

# Modelo de un sistema de radio digital utilizando infraestructura de FM comercial y recomendaciones de implementación en Colombia

Digital Radio System Model Using FM Commercial Infrastructure and Applied Suggestions in Colombia

HERMES JAVIER ESLAVA BLANCO

Licenciado en Electrónica, Universidad Pedagógica Nacional, Magíster en Ingeniería de Telecomunicaciones Universidad Nacional Colombia, Especialista en Teleinformática Universidad Distrital, Especialista en Instrumentación Electrónica Universidad Santo Tomás. Profesor planta Universidad Distrital Ingeniería de Telecomunicaciones. hjeslavab@udistrital.edu.co

LUIS ALEJANDRO ROJAS CASTELLAR

Ingeniero Electricista y Magíster en Economía Universidad Nacional de Colombia. Profesor planta Universidad Distrital de Ingeniería de Telecomunicaciones. larojasc@udistrital.edu.co

MARTHA LUCÍA TELLO CASTAÑEDA

Ingeniera de Sistemas Corporación Universitaria de Ibagué, Especialista en Teleinformática Universidad Distrital, Docente de extensión Universidad Distrital e Ingeniera en Soporte Comware Colombia. marticatello@gmail.com

Fecha de recepción: 10 de septiembre de 2007

Fecha de aceptación: 2 de marzo de 2008

Clasificación del artículo: investigación

**Palabras clave:** sistemas de radio digital, radio difusión de datos, esquemas de modulación digital, infraestructura de FM comercial.

**Key words:** digital radio systems, radio data system, digital modulation schemes, commercial FM infrastructure.

## RESUMEN

Este artículo muestra el estado actual de la radio digital en el mundo y sus inicios en Colombia. Se exponen los diferentes modelos que se han adaptado

en los países pioneros en esta temática y con base en éstos se propone un sistema de transmisión y recepción híbrido usando la infraestructura comercial actual de FM comercial. El modelo propuesto es validado a través de un software de simulación

que permite evaluar parámetros de desempeño del sistema. Finalmente, se estudian las posibilidades de implementar de forma exitosa el modelo propuesto en Colombia.

#### ABSTRACT

This paper shows current digital radio systems state in the world and its beginnings in Colombia.

Different models adopted by pioneer countries in the field are exposed and based on them. We propose a hybrid transmission and reception system using present commercial FM infrastructure. The proposed model is tested through simulation software what evaluates performance parameters of the system. Finally, possibilities of a successful implementation in Colombia for our proposed model are studied.

\* \* \*

## 1. Introducción

La radio es uno de los medios de comunicación con mayor penetración y audiencia a nivel mundial. Esto se debe, en gran parte, a que su infraestructura se fundamenta en un transmisor, que posee una gran potencia, con miles de receptores de bajo costo. A través de los años no ha sufrido grandes cambios en su modelo de negocios que se caracteriza por los siguientes aspectos: servicio en manos de pocos operadores, mayoría de espacios cubiertos por programas de música, noticieros, y farándula y esquema de financiación basado en la publicidad. Una de las principales desventajas de la radio difusión comercial frente a otros medios de comunicación ha sido la falta de imágenes y visualización gráfica. Este artículo presenta una alternativa, que permite incorporar información digital, a las señales de radio FM análoga, aprovechando la infraestructura existente de los radios difusores en FM. Se presenta un modelo para el sistema de transmisión y recepción de radio digital, validado a través de un software, que permite simular variaciones en los parámetros de modulación por múltiples portadoras y se hace una propuesta que permite la prestación de nuevos servicios de telecomunicaciones como son la radio difusión de datos, conjuntamente con el servicio de radio difusión sonora.

## 2. Antecedentes de la radio digital en el mundo

La digitalización de la información es una tendencia en los sistemas modernos de telecomunicaciones. Ofrece facilidades de procesamiento, almacena-

miento, detección y corrección de errores, lo cual constituye ventajas que son de difícil implementación en los sistemas de transmisión análogos.

La radio no ha sido ajena a este proceso de digitalización. Desde 1974 Alemania occidental ha desarrollado el sistema ARI (Autofahrer Rundfunk Information) [1], que consiste en una señal análoga inaudible, transmitida junto con la señal modulada en FM, que busca proporcionar a los conductores de vehículos información sobre el estado del tráfico. Este sistema presentaba un rendimiento pobre porque se trata de un sistema totalmente análogo. Sin embargo, la radio digital, ofrece muchas ventajas; por ejemplo, los receptores obtienen una señal cuya potencia no se desvanece y la calidad obtenida en la recepción es comparable a la de un CD. Además, simultáneamente se puede visualizar en pantalla otro tipo de información, como las letras de las canciones que se están reproduciendo, videos, información del artista, entre otras.

