la señal a ruido y calidad de audio del modo 18K_A641606 cuyo rango es más amplio. Esto se debe en gran medida a la distancia radial, en el primer modo 18K_A641606 las pruebas se realizaron en el área de la Ciudad Deportiva, mientras que los modos 18K_B16405 y 18K_B641606, fueron probados en el área de Chapultepec

Los mejores resultados son los más cercanos al transmisor, por lo que se concluye que al aumentar la potencia del transmisor la recepción móvil será aceptable. Cabe mencionar que en el modo 18K_A641606 de esta ruta se tuvieron buenos resultados a pesar de la distancia radial al transmisor que se presentaba, la causa de esto es el poco ruido que se encuentra en el mismo entorno residencial abierto.

De forma resumida cabe destacar que se ha demostrado la posibilidad de utilizar DRM en la banda de radiodifusión de 26 MHz en Ciudad de México, proporcionando una recepción de radio de alta calidad. Para ello, se puede utilizar un equipamiento para la transmisión con un costo reducido y de fácil instalación. La banda de frecuencias que se ha probado ya está asignada al servicio de radiodifusión, y aunque no sea utilizada tradicionalmente para la emisión en onda corta, elimina complicaciones regulatorias para emitir en dicha banda.

Referencias

Bibliografía

- [1] Broadcasters' User Manual. Digital Radio Mondiale, Marzo 2004.
- [2] ETSI. ES 201 980 V2.2.1, DRM ETSI Standard. European Telecommunications Standards Institute. Octubre, 2005.
- [3] PRUEBAS DEL SISTEMA DRM EN CIUDAD DE MÉXICO. BANDA DE RADIODIFUSIÓN EN 26 MHz. Documento entregado a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes
- [4] ITU-R. Recommendation BS. 1615 (06/03), "Planning Parameters for digital sound broadcasting below 30 MHz". 2003
- [5] Recommendation ITU-R BS 1514: System for digital sound broadcasting in The broadcasting bands below 30MHz. (ITU, Geneva, 2000)
- [6] ITU-R. Recommendation P.372-8 (04/03).Radio noise
- [7] The principles of OFDM. RF Signal processing. Louis Litwin and Michael Pugel.
- [8] The Future of Digital Broadcasting in the AM Bands. M. Zumkeller.
- [9] Digital Radio Mondiale (DRM) Digital. Sound Broadcasting in the AM Bands F. Hofmann, Ch. Hansen, and W Schâfer. IEEE. Transactions on Broadcasting, Vol.49, No 3, september 2003.
- [10] DRM: Key Technical Features, Jonathan Stott. IEE Electronics and Communication Engineering Journal, Vol. 14 No.1, Feb. 2002, Pp 4-14
- [11] CT-aacPlus, A state-of-the-art audio coding scheme, Martin Dietz and } Stefan Meltzer. EBU Technical Review No. 291, July 2002.
- [12] The Mobile Radio Propagation Channel. Second Edition. J.D. Parsons. John Wiley & Sons Ltd 2000
- [13] Mobile Communications Engineering. Theory and Applications Second Edition. William C.Y Lee. McGraw-Hill Telecommunications. 1998
- [14] Les Barclay, Propagation of Radio Waves, Segunda edición. Publicado por IEE (Institute Electrical Enginners, London UK), 2003
- [15] Lucien Boithias, Radio Wave Propagation, MacGraw-Hill, 1987
- [16] Stremler, F. "*Introducción a los Sistemas de Comunicación*". Editorial Adisson Wesley Longman México, 1998.

Fuentes Electrónicas

- [17] www.rtve.es/drm/doc/sistema_drm.pdf
- [18] www.drm.org
- [19] www.drmradio.co.uk
- [20] www.worlddab.org/technology/dab
- [21] www.hdradio.com
- [22] www.ickrom.com.mx/info/informacion_tecnica/hd_radio_descubrelo_am_y_fm_di.php
- [23] isdb-t\broadcast technology.htm
- [24] www.internet-sat.com/radio.shtml
- [25] es.hertz.com/serv/us/prod_sirius.html
- [26] www.worldspace.com/afristar/index.htm
- [27] www.radio-electronics.com/info/propagation/index.php
- [28] espanol.geocities.com/elradioaficionado/archivos/propagacion.htm
- [29] The How and Why of COFDM, Jonathan Stott. EBU Technical Review No. 278, Winter 1998. www.ebu.ch/trev_278-stott.pdf
- [30] Radiomondo: Development of New data Services for Long, Medium and Short-wave Broadcasting, www.radiomondo.de/
- [31] ETSI web site. www.etsi.org

Glosario de Abreviaciones

AAC Advanced Audio Coding
AF Audio Frequency
AFS Alternative Frequency Switching
AM Amplitude Modulation
BER Bit Error Rate
CELP Code Excited Linear Prediction
COFDM Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex
CRC Cyclic Redundancy Check
DAB Digital Audio Broadcasting
DRM Digital Radio Mondiale
DVB Digital Video Broadcasting
EEP Equal Error Protection
ETSI European Telecommunications Standards Institute
FAC Fast Access Channel
FM Frequency Modulation
GPS Global Positioning System
HF High Frequency
HVXC Harmonic Vector eXcitation Coding
IBOC In Band On Channel
IEC International Electrotechnical Committee
IP Internet Protocol
ISDN Integrated Services Digital Network
ITU - R International Telecommunications Union - Radiocommunications Sector
LF Low Frequency
LW Long Wave
MLC Multi Level Coding
MF Medium Frequency
MPEG Moving Picture Experts Group
MSC Main Service Channel
MW Medium Wave
OFDM Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PS Parametric Stereo
QAM Quadrature Amplitude Modulation
RF Radio Frequency
rfa reserved for future addition
rfu reserved for future use
SBR Spectral Band Replication
SDC Service Description Channel
SFN Single Frequency Network
SNR Signal to Noise Ratio
SW Short Wave
SM Standard Mapping
UDP User Datagram Protocol
UEP Unequal Error Protection

Apéndice

Programa para analizar la recepción móvil de la señal DRM

El presente programa realiza las graficas de campo eléctrico, relación señal a ruido y calidad de audio con los datos obtenidos en las pruebas de la señal DRM en la ciudad de México. Esto facilitara el análisis de dichas pruebas, ya que también es posible obtener la velocidad del móvil en el momento de la recepción, la distancia radial entre transmisor y receptor, así como una ampliación de la grafica para ciertos datos elegidos por una ventana de selección, lo que permitirá observar el comportamiento aislado de dichos datos. El código fuente del programa principal se presenta a continuación:

```
% SELECTIONPROGRAM
% Archivo M-file para SelectionProgram.fig

function varargout = SelectionProgram(varargin)

% Inicio del código de inicialización
gui_Singleton = 1;

gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
                  'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @SelectionProgram_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn', @SelectionProgram_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn', [] , ...
                  'gui_Callback', []);

if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% Fin del código de inicialización

%*****

% Instrucciones para presentar la ventana inicial del SelectionProgram.
function SelectionProgram_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)

handles.output = hObject;

handles.T_Data =
struct('Nref', {}, 'Efield', {}, 'Lat', {}, 'Lon', {}, 'UtmX', {}, 'UtmY', {}, 'UtmH', {}, 'DRad', {}, 'Speed', {}, 'DeltaDist', {}, 'TotalDist', {
}, 'S_N', {}, 'Aq', {}, 'Cond', {});

handles.O_Data =
struct('Nref', {}, 'Efield', {}, 'Lat', {}, 'Lon', {}, 'UtmX', {}, 'UtmY', {}, 'UtmH', {}, 'DRad', {}, 'Speed', {}, 'DeltaDist', {}, 'TotalDist', {
}, 'S_N', {}, 'Aq', {}, 'Cond', {});
set(hObject, 'Renderer', 'Zbuffer', 'DoubleBuffer', 'on', 'BackingStore', 'on');
axes(handles.ODataAxes);
set(handles.ODataAxes, 'TickLength', [0 0], 'XTickLabel', '');
axes(handles.ODataZoomAxes);
set(handles.ODataZoomAxes, 'TickLength', [0 0], 'XTickLabel', '');
```

```

axes(handles.TDataAxes);
set(handles.TDataAxes,'TickLength',[0 0],'XTickLabel','');

handles.patch_handle = patch();
set(handles.patch_handle,'Tag','patch');
set(handles.patch_handle,'edgecolor',[1 1 1]);

handles.InfoLoaded = 0;

guidata(hObject, handles);

function varargout = SelectionProgram_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
varargout{1} = handles.output;

%*****

% Ejecución de las distintas funciones que emplea el SelectionProgram

function OSignaSel_Callback(hObject, eventdata, handles)

function OSignaSel_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function TNFilter_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function Tslider_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
usewhitebg = 1;
if usewhitebg
    set(hObject,'BackgroundColor',[.9 .9 .9]);
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function TWLength_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

%***** ARCHIVO DE INFORMATION *****

% Función que se ejecuta al oprimir el botón "Abrir", la cual carga los datos del archivo a seleccionarse
function Load_Callback(hObject, eventdata, handles)

% Instrucciones para "Abrir" el archivo
[filename, pathname] = uigetfile('*.txt', 'Select data file');
file =strcat(pathname,filename);
fid = fopen(file,'r');
set(handles.FI_Name,'String',file);
Tacometro = SeleccionTacometroGPS_SelectionChangeFcn(handles); % Se elige la opción de Tacómetro
o GPS

% Se toman los datos del archivo *.txt
for k= 1:1:8;
    if k == 1;
        Nref=SeleccionaNumeroTrama(file);
    elseif k == 2;
        Efield=SeleccionaEfield(pathname,file);
    elseif k == 3;

