



## CAPÍTULO III. ANTECEDENTES

---

Este capítulo pretende aportar los conocimientos básicos para entender algunos conceptos que son descritos en los siguientes capítulos y para conocer temas relacionados a este proyecto. Empezando por la clasificación de las señales analógica y digital que fueron analizadas para la obtención de los parámetros de medición como son el AQ, SNR y Campo Eléctrico. Seguido de los estándares de Radio Digital dentro de los cuales se encuentran HD RADIO-IBOC, EUREKA 147-DAB, ISDB-TSB y DRM+, éste último estándar fue el que se empleó en este proyecto. Y por último, en este capítulo se describen las herramientas de Software utilizadas en todo el desarrollo.

### *3.1. Clasificación de Señales*

Una señal es una representación gráfica de una cantidad física, contiene la información de la medición y el comportamiento que desarrolla en el tiempo o en la frecuencia de un fenómeno físico [1].

Los modelos matemáticos o teóricos de señales, de forma conveniente, se suelen clasificar dentro de subconjuntos específicos que comprenden señales con una característica particular.

- a) Determinísticas y Aleatorias
- b) Periódicas y Aperiódicas
- c) De Energía y de Potencia
- d) Continuas y Discretas en el tiempo
- e) Analógicas y Digitales
- f) De Simetría Par o Impar y Sin Simetría
- g) Causales y No Causales
- h) De Valor Real y de Valor Complejo



En nuestro caso nos enfocaremos únicamente en las señales Analógicas y Digitales las cuales fueron analizadas durante el desarrollo del proyecto.

Para cada una de las señales existe una función en el dominio del tiempo  $s(t)$  que determina la amplitud de la señal en cada instante de tiempo, y una función en el dominio de la frecuencia  $S(f)$  que especifica las frecuencias que constituyen la señal, pudiendo ser discreta o continua.

El ancho de banda es el rango de frecuencias en donde se concentra la mayor parte de la energía de la señal.

El espectro de una señal es una gráfica en donde se representa cada una de las frecuencias que la conforman junto con el valor de intensidad que se encuentra dentro del ancho de banda de la señal. El espectro de la señal es importante ya que con él se puede analizar la interferencia y el ruido, además permite calcular la potencia y el campo eléctrico de la señal.

### ***3.1.1. Señales Analógicas***

Una señal Analógica es comúnmente un voltaje o corriente que varía suave y continuamente en función del tiempo. La señal aunque esté acotada, llega a tomar un número infinito de valores de amplitud.

Algunas de las desventajas de este tipo de señales es que son susceptibles de ser modificadas de forma no deseada de diversas maneras debido al ruido, además cualquier variación en la información es difícil de recuperar.

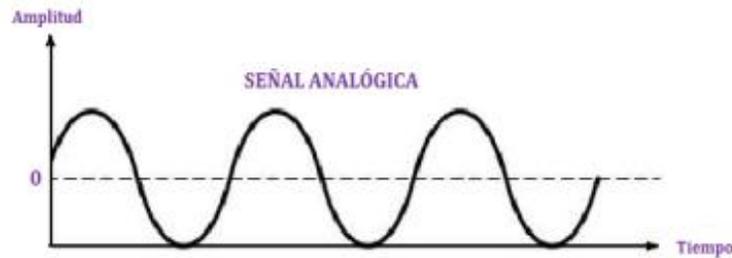


Figura 3.1 Ejemplo de una señal analógica continua en el tiempo

### 3.1.2. Señales Digitales

Las señales digitales, en contraste con las señales analógicas, no varían en forma continua, sino que cambian en pasos o en incrementos discretos en función del tiempo. La señal llega a tomar un número finito de valores de amplitud. La mayoría de las señales digitales utilizan códigos binarios o de dos estados [2].

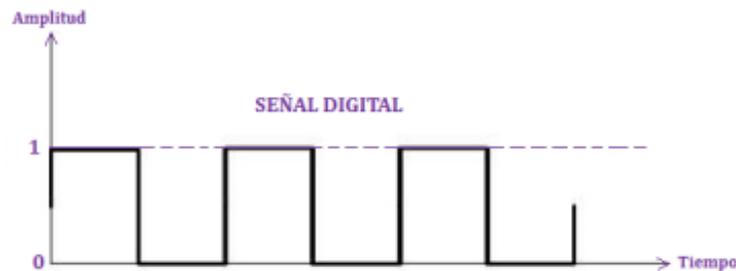


Figura 3.2. Ejemplo de una señal digital continua en el tiempo

Lo que distingue de un radio digital a una transmisión de AM y FM analógica es que en el sistema de radio digital las señales transmitidas son digitales en lugar de analógicas.

