

**ESTUDIO TÉCNICO PARA COMPARAR DOS ESTÁNDARES DE
RADIODIFUSIÓN DIGITAL, EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ.**

ALBERTO DE JESÚS GARCÍA RUDAS

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA
ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS, TECNOLOGÍA E INGENIERÍA
INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ
2022**

**ESTUDIO TÉCNICO PARA COMPARAR DOS ESTÁNDARES DE
RADIODIFUSIÓN DIGITAL, EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ.**

ALBERTO DE JESÚS GARCÍA RUDAS

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero en Telecomunicaciones

**Directora
Dra. Mónica Andrea Rico Martínez**

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA
ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS, TECNOLOGÍA E INGENIERÍA
INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ
2022**

Nota de Aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Bogotá, Diciembre 05 de 2022

Al todo poderoso por brindarme la fuerza, la constancia y la sabiduría,
permitiéndome el desarrollo profesional y el cumplimiento de las metas
propuestas.

A mis padres quienes me dieron la vida y valiosos consejos.

A mi esposa e hijos por su respaldo y apoyo incondicional,
Por su paciencia y comprensión.

AGRADECIMIENTOS

El autor presenta un cordial saludo y agradecimiento al personal de docentes y administrativos de la Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, quienes con su gran aporte y colaboración, permitieron el logro de los objetivos propuestos durante el desarrollo de mi carrera profesional.

A la Doctora Mónica Andrea Rico Martínez por su incondicional asesoría y orientación, durante el desarrollo del proyecto de investigación.

Al señor Ingeniero William Alexander Cuevas Carrero, evaluador de la propuesta del trabajo de grado, por la oportuna y objetiva orientación y la evaluación del proyecto de investigación y al señor Ingeniero Raúl Camacho Briñez líder nacional del programa de Ingeniería de Telecomunicaciones.

Gracias a toda mi familia, en especial a mi esposa y a mis dos hijos, los cuales fueron los pilares fundamentales y mi motivación para continuar con mi proceso académico.

Gracias a mis amigos y compañeros, que siempre me brindaron un apoyo sincero e incondicional, que fue vital a la hora de afrontar los momentos difíciles durante este proceso de formación.

A todos, muchas gracias.

CONTENIDO

CAPITULO I	21
1. GENERALIDADES.....	21
1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	21
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	23
1.2.1 Objetivo General.....	23
1.2.2 Objetivos Específicos.....	24
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	24
1.4 MARCO REFERENCIAL.....	26
1.4.1 MARCO CONCEPTUAL Y TEORICO.....	27
1.4.1.1 Radiodifusión análoga.....	27
1.4.1.2 Radiodifusión Digital.....	27
1.4.1.2.1 Estándares de la radio digital.....	28
1.4.1.2.1.1 Sistema de radiodifusión de audio digital (DAB).....	29
1.4.1.2.1.2 Sistema digital de radio Mondiale (DRM).....	29
1.4.1.2.1.3 Sistema en banda dentro del canal (IBOC).....	30
1.4.1.2.1.4 Radiodifusión Digital de Servicios Integrados (ISDB).....	30
1.4.1.3 Plan Técnico de Radiodifusión en Colombia.....	30

1.4.2 ESTADO DEL ARTE	31
1.4.2.1 Radio digital en Europa	31
1.4.2.2 Radio digital en Estados Unidos.....	32
1.4.2.3 Radio digital en Asia.....	32
1.4.2.4 Radio digital en Oceanía	32
1.4.2.5 Radio digital en África.....	33
1.4.2.6 Radio digital en América Latina	33
1.5 MARCO METODOLÓGICO	33
1.5.1 Etapa 1: Planear.....	33
1.5.2 Etapa 2: Hacer.....	33
1.5.3 Etapa 3 Verificar.....	35
1.5.4 Etapa 4. Actuar.....	35
CAPITULO II	36
2. ANÁLISIS DE LA INFRAESTRUCTURA DE RADIODIFUSIÓN ANALÓGICA EN BOGOTÁ.....	36
2.1 LA RADIODIFUSIÓN SONORA EN COLOMBIA	36
2.1.1 Clasificación del servicio de radiodifusión.....	37
2.1.1.1 Gestión del servicio	37

2.1.1.1.1 Directa	37
2.1.1.1.2 Indirecta.....	38
2.1.1.2 Orientación de la programación.....	38
2.1.1.2.1 Radiodifusión Comunitaria	38
2.1.1.2.2 Radiodifusión Comercial.....	38
2.1.1.2.3 Radiodifusión de interés público.....	38
2.1.1.3 De acuerdo con el cubrimiento del servicio	38
2.1.1.3.1 Cubrimiento Zonal	38
2.1.1.3.2 Cubrimiento Zonal Restringido	39
2.1.1.3.3 Cubrimiento Local Restringido.....	39
2.1.2 Situación de las emisoras de radio a nivel Nacional.....	39
2.2 RADIODIFUSIÓN SONORA EN BOGOTÁ	41
2.2.1 Emisoras de Amplitud modulada en Bogotá.....	43
2.2.2 Emisoras de Frecuencia modulada en Bogotá.....	46
2.2.3 Cuadro comparativo emisoras AM y FM en Bogotá	48
CAPITULO III	49
3. Sistemas de radiodifusión digital	49
3.1 ESTÁNDARES DE RADIODIFUSIÓN DIGITAL.....	49

3.1.1 Sistema de radiodifusión de audio digital (DAB).....	50
3.1.2 Sistema digital de radio Mondiale (DRM)	53
3.1.3 Sistema en banda dentro del canal (IBOC)	56
3.1.4 Radiodifusión digital de servicios integrados (ISDB)	61
3.2 SITUACIÓN DE LA RADIO DIGITAL EN OTROS PAÍSES	63
3.2.1 Situación actual radiodifusión digital en Europa	64
3.2.2 Situación actual radiodifusión digital en América.....	65
3.2.3 Situación actual radiodifusión digital en Asia.....	66
3.2.4 Situación actual radiodifusión digital en África.....	66
3.2.5 Situación actual radiodifusión digital en Oceanía	67
CAPITULO IV.....	68
4. DISEÑO DE LA SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE RADIODIFUSIÓN DE AUDIO DIGITAL (DAB) Y EL SISTEMA EN BANDA DENTRO DEL CANAL (IBOC) EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ.....	68
4.1 DISEÑO SIMULACIÓN	68
4.1.1 Equipo transmisor sistema de radiodifusión de audio digital DAB.....	68
4.1.1.1 Configuración Xirio en transmisión para equipo Maxiva OP en DAB.....	70
4.1.2. Configuración Xirio en recepción para equipo Maxiva OP en DAB	74
4.1.3. Equipo transmisor Sistema en banda dentro del canal HD Radio (IBOC) en AM híbrido	77