```

```

    i=numel(Nref);
    [Lat,Lon,UtmH,UtmX,UtmY,DRad,DeltaDist,TotalDist]=SeleccionaGPSpos(file,Tacometro,i);
elseif k == 4;
    Speed=SeleccionaSpeed(file,Tacometro);
elseif k == 5;
    if Tacometro == 1;
        [TotalDist,DeltaDist]=DeltaDistancia(file);
    end
elseif k == 6;
    S_N=SeleccionaS_N(file);
elseif k == 7;
    Aq=Audioq(file);
elseif k == 8;
    Lambda = SeleccionaTriggerupdate(file);
end
end

% Para las pruebas realizadas en México, se empleo una frecuencia de 25.62 MHz, por lo que se obtiene
una
% lambda de 11.7096 y su inverso es 0.0854
i=numel(Nref);
if(i>0)
    NsamplesTot = i-1;
    set(handles.FI_Samples,'String',NsamplesTot);
    TDist = (TotalDist(NsamplesTot) - TotalDist(2))*11.7096;    %TDist es la distancia en km de la ventana
grande.
    set(handles.FI_Distance,'String',TDist);
end;

% Se definen los valores iniciales para los contadores que van a determinar el porcentaje de cada parámetro
% (campo eléctrico, relación señal a ruido y calidad de audio) que se recibió de forma exitosa o errónea
RxT_Eexitosa = 0;
RxT_Eerronea = 0;
RxT_SNaceptable = 0;
RxT_SNerronea = 0;
RxT_AQexitosa = 0;
RxT_AQerronea = 0;

% Se eligen los Datos Equiespaciados cada 0.5 lambda solamente (datos tratados)
j=1;
m=2;    % Se toman los datos a partir de Lambda = 1
for t=1:1:i
    nLambdamedios=(10.9950/2)*m;
    if TotalDist(t) >= nLambdamedios
        T_Nref(j) = Nref(t);
        T_Efield(j)=Efield(t);
        T_Lat(j) = Lat(t);
        T_Lon(j) = Lon(t);
        T_UtmX(j) = UtmX(t);
        T_UtmY(j) = UtmY(t);
        T_UtmH(j) = UtmH(t);
        T_DRad(j) = DRad(t);
        T_Speed(j) = Speed(t);
        T_S_N(j) = S_N(t);
        T_TotalDist(j)=TotalDist(t);

        if(j > 1)
            T_DeltaDist(j) = T_TotalDist(j) - T_TotalDist(j-1);
        else
            T_DeltaDist(j) = T_TotalDist(j);
        end
        T_Aq(j) = Aq(t);

        if T_Efield(j) >= 37;    % Se acumulan los contador es según el umbral de campo
E (37)
            RxT_Eexitosa = RxT_Eexitosa + 1;
        else
            RxT_Eerronea = RxT_Eerronea + 1;
        end
    end
end

```

```

if T_S_N(j) >= 18; % Se acumulan los contadores según el umbral de SNR (18)
    RxT_SNaceptable = RxT_SNaceptable + 1;
else
    RxT_SNerronea = RxT_SNerronea + 1;
end
if T_Aq(j) >= 0.98; % Se acumulan los contadores según el umbral de calidad de audio (0.98)
    RxT_AQexitosa = RxT_AQexitosa + 1;
else
    RxT_AQerronea = RxT_AQerronea + 1;
end
j=j+1;
m=m+1;
end
end

% Se realiza el cálculo de los porcentajes de recepción exitosa o errónea
n=numel(T_Aq);
PMT_ERCorrectamente = RxT_Eexitosa/n*100
PMT_ERErroneamente = RxT_Eerronea/n*100
PMT_SNRCorrectamente = RxT_SNaceptable/n*100
PMT_SNRErroneamente = RxT_SNerronea/n*100
PMT_AQRCorrectamente = RxT_AQexitosa/n*100
PMT_AQRErroneamente = RxT_AQerronea/n*100

handles.O_Data=struct('Nref',Nref,'Efield',Efield,'Lat',Lat,'Lon',Lon,'UtmX',UtmX,'UtmY',UtmY,'UtmH',UtmH,'D
Rad',DRad,'Speed',Speed,'DeltaDist',DeltaDist,'TotalDist',TotalDist,'S_N',S_N,'Aq',Aq);
handles.T_Data=struct('Nref',T_Nref,'Efield',T_Efield,'Lat',T_Lat,'Lon',T_Lon,'UtmX',T_UtmX,'UtmY',T_UtmY,'
UtmH',T_UtmH,'DRad',T_DRad,'Speed',T_Speed,'DeltaDist',T_DeltaDist,'TotalDist',T_TotalDist,'S_N',T_S_N,
'Aq',T_Aq);
handles.InfoLoaded =1;

%--- Tamaño de la ventana inicial donde se graficara a los datos del archivo ---
M=length(T_Efield);
TWLength_l= T_TotalDist(floor(M/4));
TWLength_m=TWLength_l*11.7096;
hWin = findobj('Tag','TWLength');
set(hWin,'String',TWLength_m);
hWinl=findobj('Tag','TWLengthl');
set(hWinl,'String',TWLength_l);

%--- Función que grafica tanto a los datos originales como a los tratados (cada N*lambda) ---
DrawOData(handles,hObject);
DrawTData(handles,hObject);

%--- Instrucciones para la ventana de selección y la barra de desplazamiento de la misma --
M=length(T_Efield);
Mdist=T_TotalDist(M);
hSlider = findobj('Tag','Tslider');
wpos_l=get(hSlider,'Value')*Mdist;
wlen_l = TWLength_l;
x = get(gca,'xlim');
y = get(gca,'ylim');
patch_handle=patch([x(1)+wpos_l x(1)+wpos_l+wlen_l x(1)+wpos_l+wlen_l x(1)+wpos_l],[y(1) y(1) y(2)
y(2)],'.75 .75 .75');
set(patch_handle,'edgecolor',[.9 .9 .9]);
alpha(patch_handle,.5);
handles.patch_handle = patch_handle;
guidata(hObject, handles);

% ***** O_DATA (PRESENTACIÓN DE LOS DATOS ORIGINALES) *****

function OSignalSel_Callback(hObject, eventdata, handles)
if handles.InfoLoaded ==1
    DrawOData(handles,hObject);
End

%----- Definición de los ejes para las graficas de los datos originales -----
function DrawOData(handles,hObject)

```

```

axes(handles.ODataAxes);
hSel=findobj('Tag','OSignalSel');
Sel = get(hSel,'String');
val = get(hSel,'Value');

%----- Dependiendo de la selección se graficara el campo E, SNR, el AudioQ, etc. de los datos originales
switch Sel{val};
    case 'Efield'
        plot(handles.O_Data.TotalDist,handles.O_Data.Efield);
        axis([min(handles.O_Data.TotalDist) max(handles.O_Data.TotalDist) min(handles.O_Data.Efield)-
1max(handles.O_Data.Efield)+1]);
min(handles.O_Data.Efield)-1 max(handles.O_Data.Efield)+1]);
min(handles.O_Data.Efield)-1 max(handles.O_Data.Efield)+1]);
    case 'SNR'
        plot(handles.O_Data.TotalDist,handles.O_Data.S_N,'r');
        axis([min(handles.O_Data.TotalDist) max(handles.O_Data.TotalDist) min(handles.O_Data.S_N)-1
max(handles.O_Data.S_N)+1]);
    case 'Efield+SNR'
        plot(handles.O_Data.TotalDist,handles.O_Data.Efield);
        hold on;
        plot(handles.O_Data.TotalDist,handles.O_Data.S_N,'r');
        hold off;
        DoubleAxisc_ab(handles.O_Data.Efield,handles.O_Data.S_N,handles.O_Data.TotalDist);
    case 'Height'
        plot(handles.O_Data.TotalDist,handles.O_Data.UtmH,'m');
        axis([min(handles.O_Data.TotalDist) max(handles.O_Data.TotalDist) min(handles.O_Data.UtmH)-1
max(handles.O_Data.UtmH)+1]);
    case 'Speed'
        plot(handles.O_Data.TotalDist,handles.O_Data.Speed,'m');
        axis([min(handles.O_Data.TotalDist) max(handles.O_Data.TotalDist) min(handles.O_Data.Speed)-1
max(handles.O_Data.Speed)+1]);
    case 'Dradial'
        plot(handles.O_Data.TotalDist,handles.O_Data.DRad,'m');
        axis([min(handles.O_Data.TotalDist) max(handles.O_Data.TotalDist) min(handles.O_Data.DRad)-1
max(handles.O_Data.DRad)+1]);
end

for i = 1:length(handles.O_Data.Efield)
    if handles.O_Data.Efield(i) == 0
        OEfield(i)= OEfield(i-1);
    else
        OEfield(i)= handles.O_Data.Efield(i);
    end
end

Odistribu = Distribution(OEfield,0);
cad = strcat (Odistribu.Name,' P:',Odistribu.Param,' M:', num2str(Odistribu.Mean),' V:
',num2str(Odistribu.Variance));
hOsta = findobj('Tag','Osta');
set(hOsta,'String',cad);
clear OEfield;
guidata(hObject, handles);