### 2.1 Sistema RDS y RBDS

A partir del sistema ARI, varias organizaciones de la Unión Europea y Estados Unidos continuaron trabajando conjuntamente en un sistema para la transmisión de datos, utilizando subportadoras dentro del espectro de FM, buscando transmitir audio y datos simultáneamente y, de esta forma, lograr una optimización en el uso del espectro. Este esfuerzo dio origen a dos estándares: el estándar norteamericano RBDS (Radio Broadcast Data System) que se introdujo en 1984 y el europeo RDS (Radio Data System) introducido en marzo de 1992 [2].

Los sistemas RDS y RBDS utilizan la infraestructura de transmisión de las radiodifusoras en FM para transmitir datos presentados en forma de texto. Se puede incluir información como hora, estado del tráfico, indicadores económicos etc. Por ejemplo, una de las aplicaciones más utilizadas en Europa es la de transmitir información del estado del tráfico en las carreteras empleando el sistema RDS. Por esta razón este sistema se pensó para el mercado de los radios para autos<sup>1</sup>. Entre las limitantes del sistema RDS se tiene un reducido ancho de banda de 4.8 KHz centrado en una subportadora de 57 KHz con velocidades de transmisión de 1187.5 bit/s [3]<sup>2</sup>.

## 2.2 Sistema DARC (Data Radio Channel) (t3)

En 1994 Japón desarrolló un sistema que ofrece mayor ancho de banda y velocidades de transmisión, que el sistema RDS, llamado DARC. Este sistema ha sido implementando en países como Suecia, Noruega, Austria, Suiza, Francia, Corea del Sur y en menor medida en Estados Unidos. El proyecto de investigación y desarrollo de DARC para Europa es llamado SWIFT (System for Wireless Infotainment Forwarding and Teledistribution), con el que se busca el desarrollo de nuevas redes de transmisión de datos, orientadas a los servicios de Radio Difusión de Datos [4].

El sistema DARC utiliza una frecuencia sub-portadora de 76 KHz, con un ancho de banda de 15 KHz, por lo que alcanza velocidades de transmisión hasta de 16 Kbps, con una eficiencia de 0,457 bit/Hz. Para utilizar este sistema los usuarios necesitan dispositivos receptores especializados que decodifiquen la información, los cuales ya vienen siendo desarrollados por empresas japonesas. Se estima

1 En Colombia las grandes ciudades reúnen un número importante de autos, que en las horas denominadas pico, concentran una gran audiencia en torno a las emisoras de radio. Con preferencia de los programas noticiosos. Éste es un mercado potencial para los servicios de la radio digital, a través de mensajes de noticias, captados en sus receptores de radio. Estos servicios aún no tienen antecedentes comerciales en Colombia.

2 Mas información puede ser obtenida en National Radio Systems Committee Nrsc-4 , "United States, RBDS standard specification of the radio broadcast data system (RBDS), June 2004, <http://www.nrsstandards.org>

que existen, en Japón, en promedio 1 millón de usuarios del sistema DARC [5].

Una de las ventajas que ofrece el sistema DARC es que es totalmente compatible con el sistema RDS, como se puede apreciar en la figura 1 en la que se ilustra el diagrama espectral de los sistemas DARC y RDS.

Nótese cómo los datos y la señal de audio se encuentran centras alrededor de una subportadora de piloto de 38KHz y 76 KHz respectivamente; esto facilita el proceso de recuperación de los datos que se van a tomar como referencia señal piloto de 19 KHz, que tradicionalmente es recuperada para producir la demodulación de la señal de FM. La figura 1 muestra el ancho de banda requerido para la Señal FM monofónico y estereo al igual que la ubicación y ancho de banda de cada uno de los sistemas RDS y DARC, en el dominio de la frecuencia<sup>3</sup>.

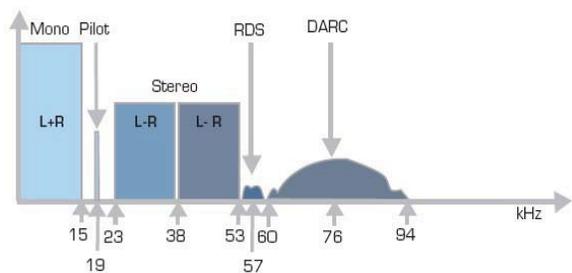


Figura 1. Diagrama espectral de salida de los sistemas de radio digital RDS y DARC.

## 2.3 Sistema DAB (Digital Audio Broadcasting)

En 1998 el sistema DAB (Digital Audio Broadcasting) fue creado en Europa por el Proyecto Eureka 147, en un intento por estandarizar la radio digital. La mayoría de países europeos ha adoptado este estándar, aunque el desarrollo se ha realizado a ritmos distintos y ha dependido de aspectos tecnológicos, de mercado y de orden político.