4.1.3.1 Configuración Xirio en transmisión del Flexiva DAX - HD radio (IBOC), AM híbrido	79
4.1.4. Configuración Xirio en recepción Flexiva DAX - HD radio (IBOC), AM híbrido...	83
4.1.5 Equipo transmisor Sistema en banda dentro del canal HD Radio (IBOC) en FM híbrido	85
4.1.5.1 Configuración Xirio en transmisión del Flexiva FLX - HD radio (IBOC) FM híbrido.	87
4.1.3.2 Configuración Xirio en recepción del Flexiva FLX - HD radio (IBOC) FM híbrido.	91
CAPITULO V.....	94
5. SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE RADIODIFUSIÓN DE AUDIO DIGITAL (DAB) Y EL SISTEMA EN BANDA DENTRO DEL CANAL (IBOC) EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ...	94
5.1 SIMULACIÓN EN XIRIO	94
5.1.1 Simulación del estándar DAB (Digital audio Broadcasting)	94
5.1.2 Simulación del estándar HD Radio (IBOC) en Am híbrido.....	98
5.1.3 Simulación del estándar HD Radio (IBOC) en FM híbrido.....	101

CAPITULO VI.....	105
6. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ESTÁNDARES Y VIABILIDAD DEL SISTEMA DE RADIODIFUSIÓN DIGITAL PARA BOGOTÁ.....	105
6.1 Análisis de los resultados de intensidad de señal recibida (RSS) Excelente.....	106
6.2 Análisis de los resultados de intensidad de señal recibida (RSS) Intermedia	109
6.3 Análisis de los resultados de intensidad de señal recibida (RSS) Baja	111
6.4 Análisis de los resultados obtenidos.....	113
7. CONCLUSIONES	116
REFERENCIAS.....	118

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1 Primeras emisiones de radio en Colombia	22
Figura 2 Señal analógica y digital.....	28
Figura 3 Clasificación de las emisoras en Colombia	37
Figura 4 Mapa de las emisoras en Colombia	39
Figura 5 Distribución de las emisoras de radio en Colombia.....	41
Figura 6 Localidades de Bogotá.....	42
Figura 7 Emisoras de AM en Bogotá.....	45
Figura 8 Emisoras de FM en Bogotá	47
Figura 9 Diagrama en bloques receptor DAB.....	51
Figura 10 Diagrama en bloques transmisor DRM	54
Figura 11 Modos transmisión DRM	54
Figura 12. Adopción del sistema IBOC a nivel mundial.....	57
Figura 13 Espectro forma de onda híbrida IBOC en AM	58
Figura 14 IBOC FM híbrido	60
Figura 15 Estructura del sistema ISDB.....	62
Figura 16 Características estándares digitales.....	64
Figura 17 Sistema transmisor de la serie Maxiva OP.....	69
Figura 18 Selección estudio, categoría y servicio.....	70
Figura 19 Propiedades estudio de cobertura.....	71
Figura 20 Ubicación y nombre del transmisor	72

Figura 21 Configuración parámetros de radio	73
Figura 22 Configuración área de cálculo	74
Figura 23 Parámetros de recepción	75
Figura 24 Seleccionar cartografía y método de cálculo.....	76
Figura 25 Configuración rangos de señal.....	77
Figura 26 transmisor Flexiva DAX.....	78
Figura 27 Estudio de cobertura	79
Figura 28 Nombre y descripción del proyecto	80
Figura 29 Nombre y ubicación del transmisor	80
Figura 30 Parámetros de transmisión	82
Figura 31 Configuración área de calculo	83
Figura 32 Parámetros de recepción	84
Figura 33 Selección cartografía y método de calculo	84
Figura 34 Rango de señal	85
Figura 35 Transmisor Flexiva FLX	87
Figura 36 Nuevo estudio de cobertura	88
Figura 37 Nuevo estudio de cobertura	88
Figura 38 Nombre y ubicación del transmisor	89
Figura 39 Parámetros de transmisión	90
Figura 40 Configuración área de cálculo	91
Figura 41 Parámetros de recepción	92
Figura 42 Parámetros de cálculo.....	92
Figura 43 Rango de señal	93

Figura 44 Simulación estándar DAB en Bogotá	94
Figura 45 Simulación HD Radio (IBOC) AM híbrido Bogotá.....	98
Figura 46 Simulación HD Radio (IBOC) FM híbrido Bogotá	101
Figura 47 Estudios de Cobertura simultáneos.....	105
Figura 48 Estadística comparativa estándares RSS Excelente.....	107
Figura 49 Estadística comparativa estándares RSS Intermedia	110
Figura 50 Estadística comparativa estándares RSS baja.....	112

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Comparación emisoras de AM y FM.....	48
Tabla 2 Situación radiodifusión digital en Europa.....	64
Tabla 3 Situación radiodifusión digital en América	65
Tabla 4 Situación radiodifusión digital en Asia	66
Tabla 5 Situación radiodifusión digital en África	66
Tabla 6 Situación radiodifusión digital en Oceanía.....	67
Tabla 7 Transmisores de radiodifusión digital sistema DAB.....	68
Tabla 8 Características específicas del transmisor de la serie Maxiva OP.....	69
Tabla 9 Equipos de radiodifusión digital HD Radio en AM Híbrido.....	77
Tabla 10 Características técnicas equipo Flexiva DAX	78
Tabla 11 Equipos de radiodifusión digital HD Radio en FM Híbrido	86
Tabla 12 Características técnicas equipo Flexiva FLX	86
Tabla 13 Puntos ubicados en la zona de mejor RSS (verde)	95
Tabla 14 Puntos ubicados en la zona intermedia de RSS (amarilla).....	96
Tabla 15 Puntos ubicados en la zona de baja RSS y sin señal (roja).....	97
Tabla 16 Nivel de potencia RSS en las localidades de Bogotá	98
Tabla 17 Nivel de potencia RSS intermedia en DAB, comparados con AM híbrido	99
Tabla 18 Puntos con potencia RSS baja en DAB, comparados con AM híbrido	100
Tabla 19 Puntos ubicados en la zona de mejor RSS (verde).	102
Tabla 20 Puntos ubicados en la zona intermedia de RSS (amarilla).....	102

Tabla 21 Puntos ubicados en la zona de baja RSS y sin señal (roja)	103
Tabla 22 Resultados comparativos del estudio de cobertura. Excelente	106
Tabla 23 Desviación estándar RSS excelente	108
Tabla 24 Resultados comparativos del estudio de cobertura. Intermedia	109
Tabla 25 Desviación estándar RSS intermedia	110
Tabla 26 Resultados comparativos del estudio de cobertura. Baja.....	111
Tabla 27 Desviación estándar RSS baja.....	112

RESUMEN

Actualmente, Colombia cuenta con radiodifusión análoga, con esta tecnología, en Bogotá específicamente, se presenta problemas de interferencia y un uso inadecuado del espectro radioeléctrico debido a la gran cantidad de emisoras que trabajan en las bandas de FM y AM, sumado a esto, también se identifica una creciente demanda en la solicitud de licencias de radiodifusión, de acuerdo con datos de MinTic. Este proyecto, busca ofrecer una alternativa a esta problemática, mediante la simulación y comparación de las características técnicas de dos de los estándares existentes de radio digital.