```

```

function DoubleAxisc_ab(a,b,c)
    min_a = min(a);
    min_b = min(b);
    max_a = max(a);
    max_b = max(b);
    if(min_a < min_b && max_a > max_b)
        axis([min(c) max(c) min(a)-1 max(a)+1]);
    elseif (min_a > min_b && max_a < max_b)
        axis([min(c) max(c) min(b)-1 max(b)+1]);
    elseif(min_a < min_b && max_a < max_b)
        axis([min(c) max(c) min(a)-1 max(b)+1]);
    elseif(min_a > min_b && max_a > max_b)
        axis([min(c) max(c) min(b)-1 max(a)+1]);
    end

```

%---Se definen las variables para las distribuciones estadísticas para los datos originales -----

```

function Oest_Callback(hObject, eventdata, handles)

hFile = findobj('Tag','FI_Name');
file = get(hFile,'String');
hNPs= findobj('Tag','FI_Samples');
NSamples = get(hNPs,'String');
hDist = findobj('Tag','FI_Distance');
Dist = get(hDist,'String');
Data = struct ('File',file,'DataType','O','Distance',Dist,'NSamples',NSamples,'Filter',0,'Xini',1);
StatsInfo( Data,handles.O_Data.Efield);

%----Definición de los ejes para las graficas -----
function DoubleAxiscd_ab(a,b,c,d)
min_a =min(a);
max_a =max(a);
min_b =min(b);
max_b = max(b);
min_c = min(c);
max_c = max(c);
min_d = min(d);
max_d = max(d);

if(min_c < min_d && max_c > max_d)
    t1=c;
    t2=c;
elseif (min_d < min_c && max_d < max_c)
    t1=d;
    t2=c;
elseif (min_c < min_d && max_c < max_d)
    t1=c;
    t2=d;
elseif (min_c >min_d && max_c <max_d)
    t1=d;
    t2=d;
end

if(min_a <= min_b && max_a >= max_b)
    t3=a;
    t4 =a;
elseif (min_a > min_b && max_a < max_b)
    t3=b;
    t4=b;
elseif(min_a <= min_b && max_a <= max_b)
    t3=a;
    t4=b;
elseif(min_a >min_b && max_a > max_b)
    t3=b;
    t4=a;
end

% --- Selección de que graficas se desean presentar -----
function OE_EI_Callback(hObject, eventdata, handles)
hOWin = findobj('Tag','ODataPanel');
hZoom= findobj('Tag','OZDataPanel');
ZoomWin = get(hZoom,'Visible');
switch ZoomWin;
    case 'on'
        set(hZoom,'Visible','off');
        set(hOWin,'Visible','on');
    case 'off'
        set(hZoom,'Visible','on');
        set(hOWin,'Visible','off');
        DrawZoom(hObject,handles);
end
guidata(hObject, handles);

%--- Presentación de los datos numéricos de las graficas -----
function DrawZoom(hObject,handles)

```



```

hNfilter =findobj('Tag','TNFilter');
NFilter = str2num(get(hNfilter,'String'));

M = length(handles.T_Data.Efield);
TotDis = handles.T_Data.TotalDist(M);
hSI = findobj('Tag','Tslider');
wpos_l = get(hSI,'Value')*TotDis;
hWI=findobj('Tag','TWLength');
wlen_l =str2num(get(hWI,'String'))*0.0854;

i = 1;
while (handles.T_Data.TotalDist(i) <= wpos_l)
    i = i+1;
end
Npos = i;
if(Npos <=0)
    Npos = 1;
end
Tini =handles.T_Data.TotalDist(Npos);

if handles.T_Data.TotalDist(M)>(wpos_l+wlen_l)
    while(handles.T_Data.TotalDist(i) <= (wpos_l+wlen_l))
        i = i+1;
    end
    Nlen = i;
    Tend = handles.T_Data.TotalDist(Nlen);
else
    Nlen = M;
    Tend = handles.T_Data.TotalDist(Nlen);
end

axes(handles.ODataZoomAxes);

plot(handles.T_Data.TotalDist(Npos:NFilter:Nlen),handles.T_Data.Efield(Npos:NFilter:Nlen),'m','LineWidth',2);
hold on;
nT_ini = handles.T_Data.Nref(Npos);
nT_end = handles.T_Data.Nref(Nlen);
i=1;
while(handles.O_Data.Nref(i)<= nT_ini)
    i=i+1;
end
ini = i-1;

while(handles.O_Data.Nref(i)<=nT_end)
    i=i+1;
end
en = i-1;
Oini =handles.O_Data.TotalDist(ini);
Oend = handles.O_Data.TotalDist(en);

plot(handles.O_Data.TotalDist(ini:en),handles.O_Data.Efield(ini:en),'--b','LineWidth',2);
hold off;
grid on;
DoubleAxiscd_ab(handles.T_Data.Efield(Npos:Nlen),handles.O_Data.Efield(nT_ini:nT_end),handles.O_Data.
TotalDist(Npos+NFilter:Nlen),handles.O_Data.TotalDist(nT_ini:nT_end));

guidata(hObject,handles)

%----Función para guardar las graficas-----
function saveboth_Callback(hObject, eventdata, handles)
hNfilter =findobj('Tag','TNFilter');
NFilter = str2num(get(hNfilter,'String'));

M = length(handles.T_Data.Efield);
TotDis = handles.T_Data.TotalDist(M);
hSI = findobj('Tag','Tslider');
wpos_l = get(hSI,'Value')*TotDis;
hWI=findobj('Tag','TWLength');
wlen_l =str2num(get(hWI,'String'))*0.0854;

```

```

i = 1;
while (handles.T_Data.TotalDist(i) <= wpos_l)
    i = i+1;
end
Npos = i;
if(Npos <=0)
    Npos = 1;
end
Tini =handles.T_Data.TotalDist(Npos);

if handles.T_Data.TotalDist(M)>(wpos_l+wlen_l)
    while(handles.T_Data.TotalDist(i) <= (wpos_l+wlen_l))
        i = i+1;
    end
    Nlen = i;
    Tend = handles.T_Data.TotalDist(Nlen);
else
    Nlen = M;
    Tend = handles.T_Data.TotalDist(Nlen);
end

h= figure(1);
plot(handles.T_Data.TotalDist(Npos:NFilter:Nlen),handles.T_Data.Efield(Npos:NFilter:Nlen),'m');
hold on;
nT_ini = handles.T_Data.Nref(Npos);
nT_end = handles.T_Data.Nref(Nlen);
i=1;
while(handles.O_Data.Nref(i)<= nT_ini)
    i=i+1;
end
ini = i-1;

while(handles.O_Data.Nref(i)<=nT_end)
    i=i+1;
end
en = i-1;
Oini =handles.O_Data.TotalDist(ini);
Oend = handles.O_Data.TotalDist(en);

plot(handles.O_Data.TotalDist(ini:en),handles.O_Data.Efield(ini:en),'--b');
hold off;
grid on;
DoubleAxiscd_ab(handles.T_Data.Efield(Npos:Nlen),handles.O_Data.Efield(nT_ini:nT_end),handles.O_Data.
TotalDist(Npos+NFilter:Nlen),handles.O_Data.TotalDist(nT_ini:nT_end));

ndistance = NFilter/2;
title(['Distance between samples ', num2str(ndistance),'lambda']);
xlabel('d(lambda)');
ylabel('Field Strength (dBμV/m)');

saveas(h,'figuraN.fig','fig');      % En formato jpeg
saveas(h,'figuraN.tif','tif');      % En formato tiff

%***** TDATA (PRESENTACIÓN DE LOS DATOS TRATADOS)*****

function TSignalSel_Callback(hObject, eventdata, handles)
if handles.InfoLoaded ==1
    DrawTData(handles,hObject);
end

M = length(handles.T_Data.Efield);
TotLen = handles.T_Data.TotalDist(M);
hS= findobj('Tag','Tslider');
wpos_l=get(hS,'Value')*TotLen;
hW=findobj('Tag','TWLength');
wlen_l = str2num(get(hW,'String'))*0.0854;
x = get(gca,'xlim');