Las frecuencias sobre las que trabaja DAB pueden ser las mismas del espectro de FM, es decir, de 88

3 Mas información puede ser obtenida en: [www.Sectra.com](http://www.Sectra.com)

a 108 MHz. Sin embargo, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) asignó las bandas de 1452 a 1492 MHz (Banda L) para las transmisiones de radio digital. Actualmente, Europa, Canadá y Australia están utilizando estos rangos de frecuencia y otros países como el Reino Unido utilizan la Banda III, alrededor de 221 MHz [6]. Una de las grandes ventajas de DAB frente a la radio analógica, es el uso eficiente del ancho de banda, ya que en 1.5 MHz se pueden tener hasta seis canales de radio difusión estereofónicos.

Como principal desventaja del sistema DAB se tiene que el usuario debe remplazar sus viejos receptores, por unos que puedan recibir en el rango de frecuencias de la banda L o Banda III, lo que genera nuevos sobre costos tanto para el usuario, como para el radio difusor que debe cambiar su infraestructura de transmisión. La implementación de DAB origina una problemática denominada “apagón analógico”, que consiste en la necesidad de reemplazar toda la infraestructura de la radio analógica, para dar paso a la radio digital [7].

#### 2.4 Sistema IBOC (In-Band, On-Channel)

Estados Unidos decide no acogerse a la estandarización de la radio digital propuesta por la Unión Europea y propone su propia estandarización, denominada IBOC (In-Band On-Channel), aprobada por el NRSC (National Radio System Committee), en septiembre de 2005, bajo el estándar NRSC-5-A [8].

El sistema IBOC permite una migración suave entre la radio analógica a la radio digital, lo que permite que la radio difusión tanto en FM como en AM continúe prestándose, sobre las mismas bandas de frecuencia, adicionándoles las nuevas facilidades de la radio digital. El usuario podrá continuar utilizando sus receptores convencionales y de acuerdo con sus necesidades y recursos migrar paulatinamente a receptores que le ofrezcan las bondades de la radio digital.

Para realizar la migración del sistema análogo al sistema digital se han propuestos tres etapas: IBOC híbrido, IBOC extendido e IBOC digital, las cuales se irán ejecutando en la medida en que los usuarios adquieran los nuevos receptores de radio digital, y los antiguos receptores de radio FM ya no sean atractivos para los usuarios y desaparezcan paulatinamente del mercado. Las diferencias técnicas entre cada uno de estos tres esquemas [9] son:

- En el IBOC híbrido que se puede observar en la figura 2 se produce una modulación en FM análoga con una máxima desviación de frecuencia de 75 KHz en torno a la frecuencia portadora y la información digital se transmite en dos bandas laterales, sobre 10 subportadoras utilizando esquemas de modulación en fase como BPSK, QPSK entre otras. Este esquema permite seguir utilizando los receptores tradicionales de FM simultáneamente con los nuevos receptores de radio digital, sin marginar a los usuarios que no cuentan con los equipos de nueva de nueva tecnología.

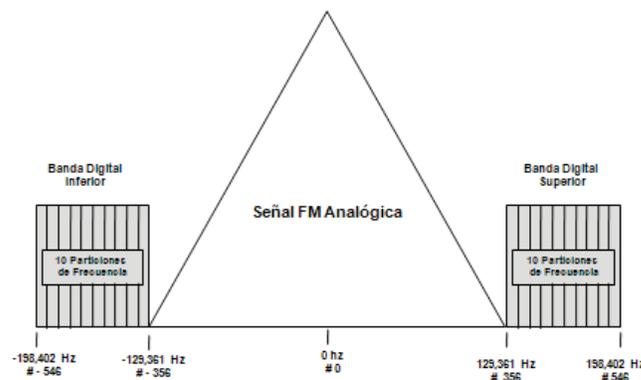


Figura 2. Diagrama espectral de la señal de salida sistema IBOC-híbrido.



aprovechado en su totalidad, pues se intenta evitar que un posible corrimiento en frecuencia de la portadora produzca interferencia en las estaciones próximas. De esta forma, se ha dejado un espacio de guarda de 50 KHz distribuidos en dos guardas de 25 KHz al final del espectro. Sin embargo, la estabilidad de los osciladores actuales ha producido que

estas guardas existentes en el espectro de FM, ya no sean necesarias para evitar interferencias entre los canales vecinos y sean utilizadas para transmitir datos sobre subportadoras. En la figura 4 se muestra el diagrama general del transmisor de radio digital para el modelo propuesto.

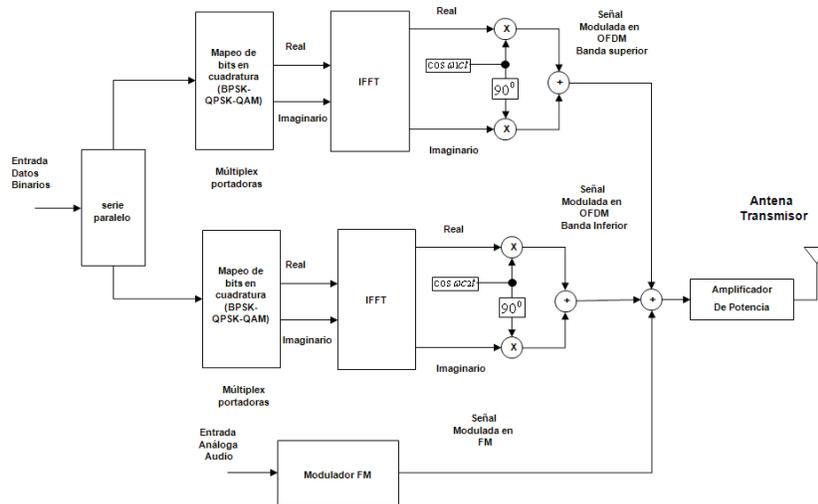


Figura 4. Transmisor del sistema de radio digital.