El proyecto emplea una metodología de investigación aplicada, de corte cuantitativo, al realizar una investigación causal comparativa entre dos estándares de radiodifusión digital adoptados en otros países, con el fin de identificar un estándar apropiado para implementar en la ciudad de Bogotá, teniendo en cuenta simulaciones de cobertura realizadas con la herramienta Xirio. Adicionalmente, se realizó una revisión bibliográfica de carácter científico sobre las características de la radiodifusión digital, en comparación con la radiodifusión analógica y la implementación de los diferentes estándares en el mundo.

Como resultado de la simulación de los estándares de radio digital, se evidencian en este documento lecturas de puntos comunes, tablas comparativas, gráficos estadísticos y la dispersión de los datos obtenidos, finalizando con un análisis de los resultados. A partir del estudio realizado en este proyecto se logró identificar que el sistema que más se adapta a la ciudad de Bogotá es el HD Radio (IBOC), debido a que es el que más favorece una transición progresiva.

ABSTRACT

Currently, Colombia has analog broadcasting, with this technology, in Bogotá specifically, there are problems of interference and inappropriate use of the radio spectrum due to the large number of stations that work in the FM and AM bands, added to this, also A growing demand is identified in the application for broadcasting licenses, according to data from MinTic. This project seeks to offer an alternative to this problem, by simulating and comparing the technical characteristics of two existing digital radio standards.

The project uses an applied research methodology, of a quantitative nature, by carrying out a comparative causal investigation between two digital broadcasting standards adopted in other countries, in order to identify an appropriate standard to implement in the city of Bogotá, taking into account simulations. coverage made with the Xirio tool. Additionally, a scientific bibliographic review was carried out on the characteristics of digital broadcasting, in comparison with analog broadcasting and the implementation of different standards in the world.

As a result of the simulation of the digital radio standards, readings of common points, comparative tables, statistical graphs and the dispersion of the data obtained are evidenced in this document, ending with an analysis of the results. From the study carried out in this project, it was possible to identify that the system that best suits the city of Bogotá is HD Radio (IBOC), because it is the one that most favors a progressive transition

INTRODUCCIÓN

La radiodifusión sonora es una tecnología muy utilizada y conocida a nivel mundial, se encuentra catalogada como una de las principales fuentes de acceso a la información, en los lugares donde no pueden llegar medios como la televisión, el internet y la telefonía celular, suministrando una variada programación, desde entretenimiento, divulgación de noticias, deportes, etc. Se debe tener en cuenta que para llegar a la radiodifusión que se conoce actualmente, amplitud modulada, frecuencia modulada y onda corta, se hizo necesario un gran esfuerzo por parte de una gran cantidad de científicos que fueron aportando su grano de arena para llegar hasta la radiodifusión que se disfruta en la actualidad.

Desde hace un tiempo, algunos países pertenecientes a la unión europea, Asia y Norte América, han venido trabajando en la implementación de la radiodifusión digital, para con ello ir desplazando poco a poco la radiodifusión analógica. La radiodifusión digital ofrece una gran cantidad de beneficios en comparación con la radio analógica, desde una mejor calidad de la señal, hasta un menor consumo de energía en sus emisiones.

Existen 4 tipos de estándares de radio digital que buscan abrirse mercado en la actualidad, entre ellos se encuentra el Sistema de radiodifusión de audio digital (DAB) desarrollado en la unión europea, Sistema digital de radio Mondiale (DRM) implementado en China, Sistema en banda dentro del canal (IBOC) desarrollado en Estados Unidos y Radiodifusión Digital de Servicios Integrados (ISDB) desarrollado en Japón, cabe indicar que Colombia no cuenta con ningún estudio técnico que permita conocer qué tipo de estándar digital se podría implementar, para la migración de la radio analógica a la digital, así mismo hasta la fecha no se ha adoptado ningún sistema de radiodifusión digital, las únicas emisiones de radio digital existentes en Colombia están ligadas a la televisión digital terrestre (TDT), que trasmite algunos canales de solo audio como: RCN Radio, La FM, Radio Uno, etc.

De acuerdo a este contexto y acorde al objetivo del presente proyecto de investigación, se busca realizar un estudio que permita comparar dos estándares de radio digital implementados en otros países, dicho estudio comparativo se realizará entre dos sistemas de radiodifusión digital, entregando una posible viabilidad y factibilidad del estándar de radio digital más adecuado y que se ajuste a las características y condiciones de la ciudad de Bogotá.

El capítulo I hace referencia a las generalidades del proyecto, como es la identificación del problema, la justificación, objetivos, la metodología de trabajo y el marco de

referencia. El capítulo II trata sobre el análisis de la toda la infraestructura de radiodifusión analógica, existente en la ciudad de Bogotá, tanto para emisoras de FM como de AM. El capítulo III describe el estado del arte de la radio digital en otros países, indicando la evolución de esta nueva tecnología en Europa, Asia, África, Oceanía y América. El capítulo IV desarrolla el diseño de la simulación en la ciudad de Bogotá. En el capítulo V se efectúan las simulaciones de los estándares seleccionados, utilizando el programa Xirio y finalmente en el capítulo VI se realiza un análisis comparativo de los estándares digitales en estudio y la viabilidad del sistema de radiodifusión adecuado para la ciudad de Bogotá.

CAPITULO I

1. GENERALIDADES

En este capítulo se presenta el enfoque metodológico de la investigación, aquí se define el planteamiento del problema, la justificación, los objetivos, el marco teórico y el marco conceptual, los antecedentes, la metodología aplicada y el impacto de los resultados del proyecto aplicado.

1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Cuando se habla de radio digital, se piensa inmediatamente en ciertas cosas que no lo son, por ejemplo, un receptor digital de radio. El hecho de tener un equipo receptor digital no implica que la tecnología que este dispositivo este utilizando sea digital, ya que las señales que éste recibe son analógicas, porque las ondas electromagnéticas que llegan a dicho dispositivo han sido moduladas en amplitud (AM) o en Frecuencia (FM), y son señales continuas en el tiempo, en otras palabras, la señal de la radio que llega hasta dicho medio es analógica.