```

```

y = get(gca,'ylim');
patch_handle=patch([x(1)+wpos_l x(1)+wpos_l+wlen_l x(1)+wpos_l+wlen_l x(1)+wpos_l],[y(1) y(1) y(2)
y(2)],.75 .75 .75]);

set(patch_handle,'edgecolor',[.9 .9 .9]);
alpha(patch_handle,.5);
handles.patch_handle = patch_handle;
guidata(hObject,handles)

%-----Definición de la ventana de selección para los datos tratados-----
function TWLength_Callback(hObject, eventdata, handles)

wlen_l = str2num(get(hObject,'String'))*0.0854;
M = length(handles.T_Data.Efield);
TotLen = handles.T_Data.TotalDist(M);
if(wlen_l > TotLen)
    wlen_l = TotLen;
    set(hObject,'String',TotLen*11.7096);
elseif (wlen_l < 0.0090)
    wlen_l = 0.0090;
    set(hObject,'String',wlen_l*11.7096);
end

hWI= findobj('Tag','TWLength');
set(hWI,'String',wlen_l);

%--- Posicionamiento de la barra de desplazamiento ( slider, posicionarlo en el limite si lo sobrepasa ) -----
hSI = findobj('Tag','Tslider');
wpos_l = get(hSI,'Value')*TotLen;

if (wpos_l + wlen_l) > TotLen
    wpos_l = (TotLen-wlen_l);
    set(handles.Tslider,'Value',wpos_l/TotLen);
end;

%---Cambiar el tamaño del (patch) ventana de selección -----
axes(handles.TDataAxes);
x = get(gca,'xlim')
y = get(gca,'ylim')
set(handles.patch_handle,'XData',[x(1)+wpos_l x(1)+wpos_l+wlen_l x(1)+wpos_l+wlen_l x(1)+wpos_l]);

hZoom= findobj('Tag','OZDataPanel');
ZoomWin = get(hZoom,'Visible');
hSelData = findobj('Tag','SDataPanel');
SelWin= get(hSelData,'Visible');
switch ZoomWin;
    case 'on'
        DrawZoom(hObject,handles);
end
switch SelWin;
    case 'on'
        DrawSData(hObject,handles);
end
guidata(hObject,handles)

% -----Definición de la barra de desplazamiento-----
function Tslider_Callback(hObject, eventdata, handles)

M = length(handles.T_Data.Efield);
TotLen = handles.T_Data.TotalDist(M);
wpos_l = get(hObject,'Value')*TotLen;

hWI = findobj('Tag','TWLength');
wlen_l = str2num(get(hWI,'String'))*0.0854;

if (wpos_l + wlen_l) > TotLen
    wpos_l=(TotLen-wlen_l);
    set(handles.Tslider,'Value',wpos_l/TotLen);
end;

```

```

hZoom= findobj('Tag','OZDataPanel');
ZoomWin = get(hZoom,'Visible');
hSelData = findobj('Tag','SDataPanel');
SelWin= get(hSelData,'Visible');
switch ZoomWin;
    case 'on'
        DrawZoom(hObject,handles);
    end
switch SelWin;
    case 'on'
        DrawSData(hObject,handles);
    end
axes(handles.TDataAxes);
x = get(gca,'xlim');
y = get(gca,'ylim');
set(handles.patch_handle,'XData',[x(1)+wpos_l x(1)+wpos_l+wlen_l x(1)+wpos_l+wlen_l x(1)+wpos_l]);

guidata(hObject,handles);

%-----Definición numérica de los datos tratados-----
function TNFilter_Callback(hObject, eventdata, handles)

NSampler =str2num(get(hObject,'String'));          % número de muestras

if(NSampler < 1)
    NSampler = 1;
elseif (NSampler >20)
    NSampler = 20;
end
set(hObject,'String',floor(NSampler));

DrawTData(handles,hObject);
M = length(handles.T_Data.Efield);
TotLen= length(handles.T_Data.TotalDist);
hS= findobj('Tag','Tslider');
wpos_l=get(hS,'Value')*0.0854*TotLen;
hW=findobj('Tag','TWLength');
wlen_l = str2num(get(hW,'String'))*0.0854;
x = get(gca,'xlim');
y = get(gca,'ylim');
patch_handle=patch([x(1)+wpos_l x(1)+wpos_l+wlen_l x(1)+wpos_l+wlen_l x(1)+wpos_l],[y(1) y(1) y(2)
y(2)], [.75 .75 .75]);
set(patch_handle,'edgecolor',[.9 .9 .9]);
alpha(patch_handle,.5);
handles.patch_handle = patch_handle;

hZoom= findobj('Tag','OZDataPanel');
ZoomWin = get(hZoom,'Visible');
hSelData = findobj('Tag','SDataPanel');
SelWin= get(hSelData,'Visible');
switch ZoomWin;
    case 'on'
        DrawZoom(hObject,handles);
    end
switch SelWin;
    case 'on'
        DrawSData(hObject,handles);
    end
guidata(hObject,handles);

%-----Definición de las Graficas de los datos tratados-----
function TSelorTot_Callback(hObject, eventdata, handles)

hSel= findobj('Tag','SDataPanel');
SelWin = get(hSel,'Visible');
hTot = findobj('Tag','ODataPanel');
hZoom = findobj('Tag','OZDataPanel');
hBut = findobj('Tag','ButtonPanel');

```

```

switch SelWin;
case 'on'
    set(hSel,'Visible','off');
    set(hZoom,'Visible','off');
    set(hTot,'Visible','on');
    set(hBut,'Visible','on');
case 'off'
    set(hTot,'Visible','off');
    set(hZoom,'Visible','off');
    set(hBut,'Visible','off');
    set(hSel,'Visible','on');
    DrawSData(hObject,handles);
end
guidata(hObject,handles);

function Test_Callback(hObject, eventdata, handles)
hFile = findobj('Tag','FI_Name');
file = get(hFile,'String');
hNfil = findobj('Tag','TNFilter');
Nfil = str2num(get(hNfil,'String'));
M=length(handles.T_Data.Efield);
Dist = M*Nfil*5.8548; %oc lambda/2= 5.8548 lamda/10=1.17096; %oc *22.075; que es lambda/10
Data = struct ('File',file,'DataType','T','Distance',Dist,'NSamples',M,'Filter',Nfil,'Xini',1);
StatsInfo(Data,handles.T_Data.Efield(Nfil:Nfil:M));

function DrawTData(handles,hObject)

axes(handles.TDataAxes);
hSel=findobj('Tag','TSignalSel');
Sel = get(hSel,'String');
val = get(hSel,'Value');
hNfil = findobj('Tag','TNFilter');
Nfil = str2num(get(hNfil,'String'));

switch Sel{val};
case 'Efield_lambda'
    M=length(handles.T_Data.Efield);
    Mn=floor(M/Nfil);
    plot(handles.T_Data.TotalDist(Nfil:Nfil:M),handles.T_Data.Efield(Nfil:Nfil:M));
    zoom on;
    axis([min(handles.T_Data.TotalDist) max(handles.T_Data.TotalDist) min(handles.T_Data.Efield)-1
max(handles.T_Data.Efield)+1]);
case 'Efield_lambda+SNR'
    M=length(handles.T_Data.Efield);
    Mn=floor(M/Nfil);
    plot(handles.T_Data.TotalDist(Nfil:Nfil:M),handles.T_Data.Efield(Nfil:Nfil:M));
    hold on;
    plot(handles.T_Data.TotalDist(Nfil:Nfil:M),handles.T_Data.S_N(Nfil:Nfil:M),'r');
    hold off;
    DoubleAxisc_ab(handles.T_Data.Efield,handles.T_Data.S_N,handles.T_Data.TotalDist);
    zoom on;
case 'Speed'
    M=length(handles.T_Data.Speed);
    Mn=floor(M/Nfil);
    plot(handles.T_Data.TotalDist(Nfil:Nfil:M),handles.T_Data.Speed(Nfil:Nfil:M),'m');
    axis([min(handles.T_Data.TotalDist(Nfil:Nfil:M)) max(handles.T_Data.TotalDist(Nfil:Nfil:M))
min(handles.T_Data.Speed)-1 max(handles.T_Data.Speed)+1]);
    zoom on;
case 'Dradial'
    M=length(handles.T_Data.DRad);
    Mn = floor(M/Nfil);
    plot(handles.T_Data.TotalDist(Nfil:Nfil:M),handles.T_Data.DRad(Nfil:Nfil:M),'m');
    axis([min(handles.T_Data.TotalDist(Nfil:Nfil:M)) max(handles.T_Data.TotalDist(Nfil:Nfil:M))
min(handles.T_Data.DRad)-1 max(handles.T_Data.DRad)+1]);
    zoom on;
case 'AQ'
    M= length(handles.T_Data.Aq);
    Mn = floor(M/Nfil);
    plot(handles.T_Data.TotalDist(Nfil:Nfil:M),handles.T_Data.Aq(Nfil:Nfil:M),'m');