Dentro de las técnicas de modulación digital que suelen utilizarse en sistemas digitales se encuentran: FSK, PSK, QAM, OFDM, COFDM, por mencionar algunas. [3].



En este proyecto la modulación QAM es importante ya que es la modulación utilizada en las portadoras de transmisión que contienen información tanto en la amplitud como en la fase de las portadoras. La modulación usada en la transmisión digital es OFDM, con modulación QAM en las subportadoras.

### ***3.2. Estándares de Radio Digital***

#### ***3.2.1. EUREKA 147***



El proyecto EUREKA 147 fue el primer sistema diseñado e impulsado en 1987 por el sistema DAB (*Digital Audio Broadcasting*) el cual proporciona los medios para ofrecer servicios digitales de alta calidad al oyente.

Este estándar fue aprobado para Europa en 1995 por la ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) [4], actualmente Canadá también ha adoptado este estándar.

Ahora existe la versión actualizada denominada DAB+ que se caracteriza sobretodo porque utiliza un códec de audio AAC que permite una mejor calidad de audio con una mayor compresión de la señal (sustituyendo al códec MUSICAM utilizado por DAB).

DAB+ es utilizado para la banda III de VHF (174-230 MHz) y en la banda L (1452-1492 MHz), con un ancho de banda de 1.5 MHz y utiliza una modulación COFDM. Operando en la banda L, ofrece la posibilidad de tener una recepción directa desde el satélite.

Para la transmisión de DAB+ existen cuatro modos diferentes: satelital, terrestre, por cable y modos híbridos (satélite-terrestres y cable-satélite-terrestre).



Los objetivos de este estándar son tener una mejora en la calidad de sonido, una recepción libre de interferencias y una mayor oferta de servicios.

Algunas de las ventajas es el ofrecer audio digital de alta calidad, mayor robustez y fiabilidad a receptores fijos, portátiles y móviles para recepción libre de interferencia, así como el uso eficiente del espectro. También puede tenerse flexibilidad y elección, ya que el multiplexor puede ser reconfigurado dinámicamente para introducir servicios adicionales.

Partiendo del sistema de DAB, se desarrolló el estándar DMB (*Digital Multimedia Broadcasting*), el cual contiene un codificador de video con el que se pueden transmitir servicios de radio y de televisión; algunos ejemplos de lo que se puede transmitir son video, audio y aplicaciones interactivas con teléfonos celulares. DMB fue aprobado en Corea del Sur para su uso en el 2002 [5] y en Europa se estandarizó en el 2005 por la ETSI [6].

Las bandas de frecuencia utilizadas por este estándar no se utilizaban anteriormente para la radio, sin embargo sí estaban atribuidas para la Radiodifusión.

Por esta razón las transmisiones analógicas tanto de AM como de FM están separadas de las transmisiones digitales, es decir, no existe una transmisión simultánea (Simulcast) en la misma banda. Por una parte esto es un problema, ya que este sistema requiere que se liberen esas bandas de su actual uso, pero por otra parte es una ventaja ya que no existe el peligro de que las nuevas transmisiones digitales interfieran con las analógicas.



### 3.2.2. IBOC (HD RADIO)



IBOC (In Band On Channel) es la tecnología de Radio Digital desarrollada por la empresa IBiquity (IBiquity Digital Corporation). La marca comercial que usa IBiquity para su radio IBOC se llama “HD Radio”.



En el 2002, la FCC (Federal Communications Commission) aprueba HD Radio como estándar propietario en Estados Unidos [7]. Este estándar es utilizado en las bandas de AM (525-1700 kHz) y FM (88–108 MHz). En ese mismo año, la UIT lo recomendó para la banda de AM llamándolo “Sistema IBOC DSB” [8]. En el 2003 fue recomendado por la UIT para la banda de FM con el nombre de “Sistema Digital C” [9].

HD Radio utiliza modulación OFDM, tiene un ancho de banda de 30 kHz para AM y de 400 kHz para FM.