Con respecto, a la radio analógica, es importante mencionar que se realizaron las primeras emisiones en Colombia alrededor de los años 20; “Vale la pena anotar que años atrás ya se tenía registro de transmisiones radiales exitosas. En 1924, por ejemplo, el ministro de transporte de la época, Aquilino Villegas, realizó una conferencia acerca de los ferrocarriles desde las instalaciones y el transmisor propio del diario El Nuevo Tiempo, conferencia que fue escuchada exitosamente en Medellín, Cartagena y Cúcuta” (*Conozca la Historia de la Radio en Colombia. RTVC Sistema de Medios Públicos*).

En la figura 1, se puede apreciar el inicio de la radio en Colombia, se observa la antigüedad de los equipos utilizados para este tipo de emisiones. La radio tuvo sus inicios en los años 20, más exactamente el 13 de junio de 1954, durante el gobierno del General Gustavo Rojas Pinilla. Como hito relevante de la historia de la radio, se señala una anécdota sobre la batalla que libraron las noticias radiales emergentes, con las noticias impresas (Periódicos) que ya estaban posicionadas, este tipo de disputa se ve claramente plasmada en un marco legal en el año 1934, con el Decreto 627, que indicaba que las noticias publicadas en los periódicos locales no podían ser difundidas por los medios radiales hasta doce horas después de su anuncio, quien incumpliera este decreto corría el riesgo de una sanción que iba desde una multa económica hasta la cancelación de la licencia de transmisión. (*Conozca la Historia de la Radio en Colombia. RTVC Sistema de Medios Públicos*).

Figura 1:
Primeras emisiones de radio en Colombia



Nota. La radio en Colombia: Primera mitad del siglo XX. Tomada de (socialhizo, 2007)

Con el paso del tiempo la radio se fue posicionando en Colombia, hasta lo que conocemos en la actualidad, un dial lleno de diferentes emisoras radiales, tanto en frecuencia modulada como en amplitud modulada. De esta forma, la radio en Colombia ofrece una gran cantidad de ingresos, teniendo en cuenta el rating de audiencia sobre todo en horas pico, cuando la mayoría de automotores se encuentran en movimiento en las grandes ciudades, la radio es el compañero más fiel. En Colombia existen más de 1500 emisoras de radio, de las cuales 1246 son emisoras que trabajan en frecuencia modulada en la banda de 88 a 108 MHz, este tipo de emisoras son en su mayoría dedicadas a la actividad comercial, que permite lucrarse por medio de la publicidad, también están las emisoras comunitarias y las de interés público y alrededor de 350 emisoras que trabajan en la amplitud modulada, en la banda comercial de 540 a 1600 KHz. *(Colombia tiene 1.705 emisoras registradas y mayoría son comunitarias. Pérez Godoy, M, 2022)*

Por otra parte, se tiene la radio por internet, lo cual es muy diferente a la radiodifusión digital terrestre. La radio por internet permite escuchar una gran diversidad de contenidos haciendo uso de la plataforma de internet, este tipo de emisiones utilizan la tecnología streaming, que permite transmitir audio o video en tiempo real, desde un computador se transmite el contenido a un servidor web con un software de streaming, dicha información no se queda alojada en el servidor, sino que está pasando continuamente, lo que permite que sea escuchado por cualquier usuario en distintos lugares del planeta en tiempo real. Así mismo, se tiene la radio transmitida a través de la TDT, particularmente en Colombia se han realizado avances muy significativos por el lado de la televisión, en comparación con la radio, dado que Colombia aún no tiene una política estatal que esté comprometida

con el paso a la radiodifusión digital. (*¿Cuáles son las diferencias entre una radio online y una radio tradicional? Silveira, L, 2020*).

La radio digital a diferencia de la radio analógica, utiliza un código binario de unos y ceros, lo que permite una mejor calidad del audio, menos interferencia y mejor aprovechamiento del espectro entre otras. Esta tecnología lleva ya más de dos décadas, además existen una gran cantidad de ejemplos que demuestran que este tipo de sistema es mucho más versátil, eficaz y eficiente que la tecnología analógica.

La radio digital tiene unos estándares de transmisión establecidos en otros países sobre todo europeos, asiáticos y en norte América, donde se está implementando este tipo de tecnología. Dentro de los estándares de radiodifusión digital terrestre, se encuentran: Sistema de radiodifusión de audio digital (DAB), Sistema digital de radio Mondiale (DRM), Sistema en banda dentro del canal (IBOC), Radiodifusión digital de servicios integrados (ISDB).

Colombia no se puede quedar atrás con respecto a otros países en la evolución de la radio analógica a la tecnología digital, algunas naciones ya casi han migrado en su totalidad de la radiodifusión analógica a la digital, mientras que otros se encuentran en este proceso, la mayoría de los países de América latina exceptuando a Brasil, Panamá y México se encuentran en la problemática de elegir cuál es el mejor sistema que se adapte a las condiciones de cada terreno y cada país, se debe establecer, así como se realizó con la tecnología TDT, cuál estándar es el más idóneo para implementar.

Teniendo en cuenta este contexto, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo se realiza la comparación e identificación de un estándar de radiodifusión digital adecuado para implementar en la ciudad Bogotá?

1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 Objetivo general.

Identificar el estándar de radiodifusión digital apropiado para implementar en la ciudad de Bogotá, mediante la simulación y comparación de las características técnicas de dos estándares usados para dicha tecnología.

1.2.2 Objetivos específicos.

- Analizar la infraestructura existente de radio analógica AM y FM en Bogotá, mediante la recopilación de ubicación geográfica y cuantificación de emisoras por localidades.
- Caracterizar los diseños actuales de radiodifusión digital sonora en el ámbito internacional para establecer los dos estándares de radio digital a comparar.
- Establecer el diseño de las simulaciones de cobertura de radio difusión digital sonora que se realizarán, mediante la caracterización de los estándares seleccionados.
- Realizar simulaciones de radiodifusión sonora en Bogotá, teniendo en cuenta las características técnicas principales de los dos estándares a comparar.
- Analizar las mediciones realizadas en la simulación, para identificar el estándar de radiodifusión apropiado para la ciudad de Bogotá.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Colombia se puede considerar como un país que se encuentra en vías de desarrollo, razón por la cual, gran parte de la tecnología que se produce en países de primer mundo llegan a lo largo del tiempo a esta nación, mucha tecnología que lleva varios meses, incluso años operando en otros países, aparece en Colombia como una innovación, pero la cual lleva un tiempo trabajando en otras naciones. Una de esas tecnologías que ya se están implementado a nivel mundial es la radiodifusión digital, consistente en la evolución de la radio analógica sonora a la radio digital sonora, algo similar a lo que se está implementado con la Televisión Digital Terrestre en Colombia, la cual ya ha cubierto gran parte del territorio nacional, reemplazando la televisión analógica.