```

```

axis([min(handles.T_Data.TotalDist(Nfil:Nfil:M)) max(handles.T_Data.TotalDist(Nfil:Nfil:M))
min(handles.T_Data.Aq)-1 max(handles.T_Data.Aq)+1]);
zoom on;
end
hNP = findobj('Tag','TNpoints');
set(hNP,'String',Mn);

for i=1:length(handles.T_Data.Efield)
    if handles.T_Data.Efield(i)== 0
        TEfield(i)=TEfield(i-1);
    else
        TEfield(i)=handles.T_Data.Efield(i);
    end
end

Tdistribu = Distribution(TEfield(Nfil:Nfil:M),0);
cad = strcat (Tdistribu.Name,' P:',Tdistribu.Param,' M:', num2str(Tdistribu.Mean),' V:
',num2str(Tdistribu.Variance));
hTsta = findobj ('Tag','Tsta');
set(hTsta,'String',cad);
clear TEfield;
guidata(hObject, handles);

% --- Función para guardar las graficas de las distribuciones estadísticas-----
function Save1_Callback(hObject, eventdata, handles)

hName = findobj('Tag','FI_Name');
Name = get(hName,'String');
hFilter = findobj('Tag','TNFilter');
Filter = get(hFilter,'String');
Nfil = str2num(Filter);
hPoints = findobj('Tag','TNpoints');
Points = get(hPoints,'String');
NPoints = str2num(Points);
hSta = findobj('Tag','Tsta');
Sta = get(hSta,'String');
M=length(handles.T_Data.Efield);
Mn = floor(M/Nfil);

[filename,pathname] = uiputfile('*.saved_info','Save files information');
Sfile =strcat(pathname,filename);
Sfid = fopen(Sfile,'a');
fprintf(Sfid,'%s %s %s %s %s \n',Name,Filter,Points,Sta);          %oc lamb/10
fclose(Sfid);

% ***** SDATA (DATOS SELECCIONADOS POR LA VENTANA DE SELECCIÓN (PATCH) *****

function DrawSData(hObject,handles)

%NFilter
hNfilter =findobj('Tag','TNFilter');
NFilter = str2num(get(hNfilter,'String'));
M = length(handles.T_Data.Efield);
%DistTotal
TotLen = handles.T_Data.TotalDist(M);
hSl = findobj('Tag','Tslider');
wpos_l = get(hSl,'Value')*TotLen;
hWl=findobj('Tag','TWLength');
wlen_l =str2num(get(hWl,'String'))*0.0854;

i=1;
while (handles.T_Data.TotalDist(i) <= wpos_l)
    i = i+1;
end
Npos = i;

if(Npos <= 0)
    Npos =1;
end
end

```

```

Tini =handles.T_Data.TotalDist(Npos);
UTMxini = handles.T_Data.UtmX(Npos);
UTMyini = handles.T_Data.UtmY(Npos);
dRadini = handles.T_Data.DRad(Npos);
while(handles.T_Data.TotalDist(i) <= (wpos_1+wlen_1))
    i = i+1;
end
Nlen = i;
handles.SNlen = Nlen;
guidata(hObject,handles);

Tend = handles.T_Data.TotalDist(Nlen);
UTMxend= handles.T_Data.UtmX(Nlen);
UTMyend = handles.T_Data.UtmY(Nlen);
dRadend = handles.T_Data.DRad(Nlen);
m= length(handles.T_Data.TotalDist(Npos+NFilter-1:NFilter:Nlen));
hSNp = findobj('Tag','SNpoints');
set(hSNp,'String',m);

% Efield (+ Noise) axes
axes(handles.SENAxes);
plot(handles.T_Data.TotalDist(Npos+NFilter-1:NFilter:Nlen),handles.T_Data.Efield(Npos+NFilter-1:NFilter:Nlen),'b');
% nuevo para aparezca solo E
axis([min(handles.T_Data.TotalDist(Npos+NFilter-1:NFilter:Nlen))
max(handles.T_Data.TotalDist(Npos+NFilter-1:NFilter:Nlen)) min(handles.T_Data.Efield)-1
max(handles.T_Data.Efield)+1]);
% en el zoom
axes(handles.zoom_axes);
plot(handles.T_Data.TotalDist(Npos+NFilter-1:NFilter:Nlen),handles.T_Data.Efield(Npos+NFilter-1:NFilter:Nlen),'b');
axis([min(handles.T_Data.TotalDist(Npos+NFilter-1:NFilter:Nlen))
max(handles.T_Data.TotalDist(Npos+NFilter-1:NFilter:Nlen)) min(handles.T_Data.Efield(Npos+NFilter-1:NFilter:Nlen))-1
max(handles.T_Data.Efield(Npos+NFilter-1:NFilter:Nlen))+1]);
grid on;

%Speed
axes(handles.SSpeedAxes);
plot(handles.T_Data.TotalDist(Npos+NFilter-1:NFilter:Nlen),handles.T_Data.Speed(Npos+NFilter-1:NFilter:Nlen),'m');
axis([min(handles.T_Data.TotalDist(Npos+NFilter-1:NFilter:Nlen))
max(handles.T_Data.TotalDist(Npos+NFilter-1:NFilter:Nlen)) min(handles.T_Data.Speed)-1
max(handles.T_Data.Speed)+1]);

%DRadial
axes(handles.SRDisAxes);
plot(handles.T_Data.TotalDist(Npos+NFilter-1:NFilter:Nlen),handles.T_Data.DRad(Npos+NFilter-1:NFilter:Nlen),'m');
axis([min(handles.T_Data.TotalDist(Npos+NFilter-1:NFilter:Nlen))
max(handles.T_Data.TotalDist(Npos+NFilter-1:NFilter:Nlen)) min(handles.T_Data.DRad)-1
max(handles.T_Data.DRad)+1]);

%Distribution
for i = 1:length(handles.T_Data.Efield)
    if handles.T_Data.Efield(i)==0
        SEfield(i) = SEfield(i-1);
    else
        SEfield(i) = handles.T_Data.Efield(i);
    end
end
end
Sdistribu = Distribution(SEfield(Npos+NFilter-1:NFilter:Nlen),0);
cad = strcat (Sdistribu.Name,' P:',Sdistribu.Param,' M:', num2str(Sdistribu.Mean),' V:
',num2str(Sdistribu.Variance));
hSsta = findobj ('Tag','Ssta');
set(hSsta,'String',cad);
axes(handles.SDistribAxes);
DrawStats(SEfield(Npos+NFilter-1:NFilter:Nlen),Sdistribu.Name);
clear SEfield;

```

```

%CoordenadasUTM
hUTMxini = findobj('Tag','UTMxini');
set(hUTMxini,'String',UTMxini);
hUTMyini = findobj('Tag','UTMyini');
set(hUTMyini,'String',UTMyini);
hUTMxend = findobj('Tag','UTMxend');
set(hUTMxend,'String',UTMxend);
hUTMyend = findobj('Tag','UTMyend');
set(hUTMyend,'String',UTMyend);
%DistRadial
hdRadini = findobj('Tag','dRadini');
set(hdRadini,'String',dRadini);
hdRadend = findobj('Tag','dRadend');
set(hdRadend,'String',dRadend);
hdDeltaRad = findobj('Tag','DeltaRad');
set(hdDeltaRad,'String',abs(dRadend-dRadini));

axes(handles.TDataAxes);
guidata(hObject,handles);

%-----Proporciona información estadística de los datos seleccionados-----
function Sest_Callback(hObject, eventdata, handles)

hNfilter =findobj('Tag','TNFilter');
NFilter = str2num(get(hNfilter,'String'));

M = length(handles.T_Data.Efield);
TotLen = handles.T_Data.TotalDist(M);
hSl = findobj('Tag','Tslider');
wpos_l= get(hSl,'Value')*TotLen;
hWl=findobj('Tag','TWLength');
wlen_m =str2num(get(hWl,'String'));
wlen_l = wlen_m * 0.0854;
i=1;
while (handles.T_Data.TotalDist(i) <= wpos_l)
    i = i+1;
end
Npos = i;
if(Npos <= 0)
    Npos =1;
end

while(handles.T_Data.TotalDist(i) <= (wpos_l+wlen_l))
    i = i+1;
end
Nlen = i;

m= length(handles.T_Data.TotalDist(Npos+NFilter-1:NFilter:Nlen));
hFile = findobj('Tag','FL_Name');
file = get(hFile,'String');
hSampl =findobj('Tag','SNpoints');
M = get(hSampl,'String');
Data =
('File',file,'DataType','S','Distance',wlen_m,'NSamples',M,'Filter',NFilter,'Xini',handles.T_Data.Nref(Npos));
struct

StatsInfo(Data,handles.T_Data.Efield(Npos+NFilter-1:NFilter:Nlen));

% --- Función que realiza el zoom de los datos seleccionados-----
function Szoom_Callback(hObject, eventdata, handles)

hGData = findobj('Tag','GeoPanel');
set(hGData,'Visible','off');
hZBut =findobj('Tag','SelZoom');
set(hZBut,'Visible','off');
hdat =findobj('Tag','sdat');
set(hdat,'Visible','off');
hlab =findobj('Tag','labelp');
set(hlab,'Visible','off');