De esta forma, el sistema de radio digital propuesto, está constituido por dos canales de datos centrado en subportadoras de  $\pm 76$  KHz alrededor de la portadora, que son transmitidos sobre el espacio de guarda no utilizado. La mezcla de esta señal junto con la de FM en la estación de radio, garantiza que la señal de datos adicional no producirá interferencias en los receptores de radio FM convencionales.

dominio de la frecuencia y llevarlos al dominio del tiempo. Por ejemplo, al aplicar el algoritmo de IFFT para la secuencia de entrada 10101010, mapeada en un esquema de modulación QPSK con cuatro portadoras, se puede observar el componente real en la figura 5, la cual fue obtenida con el simulador desarrollado por los autores dentro del diseño del modelo.

### 3.2 Modulación OFDM

Para la modulación OFDM, la cadena de bits por transmitir es mapeada de acuerdo con el esquema de modulación seleccionado BPSK, QPSK o QAM y al número de portadoras disponibles. Una vez se construye el vector complejo se procede a aplicar un algoritmo de IFFT (Transformada inversa de Fourier)<sup>5</sup>, con el objeto de tomar los valores en el

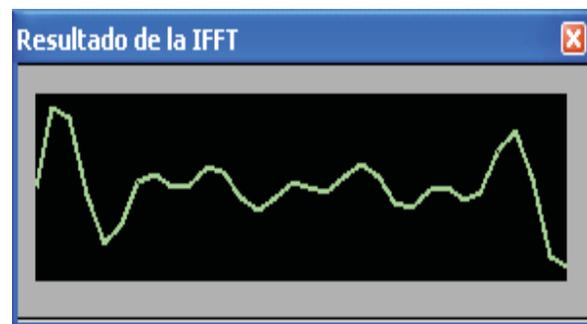


Figura 5. Aplicación del algoritmo IFFT en el dominio del tiempo.

5 Para más información sobre el algoritmo de FFT e IFFT implementado en el software consultar [10].

La figura 6 es el resultado de aplicar el algoritmo de FFT (transformada rápida de Fourier) al resultado obtenido en la figura 5, en la que se aprecian las cuatro portadoras que han sido utilizadas para transportar la información de la secuencia 10101010.



**Figura 6.** Resultado de la simulación componente real en el dominio de la frecuencia.

Para poder recuperar correctamente la señal es necesario incluir periodos de guardas. Los resultados de las simulaciones determinaron que estos periodos de guarda debían ser 1/3 de la señal transmitida. Es decir, se repetirá un 1/3 de los valores finales de la señal al comienzo de la secuencia. Estos periodos de guarda deben ser considerados tanto en el dominio del tiempo como en la frecuencia. En el extremo receptor se eliminarán las guardas. En la figura 7, se puede observar el resultado de la señal OFDM con los periodos de guarda.

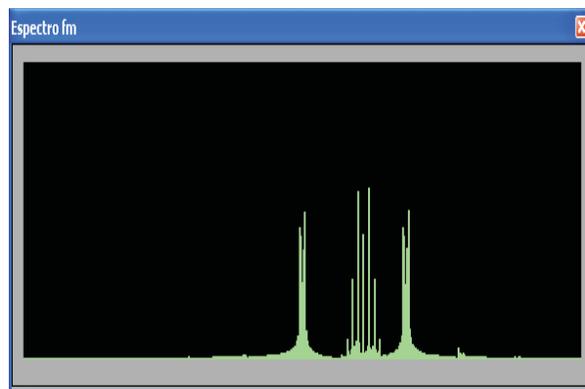
Una vez se ha obtenidos una señal continua en el tiempo, los componentes reales e imaginarios son mezclados, para luego ser trasladados a una subportadora en la parte alta del espectro de FM, para ello se utiliza como referencias las señales piloto de 19 KHz.



**Figura 7.** Resultado de la simulación componente real más periodos de guarda.

Finalmente los dos canales de datos junto con la señal modulada en FM es mezclada para obtener el espectro de salida de la figura en la que se puede apreciar la señal analógica y espectro de los dos canales de datos.

Como se puede apreciar en la figura 8, en el centro se encuentra el espectro de FM, ubicado alrededor de la señal portadora de la radio estación en un espectro de doble banda lateral, que dependiendo del índice de modulación, hace que el ancho de banda varíe proporcionalmente. Como sugerencia, se deben evitar las sobre modulaciones por encima del 100%, pues, por el contrario, se solaparán los espectros de la señal FM con los canales de datos, lo que hace imposible la recuperación de la información de datos en estos casos.