Estos tipos de estándares de radio digital que se están implementado en otros países, requieren un estudio muy detallado, que permita seleccionar cual sería el estándar más indicado, existen 4 estándares de radio digital que funcionan en distintos países; Son ellos: Sistema de radiodifusión de audio digital (DAB) utilizado en Europa, Sistema digital de radio Mondiale (DRM) creado en china, Sistema en banda dentro del canal (IBOC) desarrollado en Estados Unidos y Radiodifusión digital de servicios integrados (ISDB) creado en Japón.

En Colombia y en su capital Bogotá DC. (Ciudad de estudio), existen una gran cantidad de emisoras que trabajan en la banda de amplitud y frecuencia modulada, utilizando una tecnología analógica. En Bogotá existen 32 emisoras de AM y 45 emisoras en la banda de FM (*Emisoras de Bogotá, 15 Feb 2022*), en total existen 77 emisoras que transmiten información muy variada, desde noticias, música, entretenimiento, etc. Por ser un medio masivo de comunicación, la gran cantidad de ellas saturan el espectro radioeléctrico en las bandas asignadas, se puede apreciar sobre todo en FM, que algunas estaciones de radio se encuentran ubicadas en las mismas frecuencias, generando interferencia entre ellas, lo que dificulta su sintonización y la fidelidad de la señal demodulada (*El proceso de adaptación y configuración de la radio en Colombia. Barrios Rubio, A, 2017*).

Con la introducción de la radio digital en Colombia, se iniciaría una migración, desde una tecnología analógica, a una tecnología digital, que reduciría la saturación de señales de radiodifusión y adicionalmente brindaría una serie de ventajas. (*Radio digital vs. radio analógica. López, D, 2013*), las cuales se mencionan a continuación:

- Mejor calidad del audio, ya que elimina las interferencias generadas por los accidentes del terreno y la interferencia que se pueda generar entre las emisoras.
- Permite la incorporación de información multimedia, como gráficos y video en el receptor, que se puede visualizar en el display letras de canciones, clima, noticias, etc.
- Algunos estándares permiten la transmisión de la señal digital y la señal analógica, utilizando una misma frecuencia.
- En transmisiones de FM permiten enviar 4 o 6 programaciones distintas por el mismo canal, de acuerdo al estándar adoptado.
- Reducción del consumo de energía en un 40% o 50%.
- Permite utilizar de una manera más eficiente el espectro radioeléctrico.
- Las transmisiones en FM tienen una calidad de audio similar a la de un disco compacto.
- Las transmisiones en AM tienen una calidad de audio similar a la del FM estéreo analógico actual.

Teniendo en cuenta todas estas bondades de la radio digital con respecto a la radio analógica, surge la necesidad de estudiar algunos estándares de radio digital, para analizar y recomendar cuál es el sistema que más se adapta a las necesidades de la ciudad de Bogotá.

En este proyecto se plantea precisamente esa comparación para establecer las ventajas y desventajas de los diferentes sistema de radiodifusión digital, con el fin de conocer su viabilidad y simularlos sobre un área específica de la ciudad de Bogotá. Este tipo de comparación es muy importante para conocer el funcionamiento de cada uno de los estándares existentes, conocer características como la frecuencia de trabajo, el tipo de modulación, receptores, etc.

Como se ha indicado anteriormente, Bogotá no posee ningún estudio técnico, que permita establecer qué tipo de estándar de radio digital se ajuste más a las necesidades de los diferentes radioescuchas, con todo lo indicado se puede decir que el impacto que tiene este proyecto sobre la población bogotana, es muy grande y sobre todo innovador, porque infiere la incursión de una nueva tecnología. Adicional a esto, con este proyecto se establecerán las ventajas y desventajas de cada uno de los sistemas de radio digital en estudio, desde un punto de vista técnico, que también serán medidos mediante las simulaciones.

1.4 MARCO REFERENCIAL

Los primeros antecedentes o inicios de la radiodifusión datan aproximadamente del siglo XIX, teniendo como referencia la invención de la pila voltaica por Alessandro Volta, dando origen a la construcción de los primeros telégrafos, que fueron poco a poco evolucionando, gracias a las investigaciones desarrolladas por Samuel Morse, creador del conocido código morse, muy utilizado en su época, ya para finales del año 1876, Graham Bell descubrió que los sonidos podían ser transmitidos a través de un cable, Pero solo fue hasta el siglo XX, que los científicos Fleming y Fessenden lograron la transmisión de la voz humana, lo que dio origen a los primeros pasos en la invención de la radio, las investigaciones de las ondas electromagnéticas desarrolladas por James Clerk Maxwell, que fueron validadas por Heinrich Rudolf Hertz, científico alemán que diseñó la forma de cómo crear ondas electromagnéticas y el proceso para detectarlas, pero fue Marconi, quien, gracias a sus estudios, permitió que las señales de radio pudieran propagarse hasta 20 Km, siendo un gran logro para la época y para la evolución de la radio. (*Radio: Importancia y breve historia. Mendoza, I, 2013*).

1.4.1 Marco conceptual y teórico.

1.4.1.1 Radiodifusión análoga

Existe una gran atracción hacia la radio, desde hace décadas se conoce este tipo de aparatos electrónicos, que eran los encargados de informar y alegrar el diario vivir de una gran cantidad de radioescuchas, que veían en este tipo de receptores su mayor fuente de información, cuando no se tenía acceso al internet como sucede en la actualidad, junto con la televisión, eran la principal herramienta utilizada para conocer los acontecimientos nacionales e internacionales, además de una amena programación, musicales, radionovelas, comerciales, etc. Que alegraban la vida de todas aquellas personas que estaban vinculadas a este tipo de medio de comunicación. (*Radiodifusión básica. Ladino Ramos, P, 2017*)