```



```

hZoom = findobj('Tag','ZoomPanel');
set(hZoom,'Visible','on');

guidata(hObject, handles);

function Zexit_Callback(hObject, eventdata, handles)

hZoom = findobj('Tag','ZoomPanel');
set(hZoom,'Visible','off');
hGData = findobj('Tag','GeoPanel');
set(hGData,'Visible','on');
hZBut =findobj('Tag','SelZoom');
set(hZBut,'Visible','on');
hdat =findobj('Tag','sdat');
set(hdat,'Visible','on');
hlab =findobj('Tag','labelp');
set(hlab,'Visible','on');
guidata(hObject, handles);

% --Función que selecciona la presentación de los datos (Tacómetro o GPS) -----
function Tacometro = SeleccionTacometroGPS_SelectionChangeFcn(handles)

if (get(handles.Tacometro,'Value') == 1)
    set(handles.text42, 'String', 'Tacometro');
    Tacometro=1;
else
    set(handles.text42, 'String', 'GPS');
    Tacometro=0;
end
return

function Tacometro = Tacometro_Callback(hObject, eventdata, handles)
function Tacometro = GPS_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

Los siguientes programas proporcionan los datos correspondientes al programa principal para que este pueda presentar las graficas de acuerdo a como son requeridos en el SelectionProgram.

Este programa selecciona el directorio de donde se obtendrá el archivo con los datos de las pruebas de la señal DRM

```

function SeleccionarDirectorio;
path = uigetdir ('','Seleccionar Directorio');
SeleccionarArchivo(path);
function SeleccionarArchivo(path);
% Selección del archivo de 400ms 'DRM.EZ.400ms.txt'
a=dir(path);
i=3;
while(i<=length(a))
    if a(i).isdir
        nombredirectorio=a(i).name;
        nuevodirectorio= strcat(path,'\',a(i).name);
        SeleccionarArchivo(nuevodirectorio);
    else
        if strcmpi(a(i).name,'DRM.EZ.400ms.txt');
            Archivo=a(i).name;
            file=strcat(path,'\',Archivo);
            Status=1;
            for Columna = 5:1:5;
                if Columna == 1;
                    SeleccionaNumeroTrama(file);
                elseif Columna == 2;
                    SeleccionaEfield(file);
                elseif Columna == 3;
                    SeleccionaGPSpos(file);
                end
            end
        end
        i=i+1;
    end
end

```

```

elseif Columna == 4;
    SeleccionaSpeed(file);
elseif Columna == 5;
    TotalDist=DeltaDistancia(file);
elseif Columna == 6;
    SeleccionaS_N(file);
elseif Columna == 7;
    Audioq(file);
elseif Columna == 8;
    SeleccionaTriggerupdate(file);
end
end
end
end
end
i=i+1;
end

```

El siguiente programa selecciona del archivo elegido, el número de referencia de la trama de audio (número de muestra)

```

function Nref=SeleccionaNumeroTrama(file,Status);
fid=fopen(file,'r'); % Se abre el archivo
s=1;
while(1) % Se ejecuta un while para leer todas las líneas
    tline=fgetl(fid);
    if ~isstr(tline),break,end;
    i=1;
    inicioNumref=1;
    while tline(i)~=' ', % Se selecciona la columna del Número de Trama y
se lee
        Numref(inicioNumref)=tline(i);
        inicioNumref=inicioNumref + 1;
        i=i+1;
    end
    Numref(inicioNumref)=' ';
    Nref(s)=sscanf(Numref,'%f'); % Se convierte a número
    s=s+1;
end
fclose(fid);
return;

```

El siguiente programa selecciona del archivo elegido, el valor de campo eléctrico de cada trama de audio.

```

function Efield = SeleccionaCampo(pathname,file,Status);
fid=fopen(file,'r'); % Se abre el archivo DRM.EZ.400ms.txt
s=1;
RxExitosa = 0;
RxErronea = 0;
while(1); % Se ejecuta un while para leer todas las líneas del
archivo
    tline=fgetl(fid);
    if ~isstr(tline),break,end;
    i=1;
    inicioEfield1=1;
    for j=1:3 % Se busca la cuarta columna (campo eléctrico)
        while tline(i)~=' ',i=i+1;end;
        i=i+1;
    end
    while tline(i)~=' ', % Se lee el nivel de señal (en dBuV)
        Efield1(inicioEfield1)=tline(i);
        inicioEfield1=inicioEfield1+1;
        i=i+1;
    end
    Efield1(inicioEfield1)=' ';
    EFIELD(s)=sscanf(Efield1,'%f,%i'); % Se convierte a número
s=s+1;

```

```

end

n=numel(EFIELD);
K=sumafactorK(pathname); % se agrega el factor K, dependiendo del archivo
elegido
for factorK=1:1:n
    Efield(factorK)=EFIELD(factorK)+K;
end

for M=1:1:n; % Determina el porcentaje de muestras recibidas de forma exitosa o
errónea
    if Efield(M) >= 37;
        RxExitosa = RxExitosa + 1;
    else
        RxErronea = RxErronea + 1;
    end
end
disp(RxExitosa);
disp(RxErronea);
PMERCorrectamente = RxExitosa/n*100
PMERErroneamente = RxErronea/n*100
return;

```

El siguiente programa agrega el valor del factor K dependiendo del archivo elegido.

```

function [K]=sumafactorK (pathname)
%Corregimos los valores. Ahora están dBuV
% Factor K => (dBuV/m)
% ESPI=ESPI+21;

b = strfind(pathname, 'Ruta1'); % case Ruta1,06-07-2005; K=27;
if ~isempty(b)
    c = strfind(pathname, '06-07-2005');
    if ~isempty(c)
        K=27;
        return;
    end
end
b = strfind(pathname, 'Ruta1'); % case Ruta1,29-07-2005; K=21;
if ~isempty(b)
    c = strfind(pathname, '29-07-2005');
    if ~isempty(c)
        K=21;
        return;
    end
end
b = strfind(pathname, 'Ruta2'); % case Ruta2,07-07-2005 K=27;
if ~isempty(b)
    c = strfind(pathname, '07-07-2005');
    if ~isempty(c)
        K=27;
        return;
    end
end
b = strfind(pathname, 'Ruta2'); % case Ruta2,22-07-2005 K=21;
if ~isempty(b)
    c = strfind(pathname, '22-07-2005');
    if ~isempty(c)
        K=21;
        return;
    end
end
b = strfind(pathname, 'Ruta2'); % case Ruta2,25-07-2005 K=21;
if ~isempty(b)
    c = strfind(pathname, '25-07-2005');
    if ~isempty(c)
        K=21;
    end
end

```

```

        return;
    end
end
b = strfind(pathname, 'Ruta2');           % case Ruta2,28-07-2005 K=21;
if ~isempty(b)
    c = strfind(pathname, '28-07-2005');
    if ~isempty(c)
        K=21;
        return;
    end
end
b = strfind(pathname, 'Ruta3');           % case Ruta3,08-07-2005 K=27;
if ~isempty(b)
    c = strfind(pathname, '08-07-2005');
    if ~isempty(c)
        K=27;
        return;
    end
end
b = strfind(pathname, 'Ruta4');           % case Ruta4,19-07-2005 K=21;
if ~isempty(b)
    c = strfind(pathname, '19-07-2005');
    if ~isempty(c)
        K=21;
        return;
    end
end
b = strfind(pathname, 'Ruta4');           % case Ruta4,20-07-2005 K=21;
if ~isempty(b)
    c = strfind(pathname, '20-07-2005');
    if ~isempty(c)
        K=21;
        return;
    end
end
b = strfind(pathname, 'Ruta4');           % case Ruta4,28-07-2005 K=21;
if ~isempty(b)
    c = strfind(pathname, '28-07-2005');
    if ~isempty(c)
        K=21;
        return;
    end
end
b = strfind(pathname, 'Ruta5');           % case Ruta5,11-07-2005 K=27;
if ~isempty(b)
    c = strfind(pathname, '11-07-2005');
    if ~isempty(c)
        K=27;
        return;
    end
end
b = strfind(pathname, 'Ruta6');           % case Ruta6,15-07-2005,20K_A641606 K=21;
if ~isempty(b)                               %Cuidado con el punto del chiquihuite
    c = strfind(pathname, '15-07-2005');
    if ~isempty(c)
        d = strfind(pathname, '20K_A641606');
        if ~isempty(d)
            K=21;
            return;
        end
    end
end
b = strfind(pathname, 'Ruta6');           % case Ruta6,15-07-2005,20K_B16405 K=27;
if ~isempty(b)
    c = strfind(pathname, '15-07-2005');
    if ~isempty(c)
        d = strfind(pathname, '20K_B16405');
        if ~isempty(d)
            K=27;
        end
    end
end

```