Una de las ventajas de este estándar es que está diseñado para transmitir en la misma banda de frecuencias que la transmisión analógica, por lo que no es necesario liberar nuevas bandas de frecuencia.

La versión digital de la señal, tanto para AM como para FM, se encuentra en las bandas adyacentes de la señal analógica, diseñada de tal forma que permite enviar ambas versiones de la señal dentro de la máscara establecida para las señales analógicas. Para el caso de la señal de AM, se puede agregar información de la señal digital dentro de la banda de la señal analógica. Esto se logra poniendo dicha información en una componente de fase en cuadratura y con un nivel muy bajo (figura 3.5) [10].

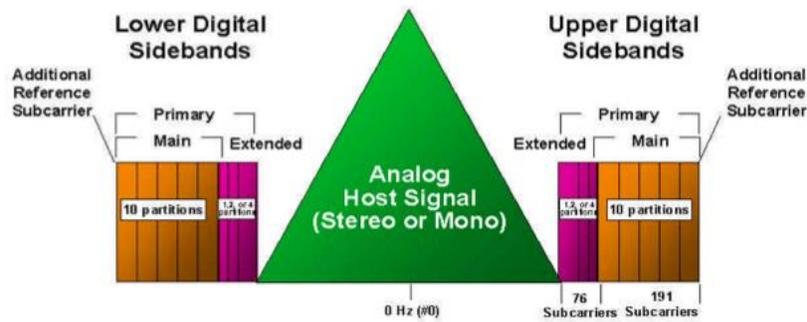


Figura 3.3. Señal híbrida de FM

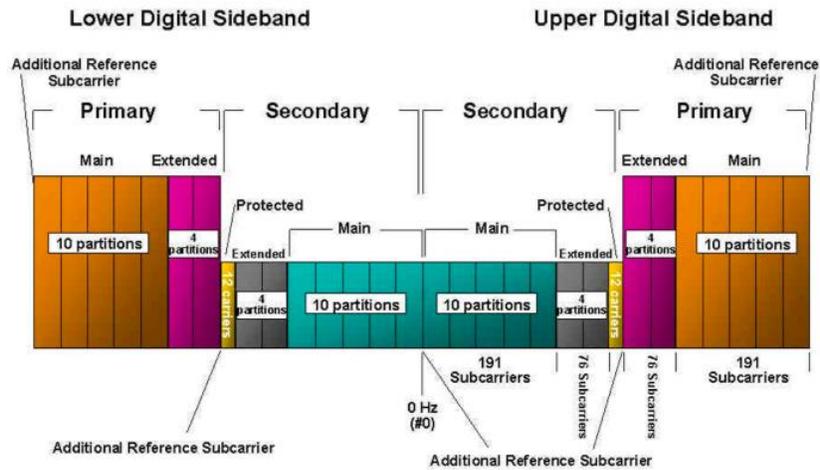


Figura 3.4. Señal completamente digital de FM

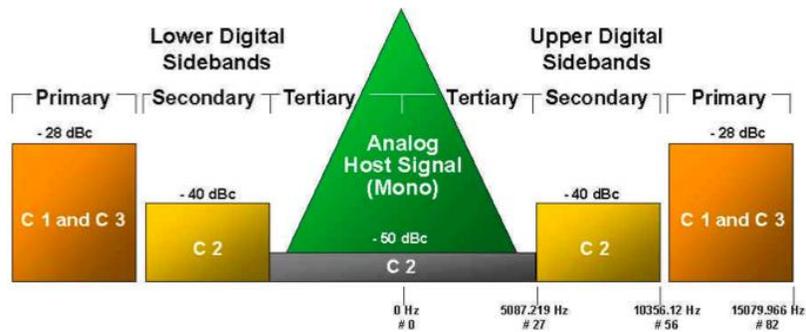


Figura 3.5. Señal híbrida de AM



Lo anterior es de utilidad para la transición de la tecnología analógica a la digital, donde las radiodifusoras pueden funcionar en modo híbrido o simultáneo, transmitiendo las señales analógica y digital dentro del mismo canal de AM o FM.

Otra de sus ventajas es que el sistema es gratuito para el oyente y se pueden enviar servicios de datos.

### 3.2.3. ISDB-TSB



El sistema ISDB-TSB (*Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial for Sound Broadcasting*) fue desarrollado en Japón, el cual integra tanto los servicios de radio como los de televisión.