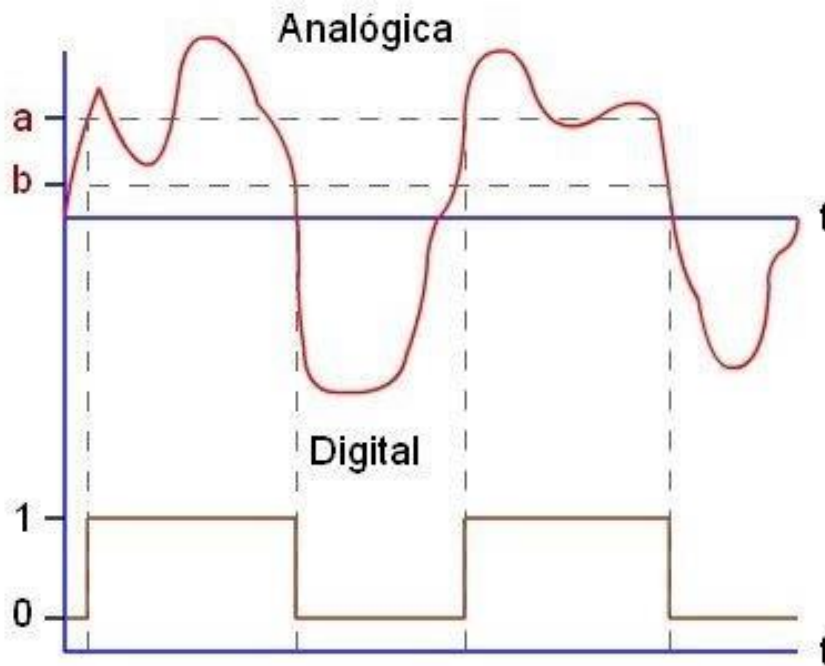
1.4.1.2 Radiodifusión Digital

La radio digital surge aproximadamente en los años 90, con la aparición de algunos dispositivos electrónicos de recepción digital, cabe aclarar que en Colombia existen equipos de radio que son diseñados con tecnologías digitales, pero por ello no se puede decir que las emisiones de radio son digitales, simplemente estos equipos continúan demodulando señales analógicas. La forma correcta de llamar la radio digital sería Radio Digital Terrestre, ya que con este nuevo tipo de transmisión lo que cambia es el modo en que se envía la información, es decir la señal moduladora, mientras que la portadora continúa siendo una señal electromagnética de alta frecuencia (*Radio libres, García. S, 2014*).

Lo que se busca es que toda la información que llegue a los distintos usuarios sea digital sin importar el medio que se esté usando, ya sea por enlaces radioeléctricos, redes satelitales, cables, fibra óptica o internet, la Radio Digital busca que la información que llega hasta el usuario este convertida en dígitos, es decir en unos y en ceros.

En la figura 2 se hace una comparación de una señal analógica con una señal digital, respecto al tiempo.

Figura 2
Señal análoga y Digital



Fuente. Tomada de (sites.google, 2012)

Pero qué diferencia existe entre una señal de radio análoga y una señal de radio digital?, las señales digitales ofrecen mejor calidad de sonido con respecto a las señales análogas, de igual forma las señales digitales presentan una mejor respuesta a las interferencias, las señales digitales permiten aprovechar de una manera más eficiente el espectro radioeléctrico, igual cobertura que las señales análogas con menor potencia, así mismo permite incluir gran cantidad de servicios tales como servicios multimedia, imágenes y sitios web (*Digital Radio and the Connected Digital SingleMarket Strategy Briefing for Policy Makers-April 2015, n.d.*) (Oetting, 1979).

1.4.1.2.1 Estándares de la radio digital

En la actualidad existen algunos sistemas de radio digital, adoptados por muchos países, entre los cuales tenemos:

1.4.1.2.1.1 Sistema de radiodifusión de audio digital (DAB)

La técnica DAB utiliza un sistema de compresión de audio muy eficiente llamada MPEG audio layer II (MP2), tiene un ancho banda por canal de 1,5 MHz que permite enviar hasta 6 programas de música en estéreo, permite el envío de texto para mostrar una cantidad de información escrita como el nombre de la canción, nombre de la emisora, información sobre el clima, publicidad, etc. Utiliza el tipo de modulación OFDM (Multiplexación por división de frecuencias ortogonales), método que permite la multiplexación de un conjunto de ondas portadoras de diferentes frecuencias, lo que entrega una mayor eficiencia del espectro, reduciendo así la interferencia entre las distintas emisoras, el DAB selecciona de forma automática el transmisor regional más potente de acuerdo a la ubicación del receptor, haciendo que sea mucho más clara la señal, permitiendo transmitir señales con menor potencia y sin pérdidas, lo que representa un costo menor y más bajo consumo de energía (*Radio Digital Terrestre, Millán. R, 2012*).

De acuerdo con (JTC, 2017) las bandas de frecuencias de DAB están distribuidas de la siguiente forma; banda III va desde 174 MHz hasta 230/240 MHz, esta banda no se encuentra disponible en algunos países y la banda L va desde 1452 MHz hasta 1479,5 MHz. (*Radio Digital Terrestre, Millán. R, 2012*).

1.4.1.2.1.2 Sistema digital de radio Mondiale (DRM)

El consorcio DRM es una organización sin ánimo de lucro formada por radiodifusores, proveedores de redes, fabricantes de equipos, Universidades e institutos de investigación, cuyo objetivo es la creación de un sistema de radiodifusión digital adecuado para radiodifusión de audio terrestre, se formó en china en el año 1997, su objetivo era digitalizar las bandas de radiodifusión inferiores a los 30 MHz (onda larga, onda media y onda corta), para el año 2001 el Instituto de Estándares Europeos de Telecomunicaciones (ETSI) publicó la especificación técnica para la radiodifusión por debajo de los 30 MHz, DRM30 y en mayo de 2003 se convirtió en estándar ES201980 (*Sistema digital Radio Mondiale, facultad ingeniera - UNAM*). (*Radio Mondiale: una oferta radial diferente en la era digital. Burnett, F, 2021*). Posee dos modos:

Modo DRM30: Tiene los modos de transmisión A, B, C, y D, diseñados para las bandas de AM, utilizando frecuencias por debajo de 30 MHz. (*Sistema digital radio Mondiale (DRM). facultad de ingeniería – UNAM, 2020*)

Modo DRM+: Es el modo E, diseñado para permitir la radiodifusión en la gama de 30 MHz a 174 MHz, donde se encuentra el FM. (*Sistema digital radio Mondiale (DRM). facultad de ingeniería – UNAM, 2020*)

1.4.1.2.1.3 Sistema en banda dentro del canal (IBOC)

Es un tipo de radio digital conocida como HD Radio, (IBOC, In-Band On-Channel) es una tecnología que permite a las emisoras de radiodifusión seguir transmitiendo la información por el canal de frecuencia asignado, es decir que la emisora puede seguir trabajando en la frecuencia de operación análoga asignada por el Ministerio de Comunicaciones, por eso su nombre “banda dentro del canal o IBOC” (Sistema en Banda dentro del Canal IBOC, In-Band On-Channel). (*La FM digital, sistema IBOC FM. Del Amo, L, 2006*).

Es un sistema de transmisión de señales de radio digital, que utiliza la misma frecuencia empleada por las emisoras de AM y FM, su particularidad es que utiliza la banda lateral superior y la banda lateral inferior de la frecuencia central de la emisora, es un sistema híbrido que permite la transmisión de radio digital y radio análogo utilizando la misma frecuencia. (*La FM digital, sistema IBOC FM. Del Amo, L, 2006*).