```

        return;
    end
end
end
b = strfind(pathname, 'Ruta6');           % case Ruta6,16-07-2005 K=27;
if ~isempty(b)
    c = strfind(pathname, '16-07-2005');
    if ~isempty(c)
        K=27;
        return;
    end
end
b = strfind(pathname, 'Ruta6');           % case Ruta6,26-07-2005 K=21;
if ~isempty(b)                             %este valor está en duda. Está por comprobar
    c = strfind(pathname, '26-07-2005');
    if ~isempty(c)
        K=21;
        return;
    end
end
b = strfind(pathname, 'Ruta6');           % case Ruta6,27-07-2005 K=21;
if ~isempty(b)
    c = strfind(pathname, '27-07-2005');
    if ~isempty(c)
        K=21;
        return;
    end
end
K=21;                                     % otherwise K=21;

```

El siguiente programa selecciona la columna de coordenadas geográficas (gpspos) de los archivos de DRM.EZ.400ms.txt

```

[NS,WE,gradLon,minLon,segLon,gradLat,minLat,segLat,Huso,UtmX,UtmY,DRad] = SeleccionaGPSpos(file);
function [Lat,Lon,UtmH,UtmX,UtmY,DRad,DeltaDist>TotalDist] = SeleccionaGPSpos(file,Tacometro,i>Status);
if Tacometro == 1
    for k=1:1:i
        Lat(k)=0;
        Lon(k)=0;
        UtmH(k)=0;
        UtmX(k)=0;
        UtmY(k)=0;
        DRad(k)=0;
        DeltaDist(k)=0;
        TotalDist(k)=0;
    end
elseif Tacometro == 0
    fid=fopen(file,'r');                   % Se abre el archivo
    s=1;
    while(1)                               % Se ejecuta un while para leer todas las líneas
        tline=fgetl(fid);
        if ~isstr(tline),break,end;
        i=1;
        inicioGPS=1;
        for j=1:27                          % Se selecciona la columna de gpspos
            while tline(i)~=' ',i=i+1;end;
            i=i+1;
        end
        while tline(i)~=' ',                % Se lee la columna de GPSpos
            GPS(inicioGPS)=tline(i);
            inicioGPS=inicioGPS+1;
            i=i+1;
        end
        GPS(inicioGPS)=' ';
        NS=GPS(1);                          % Se separan las coordenadas de latitud en grados y
        minutos
        GLat=GPS(2:3);
        MLat=GPS(4:5);
    end
end

```

```

FMLat=GPS(6:8);
fracminLat=sscanf(FMLat,'%f');           % Se convierten a números las coordenadas de latitud
segundosLat=fracminLat*60/1000;
gradLat=sscanf(GLat,'%f');
minLat=sscanf(MLat,'%f');
segLat=segundosLat;
Latitudseg = segLat/60;
Latitudmin = (minLat + Latitudseg)/60;
Latitud = gradLat + Latitudmin;
Lat(s)= Latitud;
WE=GPS(9);                               % Se separan las coordenadas de longitud
GLon=GPS(10:12);
MLon=GPS(13:14);
FMLon=GPS(15:17);
fracminLon=sscanf(FMLon,'%f');          % Se convierten a números las coordenadas de longitud
segundosLon=fracminLon*60/1000;
gradLon=sscanf(GLon,'%f');
minLon=sscanf(MLon,'%f');
segLon=segundosLon;
Longitudseg = segLon/60;
Longitudmin = (minLon + Longitudseg)/60;
Longitud = gradLon + Longitudmin;
Lon(s)= Longitud;

[Huso1,UtmX1,UtmY1,DRad1] = ConversionGEOaUTM(NS, WE, gradLon, minLon, segLon, gradLat,
minLat, segLat);
UtmH(s) = Huso1;
UtmX(s) = UtmX1;
UtmY(s) = UtmY1;
DRad(s) = DRad1;
s=s+1;
end
fclose(fid);
n = numel(UtmH);
for DD=1:1:n
    if DD==1
        DeltaDist(DD)=0;
        TotalDist(DD)=0;
    else
        DeltaDist(DD)= sqrt((UtmX(DD-1)-UtmX(DD))^2+(UtmY(DD-1)-UtmY(DD))^2);
        TotalDist(DD)= TotalDist(DD-1)+DeltaDist(DD);
    end
end
end
return;

```

El siguiente programa realiza la conversión de coordenadas geográficas a coordenadas UTM en base al elipsoide WGS84

```

function [Huso1,UtmX1,UtmY1,DRad1] = ConversionGEOaUTM(NS, WE, gradLon, minLon, segLon, gradLat,
minLat, segLat);
format long g;                           % Formato de salida de resultados numéricos
                                           % Constantes del elipsoide WGS84
a = 6378137.00;                            % semiejes
b = 6356752.314;
e = (sqrt(a^2-b^2))/a;                    % calculo de la excentricidad
se = (sqrt(a^2-b^2))/b;                   % calculo de la segunda excentricidad
se2 = se^2;                               % cuadrado de la segunda excentricidad
c =(a^2)/b;                               % radio polar de curvatura
ap = (a-b)/a;                             % aplanamiento
LongGD = gradLon + minLon/60 + segLon/60/60; % Convertir las coordenadas geográficas a grados
decimales
LatGD = gradLat + minLat/60 + segLat/60/60;
% Como la Longitud esta referenciada al oeste del meridiano de Greenwich y como esta también
referenciada al hemisferio sur es siempre negativa
if (WE=='W')
    LongitudGD = LongGD*(-1);

```

```

elseif (WE=='E')
    LongitudGD = LongGD;
end
if (NS=='N')
    LatitudGD = LatGD;
elseif (NS=='S')
    LatitudGD = LatGD*(-1);
end
LongitudR = ((LongitudGD*pi)/180);           % Convertir de grados decimales a radianes
LatitudR = (LatitudGD*pi)/180;
H = LongitudGD/6 + 31;                       % calculo del Huso
Huso1 = fix(H);
Lamda0 = Huso1*6-183;                        % meridiano central
deltaLamda = LongitudR - (Lamda0*pi/180);    % distancia angular
                                           % Cálculo de parámetros en base a las ecuaciones de Coticchia-Surace
A = cos(LatitudR)*sin(deltaLamda);
Xi = 1/2*log((1+A)/(1-A));
Eta = atan(tan(LatitudR)/cos(deltaLamda))-LatitudR;
Ni = (c/sqrt(1+se2*(cos(LatitudR))^2))*0.9996;
Zeta = se2/2*Xi^2*(cos(LatitudR))^2;
A1 = sin(2*LatitudR);
A2 = A1*(cos(LatitudR))^2;
J2 = LatitudR+ A1/2;
J4 = (3*J2+A2)/4;
J6 = (5*J4+A2*(cos(LatitudR))^2)/3;
Alfa = 3/4*se2;
Beta = 5/3*Alfa^2;
Gama = 35/27*Alfa^3;
Bfi = 0.9996*c*(LatitudR-Alfa*J2+Beta*J4-Gama*J6);

UtmX1 = Xi*Ni*(1+Zeta/3)+500000;             % Obtención de las coordenadas UTMX y UTM Y
if (NS=='N')
    UtmY1 = Eta*Ni*(1+Zeta)+Bfi;
elseif (NS=='S')
    UtmY1 = Eta*Ni*(1+Zeta)+Bfi+10000000;
end
% Se calcula la distancia Radial (Distancia del Transmisor al punto de prueba). Las Coordenadas Utm del
transmisor son:
HusoTx = 14;
UtmXTx = 472133.8052;
UtmYTx = 2141551.4452;
DRad1 = sqrt((UtmX1-UtmXTx)^2+(UtmY1-UtmYTx)^2); % Se obtiene la Distancia radial
return;

```

El siguiente programa selecciona la columna de los datos de la velocidad (trigger speed) de los archivos de DRM.EZ.400ms.txt

```

function Speed = SeleccionaSpeed(file,Tacometro,Status);
fid=fopen(file,'r');                          % Se abre el archivo
s=1;
while(1)                                       % Se ejecuta un while para leer todas las líneas
    tline=fgetl(fid);
    if ~isstr(tline),break,end;
    i=1;
    iniciospeed=1;
    % Se selecciona la columna trigger speed o gps_speed mod (depende de la selección del tacómetro o
GPS)
    if Tacometro == 1
        for j=1:23
            while tline(i)~=' ',i=i+1;end;
            i=i+1;
        end
    else
        for j=1:29                               %SI SE CAMBIA EN GPSPOS DE 27 A 24 SE CAMBIA AQUÍ DE 29 A 26
            while tline(i)~=' ',i=i+1;end;
            i=i+1;
        end
    end
end
end

```