ARIB (*Association of Radio Industries and Businesses*) desarrolló las especificaciones del sistema.

Las primeras pruebas del sistema se realizaron por primera vez en Tokio en 1999, en ese mismo año se aprobó por el organismo de normalización japonés.

Dos estaciones fueron puestas en marcha en Tokio y en Osaka en la banda de frecuencias de 188 MHz a 192 MHz en Octubre del 2003.

La UIT aceptó este estándar de radio digital terrestre en el 2004 en la recomendación ITU-R BS.1114-3, nombrado como “Sistema Digital F”.

ISDB adoptó la modulación OFDM con la tecnología “Time Interleave”. Con este tipo de transmisión es posible construir una red de frecuencia única (SFN, *Single Frequency Network*) para reducir las frecuencias utilizadas en transmisores repetidores, por lo que no es necesario cambiar el canal de recepción de los receptores móviles o portátiles. Los medios de transmisión pueden ser por satélite, por cable y terrestre [11].



La transmisión terrestre ISDB-T, usa la modulación OFDM con 4 posibilidades para la modulación de las portadoras: DQPSK, QPSK, 16QAM Y 64 QAM, con un ancho de banda de 430 kHz aproximadamente y con corrección de errores Reed-Solomon.

Entre los servicios que se emiten actualmente en la radio digital se encuentran: Radiodifusión de voz múltiple donde los oyentes pueden elegir la programación, idioma de audio y algunos títulos, Radiodifusión envolvente (sonido surround 5.1), fotografías e información en texto, Difusión de imágenes en movimiento sencillas las cuales son vinculadas a los programas transmitidos; y servicios de descargas simples.

#### 3.2.4. DRM

El estándar de DRM fue creado por el “Consortio DRM”, utilizado en transmisiones terrestres de banda estrecha de RF (frecuencias menores a 30 MHz) y de banda amplia de RF (frecuencias mayores a 30 MHz).



Se ha diseñado específicamente como una sustitución digital de alta calidad de la radiodifusión analógica en las bandas de AM y FM/VHF, y como tal se puede operar con las mismas asignaciones de canales y espectro que se emplean actualmente.

DRM ha sido aprobado en el 2003 por la UIT (*Unión Internacional de Telecomunicaciones*) para las bandas de frecuencia por debajo de los 30 MHz [12], y recomendado por ese organismo como único estándar mundial en las bandas entre 3 y 30 MHz (Onda Corta). También ha sido estandarizado por la IEC (*International Electrotechnical Committee*) [13] y por la ETSI [14]. Actualmente se encuentra en proceso de aprobación por la UIT para frecuencias mayores a 30 MHz.



Cabe destacar que el estándar es abierto, lo que significa que cualquier persona o empresa interesada en fabricar equipo DRM puede consultar las cuotas y al pagarlas crear su propio equipo oficial de DRM, sin que éstas varíen entre fabricantes o sin necesidad de evaluar al fabricante para otorgar el permiso.

La modulación utilizada es OFDM, lo que significa tener recepción móvil incluso en entornos multitrayectos y soporta velocidades de hasta 300 km/h.

Algunas de las ventajas de DRM son las siguientes:

- ✓ Mejora la calidad de audio
- ✓ Equipamiento de transmisor: Posibilidad de adaptar un transmisor analógico para transmitir una señal digital.
- ✓ Sintonización de canales de una forma más sencilla
- ✓ Servicio de almacenamiento como archivos de audio, de texto, imágenes fijas, guía de programación electrónica, videoclips cortos.
- ✓ Capacidad de hasta 4 programas simultáneos
- ✓ Posibilidad de ampliar la cobertura empleando redes de frecuencia única (SFN)
- ✓ Diversidad de frecuencia: puede recibirse el mismo programa en 2 frecuencias y proporcionar mejor calidad mediante la selección de la señal adecuada en cada momento (AFS, *Automatic Frequency Switching*).
- ✓ Se puede escoger entre diferentes codificadores de audio (AAC, CELP, HVXC y SBR), de acuerdo a las necesidades, desde tasas de 2 kbps.

Todos los servicios que ofrece DRM son posibles gracias a la composición básica de la señal, en la cual se añaden estos servicios, y se puede apreciar mejor en la figura 3.6.