1.4.1.2.1.4 Radiodifusión Digital de Servicios Integrados (ISDB)

ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting) que significa Radiodifusión Digital de Servicios Integrados, hace referencia a un conjunto de normas creado por Japón para las transmisiones integradas de radio digital y televisión digital (*DIBEG-Digital Broadcasting experts group, n.d.*). La SDB-T (Transmisión digital de servicios integrados - Terrestre) es un nuevo tipo de sistema de transmisión digital que proporciona servicios de audio, video y multimedia, este sistema ISDB-T se estandarizó en la Asociación de Industrias y Negocios de Radio (ARIB) en Japón, el ISDB-T utiliza un método de modulación denominado transmisión segmentada en banda (BST) OFDM (*DIBEG-Digital Broadcasting experts group, n.d.*). (*Red Digital de Servicios Integrados, fundamentos, funcionalidad y servicios. López Meneses, J, 2006*)

1.4.1.3 Plan Técnico de Radiodifusión en Colombia

El Plan Técnico de Radiodifusión sonora en Colombia, establece la operación del espectro radioeléctrico asignado a este servicio, designa las condiciones técnicas para las distintas categorías de difusión y establece los criterios de estricto cumplimiento por parte de las emisoras de radiodifusión sonora para su respectiva operación. (*Artículo 37 Resolución 415 de 2010*).

1.4.2 Estado del arte.

A continuación, se presenta el estado del arte de la radiodifusión digital en el mundo.

1.4.2.1 Radio digital en Europa

Sería complemente fundamental estudiar cómo ha sido la evolución de la Radiodifusión digital en Europa, como es sabido, el proyecto Eureka 147 (DAB) fue impulsado por la Unión Europea de Radiodifusión (UER/EBU), al poco tiempo el European Telecommunication Standards Institute (ETSI) adopta este estándar como sistema único continental, ha tenido una serie de inconvenientes de tipo político y económico, impedimentos técnicos como la falta de receptores adecuados, el precio de comercialización, la fuerte competencia con la radio online, sin importar esta serie de inconvenientes, 15 países europeos como Alemania, Bélgica, Dinamarca, España, Francia, Irlanda, Italia, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza, cuentan con servicios regulados, otros 9 países se encuentran en pruebas o en proceso de regulación, son ellos Austria, Croacia, Eslovenia, Hungría, Lituania, Letonia, Mónaco, Ciudad del Vaticano y Rumanía y 8 países que tienen interés en su implementación, son ellos Eslovaquia, Estonia, Finlandia, Grecia, Portugal, Serbia, Turquía y Ucrania. (*La implantación de la radio digital en Europa. Ramos del Cano, F, 2015*).

Los países que lideran este proceso de desarrollo europeo del DAB son: Noruega, Suiza, Reino Unido, Alemania, Dinamarca, Países Bajos e Italia. Noruega fue el primer país del mundo que dejó de transmitir señales analógicas, en abril del 2015, con una cobertura del 99,5% y un 58% de audiencia, así mismo Reino Unido fijó formalmente una fecha para el apagado de la radio en FM analógica.

Noruega, Suecia y Suiza han hecho oficial su intención de adoptar el estándar DAB como protocolo oficial en su radiodifusión sonora, todas las estaciones suizas ya emiten a través de DAB+ y su cobertura alcanza porcentajes del 99%, tienen previsto un salto digital definitivo entre 2020 y 2024. En Italia la cobertura digital llega al 68% y es uno de los países en los que más peso ha cobrado el papel de la publicidad en el desarrollo de sus emisiones sonoras en digital, mientras que el lanzamiento de los receptores digitales en los Países Bajos se considera como el más exitoso de toda Europa, Dinamarca cuenta con una de las cifras más altas de usuarios DAB del mundo (el 40% de su población ya tiene acceso a esta tecnología), mientras que Alemania proyecta el 2025 como plazo límite. (*La implantación de la radio digital en Europa. Ramos del Cano, F, 2015*).

1.4.2.2 Radio digital en Estados Unidos

En Estados Unidos, pese a que el sistema Eureka 147 ha sido catalogado como uno de los más superiores e innovadores, según las pruebas hechas por la CEA (Consumer Electronics Association), la National Association of Broadcasters se opone a que Eureka 147 sea adoptado en EE.UU, dicha negativa está basada en la falta de nuevo espectro y preocupación porque el DAB pueda generar algún tipo de competencia, además que la banda L de DAB se encuentra entre las gama de frecuencias de uso militar, de igual forma que sería muy tedioso cambiar la gama de frecuencias establecidas para AM y FM. EE.UU desarrollo una solución más limitada en ancho de banda (originalmente llamada IBOC, In-band on-channel, pero ahora llamada HD Radio), utilizando las existentes emisoras de AM y FM. Esta tecnología es de desarrollo y propiedad de iBiquity Digital.

La tecnología llamada IBOC, In-band on-channel, pero ahora llamada HD Radio, fue desarrollada por la compañía iBiquity Digital y fue autorizado en el año 2002 por la FCC como método de difusión de radio digital en Estados Unidos, HD Radio se transmite principalmente en EEUU con más de 1900 estaciones de radiodifusión, que cubren aproximadamente el 84% del territorio norteamericano. México también adoptó la tecnología IBOC. (Qué ha pasado con la radio digital. López, T, 2019).

1.4.2.3 Radio digital en Asia

En Asia algunos países como la India, Indonesia, Malasia, Myanmar, Irán, Israel, Vietnam, están utilizando la DVB-T2 para sus emisiones de radio Digital, el cual es un estándar de transmisión de vídeo terrestre creado por DVB. Mientras que Rusia adoptó el estándar DRM30 y DRM+, aunque también está utilizando DVB-T2 para la radio digital, por su parte Singapur y Hong Kong realizaron pruebas en con el estándar DAB+ pero lo abandonaron en 2012 y 2017 respectivamente, Pakistán adoptó el estándar DRM30 y DRM+, Japón utiliza su sistema ISDB, Malasia, China, Taiwán, Corea del Sur y Kuwait realizan sus emisiones en DMB y en DAB+. (*La radio digital. Cortes, C, 2005*).

1.4.2.4 Radio digital en Oceanía

En Australia la transición de la radio analógica a digital inicio en 2007, cuando comenzó a realizar emisiones en DAB+, también realiza trasmisiones de radio digital en DVB-T2. Mientras que en Nueva Zelanda se realizaron pruebas en DAB y DAB+ hasta 2018, en la actualidad existente emisiones de radio digital en DVB-T. (*La radio digital. Cortes, C, 2005*).

1.4.2.5 Radio digital en África

Una gran parte de países africanos como Namibia, Kenia, Congo, Níger, Nigeria, Togo, Benín, Malawi, Madagascar, Seychelles, Santa Helena y Sudáfrica, están utilizando el DVB-T2 para transmisiones de radio digital, por su parte países como Argelia, Túnez, Mauricio, utilizan el estándar DVB-T para las emisiones de radio digital. (*La radio digital. Cortes, C, 2005*).