**Figura 8.** Resultado de la simulación espectro de salida en el sistema de radio digital propuesto.

Los dos canales de datos se encuentran, distribuidos en el espectro, al lado y lado del espectro de FM, en un esquema de doble banda lateral con portadora suprimida, centrado a  $\pm 76 \pm 76$  KHz de la frecuencia portadora.

### 3.3 Características del sistema receptor

El sistema receptor del sistema de radio difusión de datos está compuesto por tres filtros pasa banda, que separan los dos canales de datos y la señal de FM que será tratada en forma independiente. En aquellos receptores que no posean características que le permitan recibir los datos, el proceso de mo-

dulación de la señal de FM será realizada en forma convencional, sin ninguna interferencia, puesto que el espectro que contiene los datos no podrá ser detectado por los circuitos de demodulación de

los receptores de FM convencionales por estar por fuera de la respuesta en frecuencia de sus circuitos. En la figura 9, se puede observar el esquema del receptor diseñado.

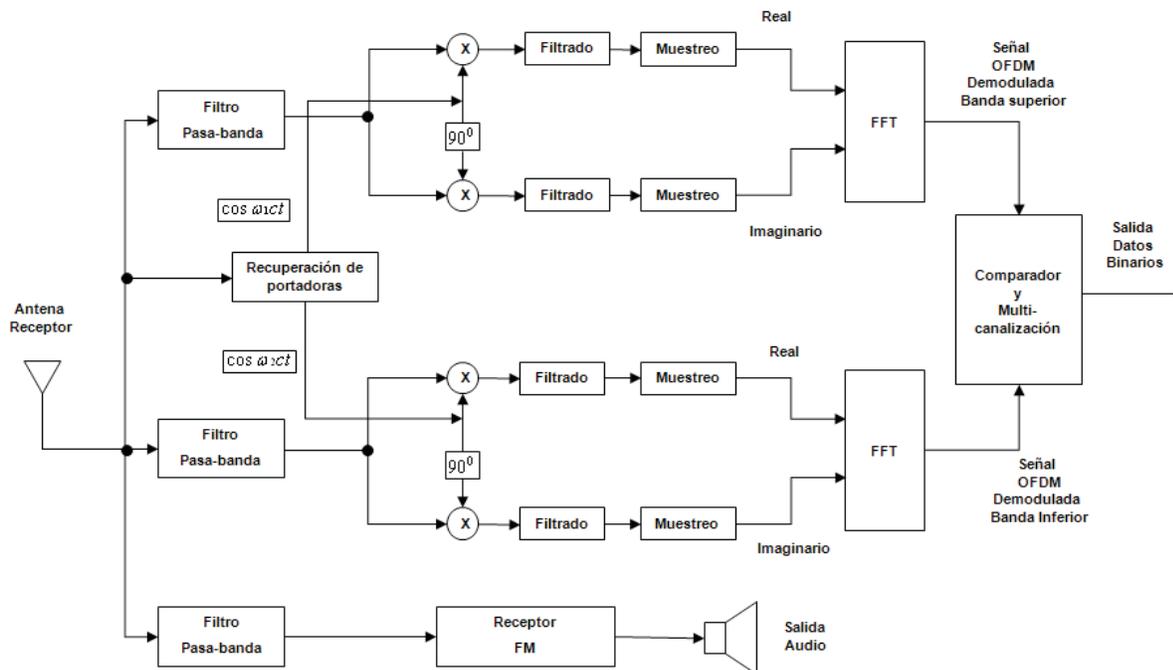


Figura 9. Receptor del sistema de radio digital.

### 3.4 Proceso de demodulación OFDM

Para el proceso de demodulación de OFDM se utiliza a la entrada del sistema un filtro pasa-banda que ayude a mejorar la relación señal a ruido S/N de la señal recibida, al eliminar componentes de frecuencia indeseados, que se han introducido durante la propagación del mensaje por el espacio libre. Luego, se procede a recuperar una señal portadora. Para este fin se extraerán las señales piloto propias de las transmisiones de FM de 19 KHz, y utilizando un multiplicador de frecuencia se obtendrá nuevamente la portadora de  $\pm 57$  KHz ( $19 \text{ KHz} \cdot 4 = 57 \text{ KHz}$ ).

De esta forma, se recupera una señal en fase con la portadora que fue utilizada para la modulación y que luego se introduce por un circuito desfasador de  $90^\circ$  para obtener una señal en fase con la portadora que se utilizó para modular, en este caso un  $\text{Cos}(\omega c t)$  y una señal en cuadratura  $\text{Sen}(\omega c t)$ . La señal captada por el sistema receptor es extraída mediante una demodulación coherente, obteniendo una señal que contiene los componentes real e imaginario, con la información de la magnitud y fase, de acuerdo con el esquema de modulación previamente acordado para ser utilizado en el sistema, que puede ser un esquema de modulación BPSK; QPSK o QAM.