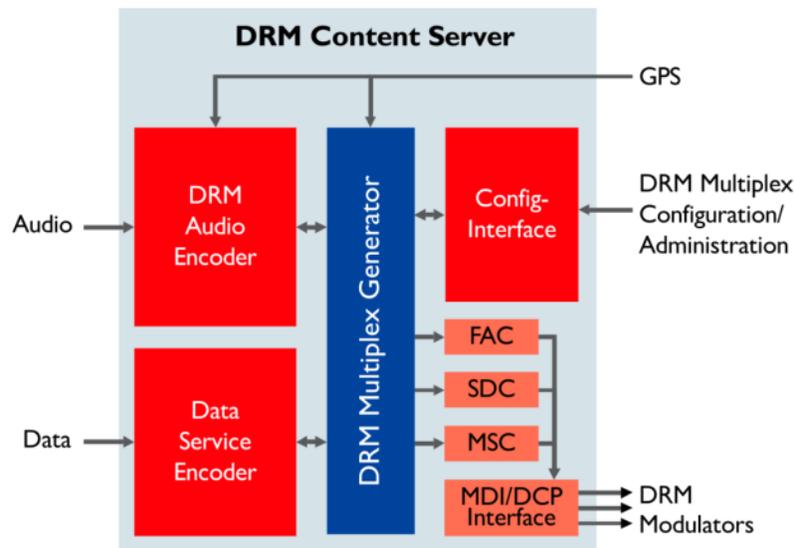


Figura 3.6 Formación de la señal DRM

Al juntarse el audio codificado y los datos codificados se forma el canal lógico MSC (Main Service Channel), esto mediante el bloque multiplexor DRM. Después dicha información se junta con los bloques FAC (Fast Access Channel), que proporciona información esencial del programa para ser identificado con rapidez, así como información sobre la robustez de la señal, los modos de transmisión (tipos A, B, C, D y E), y el canal SDC (Service Description Channel) que proporciona la información acerca de los parámetros de codificación de audio y datos de la señal en general para que ésta pueda ser decodificada adecuadamente.

En la parte de recepción, el dispositivo es capaz de recibir todos los canales lógicos e incluso de cambiar automáticamente de frecuencia en caso de que dicho dispositivo salga del área de cobertura de alguna estación y si esa misma estación tiene otra frecuencia en el área entrante.

El estándar DRM describe un número de modos de operación diferentes, los cuales pueden ser ampliamente divididos dentro de 2 grupos:



- ✓ **Modos “DRM30”** los cuales están diseñados específicamente para utilizarse en las bandas de frecuencia de AM debajo de los 30 MHz. Estas son: onda larga (150 – 529 kHz), onda media (530 - 1710 kHz) y las múltiples bandas de onda corta (2.3 - 27 MHz).
- ✓ **Modos “DRM+”** los cuales utilizan el espectro entre 30 MHz y la Banda III de VHF (87.5 – 108 MHz), centrado en la Banda II de FM [15].

Ambos modos forman parte de DRM. DRM30 y DRM+ fueron clasificados de acuerdo a las frecuencias utilizadas y se diferencian en el ancho de banda usado en el modo de robustez.

Existen 5 modos de robustez pensados para ser utilizados con diferentes modos de propagación. Los modos del A al D son exclusivos de DRM30, siendo el modo A el de la tasa de transmisión más alta. Éste se recomienda para un modo de propagación de onda de tierra o en línea de vista, utilizando frecuencias bajas y medias.

El modo B es preferente para señales propagadas por onda de cielo, frecuencias media y alta. Los modos A y B tienen un ancho de banda variable desde 4.5 kHz hasta 20 kHz.

Los modos de robustez más altos son el C y el D que son usados en situaciones donde se producen diversos saltos ionosféricos, (que la señal rebote en repetidas ocasiones en la ionosfera para poder llegar al objetivo deseado), o con desplazamientos Doppler de consideración, lo que significa que la frecuencia se desplace de su origen varios Hertz. Estos dos modos tienen anchos de banda de 10 y 20 kHz.

Para DRM+ sólo se utiliza el modo E con un ancho de banda de 100 kHz y para frecuencias de VHF.

Para cualquier estándar de Radio Digital, la capacidad de los programas simultáneos está limitada por la capacidad total del multiplexor, por la calidad y robustez requeridas.