```

% Se lee la columna trigger speed o gps_speed mod (depende de la selección del sistema de tacómetro o
GPS)
while tline(i)~= ' ',
    speed(iniciospeed)=tline(i);
    iniciospeed=iniciospeed + 1;
    i=i+1;
end
speed(iniciospeed)= ' ';
Speed(s)=sscanf(speed,'%f'); % Se convierte a número
s=s+1;
end
fclose(fid);
n=numel(Speed);
return

```

Con el siguiente programa se selecciona la columna con la que se obtiene la Distancia Total recorrida de los archivos de DRM.EZ.400ms.txt

```

function [TotalDist,DeltaDist] = DeltaDistancia(file,Status);
format long g;
fid=fopen(file,'r'); % Se abre el archivo
s=1;
while(1) % Se ejecuta un while para leer todas las líneas
    tline=fgetl(fid);
    if~isstr(tline),break,end;
    i=1;
    inicioDD=1;
    for j=1:22; % Se selecciona la columna de la Distancia Total
        recorrida
            while tline(i)~= ' ',i=i+1;end;
            i=i+1;
        end
        while tline(i)~= ' ', % Se lee la columna
            DD(inicioDD)=tline(i);
            inicioDD = inicioDD + 1;
            i=i+1;
        end
        DD(inicioDD)= ' ';
        TotalDist(s)=sscanf(DD,'%f,%i'); % Se convierte a número
        s=s+1;
    end

n=numel(TotalDist);
y=1;
if TotalDist(1) <= 5;
    for x=1:1:n
        TotalDist(x)= TotalDist(x);
    end
elseif TotalDist(1) > 100;
    while TotalDist(y+1) == TotalDist(1);
        TotalDist(y+1)=0;
        y=y+1;
    end
    TotalDist(1)=0;
    for z=y:1:n
        TotalDist(z)= TotalDist(z);
    end
end

for k=1:1:n
    if k==1
        distancia1=TotalDist(1,k);
        distancia2=TotalDist(1,k);
        DeltaDist(k)= distancia2-distancia1;
    elseif k>=2
        distancia2=TotalDist(1,k);
        k2=k-1;
        distancia1=TotalDist(1,k2);
    end
end

```



```

    DeltaDist(k)= distancia2-distancia1;
end
end
return

```

El siguiente programa selecciona la columna de los datos correspondientes a la relación señal a ruido (S_N) del archivo DRM.EZ.400ms.txt elegido.

```

function S_N=SeleccionaS_N(file,Status);
fid=fopen(file,'r');           % Se abre el archivo
s=1;
RxSNaceptable = 0;
RxSNerronea = 0;
while(1)                       % Se ejecuta un while para leer todas las líneas
    tline=fgetl(fid);
    if ~isstr(tline),break,end;
    i=1;
    iniciosn=1;
    for j=1:9;                  % Se selecciona la primera columna de S_N
        while tline(i)~=' ',i=i+1;end;
        i=i+1;
    end
    while tline(i)~=' ',       % Se lee la primera columna S_N
        sn(iniciosn)=tline(i);
        iniciosn=iniciosn + 1;
        i=i+1;
    end
    sn(iniciosn)=' ';
    % Se convierte a número la S_N
    S_N(s)=sscanf(sn,'%f');
    s=s+1;
end
fclose(fid);

n=numel(S_N);
for M=1:1:n;
    if S_N(M) >= 18;
        RxSNaceptable = RxSNaceptable + 1;
    else
        RxSNerronea = RxSNerronea + 1;
    end
end
disp(RxSNaceptable);
disp(RxSNerronea);
PMSNRCorrectamente = RxSNaceptable/n*100
PMSNRErroneamente = RxSNerronea/n*100
return;

```

Con los siguientes dos programas se seleccionan las columnas de la tramas de audio recibidas y se calcula el parámetro de calidad de audio de los archivos de DRM.EZ.400ms.txt

% Función que obtiene el Número de Tramas Correctas del Audio Quality (Aq) de
% los archivos de DRM.EZ.400ms.txt

```

function [Aq] = SeleccionaAQ(file,AqT);
AqT= ObtenerAq(file);
fid=fopen(file,'r');           % Se abre el archivo
s=1;
RxAQexitosa = 0;
RxAQerronea = 0;
while(1)                       % Se ejecuta un while para leer todas las líneas
    tline=fgetl(fid);
    if ~isstr(tline),break,end;
    i=1;
    inicioAQ=1;

```

```

for j=1:8;                                % Se selecciona la columna de Audio Quality
    while tline(i)~= ' ',i=i+1;end;
    i=i+1;
end
while tline(i)~= ' ',
    AQ(inicioAQ)=tline(i);
    inicioAQ = inicioAQ+1;
    i=i+1;
end
AQ(inicioAQ)= ' ';
Ntramascorrectas = 0;                      % Se separan las tramas del Audio quality
for k=1:1:AqT;
    Aq1(k)=AQ(k);
    if AQ(k) == '0';
        Ntramascorrectas = Ntramascorrectas + 0;
    elseif AQ(k) == '1';
        Ntramascorrectas = Ntramascorrectas + 1;
    end
end
Aq1 = Ntramascorrectas/AqT;
Aq(s)=Aq1;
if Aq1 >= 0.98;
    RxAQexitosa = RxAQexitosa + 1;
else
    RxAQerronea = RxAQerronea + 1;
end
s=s+1;
end
fclose(fid);

n=numel(Aq);
disp(RxAQexitosa);
disp(RxAQerronea);
PMAQRCorrectamente = RxAQexitosa/n*100
PMAQRErroneamente = RxAQerronea/n*100
return

% Función para obtener al Audio Quality de los archivo DRM.EZ.400ms.txt
% Obtiene el número de muestras del Audio Quality (AqT) de los archivos.

function AqT = ObtenerAq(file);
fid = fopen(file,'r');                    % Se abre el archivo
s=1;
while 1;                                  % Se ejecuta un while para leer todas las líneas
    tline = fgetl(fid);
    if ~isstr(tline),break,end;
    i=1;
    inicioAQT=1;
    for j=1:7;                              % Se selecciona la columna del número de muestras del Audio
Quality
        while tline(i)~= ' ',i=i+1;end;
        i=i+1;
    end
    while tline(i)~= ' ',
        AQT(inicioAQT)=tline(i);
        inicioAQT = inicioAQT+1;
        i=i+1;
    end
    AQT(inicioAQT)= ' ';
    AqT(s)=sscanf(AQT,'%f');                % Se convierten a números el AQT
    s=s+1;
end
fclose(fid);

n=numel(AqT);
cero=0;
uno=0;
dos=0;
tres=0;

```

```

cuatro=0;
cinco=0;
seis=0;
siete=0;
ocho=0;
nueve=0;
diez=0;
for k=1:1:n;
    if AqT(k)==0;
        cero=cero+1;
    elseif AqT(k)==1;
        uno=uno+1;
    elseif AqT(k)==2;
        dos=dos+1;
    elseif AqT(k)==3;
        tres=tres+1;
    elseif AqT(k)==4;
        cuatro=cuatro+1;
    elseif AqT(k)==5;
        cinco=cinco+1;
    elseif AqT(k)==6;
        seis=seis+1;
    elseif AqT(k)==7;
        siete=siete+1;
    elseif AqT(k)==8;
        ocho=ocho+1;
    elseif AqT(k)==9;
        nueve=nueve+1;
    elseif AqT(k)==10;
        diez=diez+1;
    end
end

c=cat(2,cero,uno,dos,tres,cuatro,cinco,seis,siete,ocho,nueve,diez);
m=max(c);
if cero==m
    AqT=0;
elseif uno==m
    AqT=1;
elseif dos==m
    AqT=2;
elseif tres==m
    AqT=3;
elseif cuatro==m
    AqT=4;
elseif cinco==m
    AqT=5;
elseif seis==m
    AqT=6;
elseif siete==m
    AqT=7;
elseif ocho==m
    AqT=8;
elseif nueve==m
    AqT=9;
elseif diez==m
    AqT=10;
end
return

```

Por último, el siguiente programa selecciona la columna de Tacometro (Trigger Update) de los archivos de DRM.EZ.400ms.txt

```

% Funcion que selecciona el Trigger Update
% El Trigger Update es igual a uno cada 11mts aprox. que equivale a 1 lambda

function Lambda = SeleccionaTriggerupdate(file,Status);
fid=fopen(file,'r'); % Se abre el archivo

```

```

s=1;
while(1) % Se ejecuta un while para leer todas las lineas
    tline=fgetl(fid);
    if ~isstr(tline),break,end;
    i=1;
    iniciolambda=1;
    for j=1:21 % Se selecciona la columna del Trigger Update
        while tline(i)~=' ',i=i+1;end;
        i=i+1;
    end
    while tline(i)~=' ', % Se selecciona y se lee la columna del Trigger Update
        lambda(iniciolambda)=tline(i);
        iniciolambda=iniciolambda + 1;
        i=i+1;
    end
    lambda(iniciolambda)=' ';
    Lambda(s)=sscanf(lambda,'%f'); % Se convierte a número
    s=s+1;
end
fclose(fid);
n=numel(Lambda);
return;

```