El demodulador OFDM diseñado se observa en la figura 10.

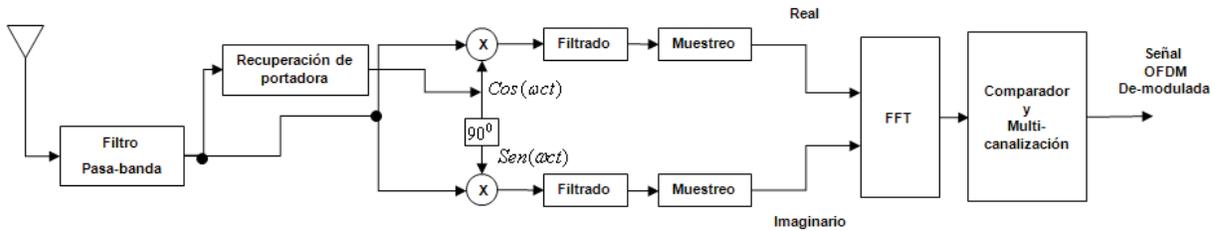


Figura 10. Demodulador del sistema de radio digital.

Por su parte, la figura 11 muestra la señal obtenida después de multiplicar la señal captada en el extremo receptor, por la portadora recuperada, para la secuencia 10101010, utilizando cuatro portadoras.

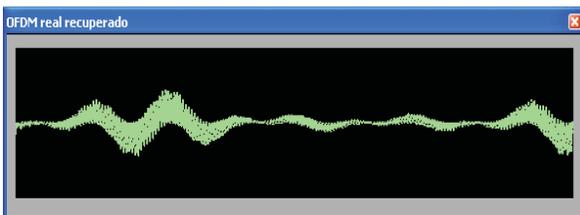


Figura 11. Resultado de la simulación de la señal demodulada sin filtrar.

Como se aprecia en la simulación la señal presenta ruido, pues ha sido contaminada con señales externas en el proceso de transmisión por el espacio libre. Estos componentes de frecuencias son eliminados utilizando un filtro pasa banda como se observa en la señal de la figura 12.

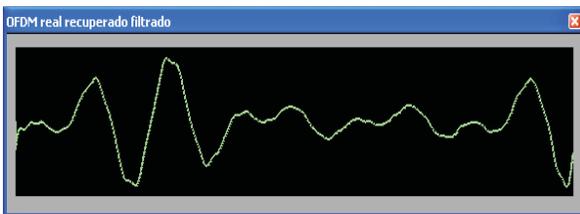


Figura 12. Resultado de la señal demodulada después de ser filtrada.

Para recuperar la información es necesario que la parte real e imaginaria de la señal recuperada sea muestreada con un número de puntos iguales a los utilizados para el proceso de modulación. Una vez se tienen componentes discretos en un vector

con la información de la parte real e imaginaria se procede a aplicar un algoritmo de FFT, dando como resultado un vector con componentes complejos de la forma  $a+jb$ .

Como etapa final del de-modulador se tiene un comparador que se muestra en la figura 13 que toma decisiones de acuerdo con el esquema de modulación utilizado y el diagrama de constelaciones correspondiente. Es decir, se toman los componentes expresados en forma compleja y se comparan según el esquema de modulación utilizado, ya sea BPSK, QPSK, 8 QAM, 16 QAM.

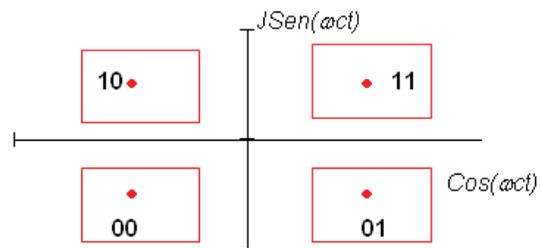


Figura 13. Región de decisión para la etapa de comparación salida del Modulador.

Si el valor es mayor que 0.1 se aproximará a 0.7 como magnitud. Esta aproximación se hace tanto con la parte real como con la imaginaria. Siempre se respetará el signo de la muestra. Por ejemplo si se recibe el número complejo  $1+j4$  se asumirá que por el signo el dato transmitido se encontrará en el primer cuadrante, y que el transmisor transmitió el componente  $0.7+j0.7$ , por lo que se establece que el dato transmitido fue la secuencia 11. Esta

característica hace que el sistema sea robusto y pueda minimizar las probabilidades de error, y sea apto para funcionar en ambientes con presencia de altos contenido de ruido.

#### 4. Software desarrollado para la simulación

El modelo propuesto para el sistema de radio digital fue validado a través de un software desarrollado en visual C# 2005, que permite simular el funcionamiento del sistema de radio digital transmisor y receptor. En el extremo receptor se pueden hacer

variaciones de la secuencia de los datos de entrada, y de los parámetros de modulación de FM, como son la potencia e índice de modulación, entre otros. En el receptor se pueden apreciar las secuencias de los datos recuperados y evaluar los errores que se han producido en el proceso de transmisión.