### ***3.3.Herramientas de Software***

El utilizar aplicaciones de SW (*software*) y crear herramientas de SW fue fundamental, ya que son una gran ayuda para optimizar tiempo y realizar actividades que una persona tardaría más tiempo en llevar a cabo para procesarla.

Algunas de las herramientas de SW se utilizaron como usuarios, tal es el caso de Google Earth, Radio Mobile, SIGAnatel y Handheld - Software Tools. En el entorno de aplicación de Matlab se elaboraron las herramientas necesarias e indispensables para el procesamiento de la información, razón por la cual Matlab es el programa base de este proyecto.

#### ***3.3.1. Matlab***

Matlab es un lenguaje de programación de alto nivel para el desarrollo de algoritmos, visualización y análisis de datos, entre otras aplicaciones [16].



Es un entorno de aplicación en el cual se elaboraron las herramientas fundamentales para extraer los datos necesarios para el análisis de las áreas de cobertura, la estimación de campo eléctrico a partir del análisis de la señal de DRM+ y de los valores de SNR, así como la creación de archivos con los resultados de las pruebas.

En programas que nos proporcionaron los países de España y Alemania (uno de RF Mundial y otro de la Universidad del País Vasco) se realizaron modificaciones y adaptaciones para las nuevas mediciones de las campañas.



### 3.3.2. *Google Earth*



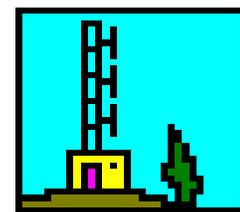
Google Earth es una aplicación para navegación terrestre el cual permite visualizar imágenes 3D del planeta, combinando imágenes de satélite y mapas. En Google Earth es posible medir distancias geográficas, ver alturas de montañas, etc. [17].

A comparación de Matlab que se usó como entorno de aplicación, la herramienta de Google Earth fue utilizada desde el punto de vista de usuario, en la cual se mostraban gráficamente los resultados obtenidos de las medidas en archivos .kml creados en las aplicaciones de Matlab antes descritas. El formato de archivos KML se utiliza para mostrar información geográfica en navegadores terrestres como Google Earth.

En esos archivos KML se puede observar de manera más sencilla la posición de las rutas que se tomaron para las mediciones y el alcance de la transmisión.

### 3.3.3. *Radio Mobile*

Otra de las herramientas utilizadas como usuario fue Radio Mobile el cual es un software gratuito para el cálculo de radio enlaces utilizando perfiles geográficos basándose en la información de los equipos transmisores y receptores como lo es la potencia, sensibilidad del receptor, además de las pérdidas de propagación, características de las antenas como la ganancia, el tipo, su altura, etc. Radio Mobile utiliza el método Longley-Rice para la estimación de campo eléctrico y cobertura.



Con la aplicación de Radio Mobile, para las pruebas realizadas en algunas de las campañas de medición, se estimó el área de cobertura a partir de los datos de la transmisión digital y así observar que esa estimación concordara con la cobertura obtenida de los datos medidos.



### 3.3.4. SIGAnatel



También se requirió el uso de SIGAnatel que es el Sistema de Informaciones Geográficas de la Agencia Nacional de Telecomunicaciones del Ministerio de Comunicaciones de Brasil, en el que se pueden visualizar las áreas de servicio de los proveedores de telecomunicaciones y sus respectivas estaciones, histogramas y mapas de análisis geoestadística y el cálculo para la implementación de una transmisora. SIGAnatel es un software protegido, su acceso es limitado y para utilizarlo se necesita una contraseña que proporciona ANATEL de Brasil.

Este software se utilizó para comparar los resultados del área de cobertura obtenidos tanto de los datos en Matlab, como de las gráficas hechas en Radio Mobile y los archivos creados en Google Earth.

### 3.3.5. Handheld Software Tools

Otro programa que utilizamos como usuarios es una herramienta de Software llamada “Handheld - Software Tools” de Anritsu Company, el cual es un programa de post-procesamiento en el cual se puede visualizar los resultados obtenidos en el analizador de espectros, modificar la posición de los marcadores y las unidades de los valores, exportar todos los datos a archivos .txt, entre otras funciones.



Con este Software se pudieron visualizar los espectros de la señal híbrida de cada medición fija para obtener los valores de las potencias de la señal de FM y de DRM+.