El software cuenta con una interfaz gráfica en la que se han ubicado puntos de prueba que permiten visualizar los resultados de las simulaciones, como si se tratara de elementos de medición osciloscopios y analizadores de espectro. Por ejemplo, en la figura 14 se observa la interfaz correspondiente al transmisor del sistema.

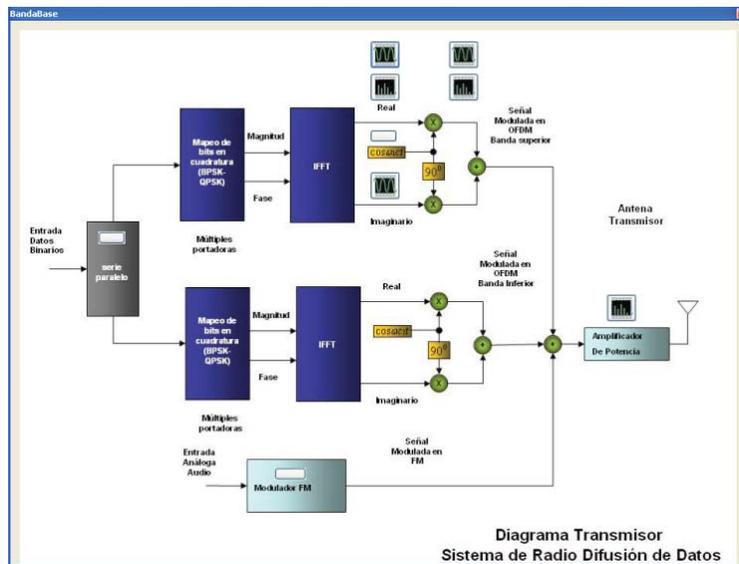


Figura 14. Interfaz del transmisor del sistema de radio digital.

Nótese cómo se han indicado los puntos de prueba con un icono. Por ejemplo, las simulaciones en el dominio del tiempo se identifican con el icono de un osciloscopio con una señal seno. Las simulación en el dominio de la frecuencia se inician haciendo *click* sobre el icono que representa un analizador de espectro.

La interfaz del receptor de datos permite al usuario, visualizar cada una de las etapas de la recepción como el filtrado de la señal, el proceso de muestreo y, finalmente, la recuperación de los datos.

Los puntos de prueba han sido convenientemente escogidos para permitir, en una forma didáctica, comprender el funcionamiento del sistema de radio difusión de datos, además de poder hacer mediciones en el dominio de la frecuencia.

#### 5. Velocidad máxima de transmisión del sistema de radio digital resultado de la simulación

El ancho de banda disponible para los datos es de 44 Khz de los cuales se dejara un espacio de guarda de

4 KHz para evitar interferencias entre las estaciones próximas, por lo tanto, el ancho de banda disponible será dos canales de 40 KHz cada uno.

De acuerdo con las simulaciones el sistema de radio difusión de datos puede utiliza un máximo de diez portadoras por canal con un ancho de banda que depende directamente del esquema de modulación seleccionado, alcanzando un sistema con una efi-

ciencia del 100%, libre de errores, los anchos de bandas fueron calculados y tabulados en la tabla 1, como el ancho de banda disponible es de 80 KHz se han resaltado los valores en los que se cumple esta condición de ancho de banda.

El ancho de banda se puede mantener si se aumenta el número de portadoras y si se disminuye el esquema de modulación.

Numero de portadoras por canal	Ancho de banda requerido de acuerdo al número de portadoras y al esquema de modulación utilizado			
	BPSK	QAM	8QAM	16QAM
1	2.000 bps	4.000 bps	6.000 bps	8.000 bps
2	4.000 bps	8.000 bps	12.000 bps	16.000 bps
3	6.000 bps	12.000 bps	18.000 bps	24.000 bps
4	8.000 bps	16.000 bps	24.000 bps	32.000 bps
5	10.000 bps	20.000 bps	30.000 bps	40.000 bps
6	12.000 bps	24.000 bps	36.000 bps	48.000 bps
7	14.000 bps	28.000 bps	42.000 bps	56.000 bps
8	16.000 bps	32.000 bps	48.000 bps	64.000 bps
9	18.000 bps	36.000 bps	54.000 bps	72.000 bps
<b>10</b>	20.000 bps	40.000 bps	60.000 bps	<b>80.000 bps</b>
11	22.000 bps	44.000 bps	66.000 bps	88.000 bps
12	24.000 bps	48.000 bps	72.000 bps	96.000 bps
<b>13</b>	26.000 bps	52.000 bps	<b>78.000 bps</b>	104.000 bps
14	28.000 bps	56.000 bps	84.000 bps	112.000 bps
15	30.000 bps	60.000 bps	90.000 bps	120.000 bps
16	32.000 bps	64.000 bps	96.000 bps	128.000 bps
17	34.000 bps	68.000 bps	102.000 bps	136.000 bps
18	36.000 bps	72.000 bps	108.000 bps	144.000 bps
19	38.000 bps	76.000 bps	114.000 bps	152.000 bps
<b>20</b>	40.000 bps	<b>80.000 bps</b>	120.000 bps	160.000 bps
30	60.000 bps	120.000 bps	180.000 bps	240.000 bps
<b>40</b>	<b>80.000 bps</b>	160.000 bps	240.000 bps	320.000 bps

\* Duración de un Bit 1 ms

**Tabla 1.** Cálculo del ancho de banda requerido de acuerdo al número de portadoras y al esquema de modulación utilizado.

## 6. Conclusiones y recomendaciones

Según los resultados obtenidos en este artículo se puede concluir que el sistema de radio digital es viable desde el punto de vista técnico para el entorno colombiano, siempre y cuando se realice una transición suave de forma similar al esquema IBOC para evitar inconvenientes relacionados con el “apagón analógico”. No se vislumbra en Colombia un esquema similar al europeo en el que se deben reemplazar todos los equipos de radio si se quiere adoptar el formato digital. De esta forma se sugiere un esquema de etapas de la siguiente manera:

- En una primera fase se utilizaría la infraestructura existente de los radiodifusores de radio como un sistema híbrido analógico-digital. En una segunda etapa se puede eliminar la señal estero del sistema FM, para ampliar el ancho de banda disponible para la transmisión de datos, y continuar prestando el servicio a los receptores tradicionales de FM. En una tercera etapa se digitalizaría la totalidad del espectro de FM, con lo cual se lograrían velocidades de hasta 0.8 Mbps empleando esquemas de 16 QAM y 200 portadoras. En este escenario desaparecerían los receptores analógicos.

- La implementación de estas etapas depende de la forma como se comercialicen los receptores de radio digital y las facilidades y nuevos servicios que se le adicionen para diferenciarla de la radio tradicional. Sin duda, el mercado marcará la pauta para implementar cada una de estas etapas de la implementación de la radio digital.
- La radio difusión de datos en Colombia es una alternativa que repotencializaría el espectro de AM y FM, ampliando su cadena de valor, para ofrecer mayores servicios al usuario con

una alta calidad y haciendo un uso eficiente del espectro, con técnicas de modulación con múltiples portadoras OFDM, que permiten alcanzar velocidades de hasta de 160 kbps, con un esquema de modulación de 16 QAM y 20 subportadoras, en sistema híbrido como el planteado en este trabajo.

- Estudios como los presentados en este trabajo son de vital importancia para el país, por dar argumentos técnicos que permitan tomar una decisión en cuanto a los estándares que adoptara el país en materia de comunicaciones digitales.



Cuarto clínico del Dpto. de Tecnología de Maderas, 1964. Fuente: Universidad Distrital Sesenta años de memoria y vida, Bogotá, IEIE, 2008.

## Referencias bibliográficas

- [1] Antón, E.R. (1998) *La radio del futuro es una radio digital* [en línea]. Facultad de Comunicación Universidad Pontificia de Salamanca. Disponible: [www.bocc.ubi.pt](http://www.bocc.ubi.pt).
- [2] Comité Européen de Normalisation Eléctrotechnique/European Committee. (Abril de 1992) *Specification of the Radio Data System. Bruselas : European Standard*, no 50067.
- [3] National Radio Systems Committee Nrs-c-4. United States. (June 1994) *RBDS Standard Specification of the Radio Broadcast Data System (RBDS)* [en línea]. Disponible en: <http://www.nrsstandards.org>.
- [4] National Radio Systems Committee. (2004) *RBDS standard specification of the radio broadcast data system (RBDS)* [en línea]. National Radio Systems Committee. Disponible en: <http://www.nrsstandards.org>.
- [5] Scomazzon, P. and Andersson, R. (1995) *A High Bit-Rate Data Broadcasting System Using the Terrestrial FM Radio Network*. SWIFT Eureka 1197 project, p. 11.
- [6] Franquet, C. R. (2002) Los radiodifusores ante la zozobra digital nuevos escenarios. *Revista Telos: Cuadernos de Comunicación, Tecnología y Sociedad*, 53, 74-79.
- [7] Martínez, M.P. (Enero-abril de 2004) La radio digital en Europa, perspectivas y evolución. *Quaderns del CAC*, 18, 5-7.
- [8] National Radio Systems Committee. (2005) *In-band/on-channel Digital Radio Broadcasting Standard*. Nrs-c-5-A,b.
- [9] Peyla, P.J. (2003) *The structure and generation of robust waveforms for FM In-band on-channel digital broadcasting*. iBiquity Digital Corporation..
- [10] Proakis, J.G. and Manolakis, D. (1998) *Tratamiento digital de señales* (3ª edición). Madrid: Prentice Hall.