1.4.2.6 Radio digital en América Latina

En países como Chile y Perú no han decidido qué tipo de estándar de radio digital adoptar, por su parte Granada y Jamaica utilizan DVB-T para emisiones de radio digital, Trinidad y Tobago y Groenlandia utilizan el estándar DVB-T, países como Panamá, México, el salvador, Costa Rica y Brasil están implementado el estándar HD Radio (IBOC), el caso de Colombia como se indicó anteriormente, está pendiente por adoptar un estándar de Radio digital, aunque emite algunas estaciones de radio a través de la red de televisión digital terrestre. (*Radio digital en américa latina. Flores, C, 2015*).

1.5 MARCO METODOLÓGICO

1.5.1 Etapa 1: Planear:

En esta etapa se desarrollará la Planeación del proyecto, se diligenciará el formato para la presentación de la opción de grado.

1.5.2 Etapa 2: Hacer:

En esta etapa se realizan las siguientes actividades, teniendo en cuenta los objetivos planteados:

- O1: Analizar la infraestructura existente de radio analógica AM y FM en Bogotá, mediante la recopilación de ubicación geográfica y cuantificación de emisoras por localidades.

Este objetivo comprende las siguientes actividades:

- Buscar y documentar las emisoras que transmiten en AM en Bogotá

- Buscar y documentar las emisoras que transmiten en FM en Bogotá
 - Realizar una tabla que compile la situación actual de radiodifusión
 - Estudiar la situación actual de la radiodifusión en Bogotá
- O2: Caracterizar los diseños actuales de radiodifusión digital sonora en el ámbito internacional para establecer los dos estándares de radio digital a comparar.

Este objetivo comprende las siguientes actividades:

- Exponer las principales características de la radiodifusión digital emergente en la actualidad en otros países, tomando como referencia tipos de modulación, ancho de banda, cobertura, alcance.
 - Describir las bondades y desventajas que tiene cada estándar de radio digital, desde un punto de vista técnico.
 - Recopilar la historia y la adaptación, que otros países han realizado, para el proceso de implementación de esta nueva tecnología.
- O3: Establecer el diseño de las simulaciones de cobertura de radio difusión digital sonora que se realizarán, mediante la caracterización de los estándares seleccionados.

Este objetivo comprende las siguientes actividades:

- Buscar y documentar la información sobre el estándar de radiodifusión digital, adoptado en Europa.
 - Buscar y documentar la información sobre el sistema de radiodifusión digital, desarrollado y adoptado en EEUU.
 - Recopilar los modelos seleccionados, para establecer el diseño de la simulación.
 - Describir las características técnicas de los estándares que se tendrán en cuenta en la simulación.
 - Diseñar las simulaciones que se realizarán y el tipo de medición que se implementará.
- O4: Realizar simulaciones de radiodifusión sonora en Bogotá, teniendo en cuenta las características técnicas principales de los dos estándares a comparar.

Este objetivo comprende las siguientes actividades:

- Desarrollar la simulación de los estándares seleccionados, para emisoras en la banda de AM en Bogotá.
- Realizar la respectiva simulación, para las estaciones de radio que trabajan en FM, de acuerdo a los sistemas de radiodifusión digital escogidos.
- Simular los estándares de radio digital seleccionados en la banda de Frecuencia

- modulada, en la ciudad de Bogotá.
- Utilizando la aplicación Xirio, realizar la simulación de los sistemas digitales seleccionados en amplitud modulada en el distrito capital.

1.5.3 Etapa 3 Verificar

- O5: Analizar las mediciones realizadas en la simulación, para identificar el estándar de radiodifusión apropiado para la ciudad de Bogotá.

Este objetivo comprende las siguientes actividades:

- Determinar cuál de los estándares, presenta una mejor respuesta a las radiodifusiones en amplitud modulada en la ciudad de Bogotá.
- Observar el funcionamiento de los citados estándares, con respecto a la radiodifusión en frecuencia modulada.
- Realizar una comparación de los dos estándares de radiodifusión, desde un punto de vista tecnológico, para poder definir si es viable la utilización de alguna de estas dos tecnologías de radio digital en la ciudad de Bogotá y poder iniciar el ingreso a esta era digital.

1.5.4 Etapa 4. Actuar

Revisión de trabajo futuro

En esta etapa se analizará cómo se vinculan los resultados obtenidos al proyecto de Investigación macro de Minciencias y la CRC, al cual está adscrito este proyecto denominado: Recomendaciones regulatorias para un esquema de transmisión digital de radiodifusión sonora de acuerdo con las necesidades y recursos físicos de la radio en Colombia.

Adicionalmente se analizará cuál es el trabajo futuro que se puede derivar o que puede complementar el trabajo realizado.

CAPITULO II

2. ANÁLISIS DE LA INFRAESTRUCTURA DE RADIODIFUSIÓN ANALÓGICA EN BOGOTÁ

En este capítulo se analiza de forma detallada toda la infraestructura de la radiodifusión analógica en la ciudad de Bogotá, tanto para el sistema de frecuencia modulada como de amplitud modulada.

2.1 LA RADIODIFUSIÓN SONORA EN COLOMBIA

“La radiodifusión sonora es un servicio público de telecomunicaciones, a cargo y bajo la titularidad del Estado, orientado a satisfacer necesidades de telecomunicaciones de los habitantes del territorio nacional y cuyas emisiones se destinan a ser recibidas por el público en general”. (*Artículo 3° Resolución 415 de 2010*).

Colombia cuenta todavía con la tecnología de radiodifusión sonora analógica, pese a que muchos países, sobre todo en Europa comenzaron con el denominado “apagón analógico”, cabe resaltar que Colombia ha realizado grandes avances en la TDT (Televisión Digital Terrestre), pero, en cuanto a la adopción e implementación de algún tipo de estándar de radio digital, la nación no ha desarrollado ningún estudio técnico de viabilidad con respecto a esta nueva tecnología. (*Artículo 3° Resolución 415 de 2010*).

La resolución 415 de 2010 expresa una serie de normas para la prestación del servicio de radiodifusión sonora analógica, donde se clasifican los servicios y se indican cuáles son los compromisos y responsabilidades de cada una de las tecnologías de transmisión:

a) Radiodifusión en amplitud modulada (AM): Sucede cuando la señal portadora es modulada en amplitud para la transmisión de la señal. (*Artículo 3° Resolución 415 de 2010*).

b) Radiodifusión en frecuencia modulada (FM): Sucede cuando la señal portadora es modula en frecuencia o en fase para la transmisión de la señal. (*Artículo 3° Resolución 415 de 2010*).

c) Radiodifusión digital y nuevas tecnologías: Hacen parte todas las tecnologías de transmisión digital terrestre y vía satélite, de igual forma las que resulten de nuevos

desarrollos tecnológicos aplicados a la radiodifusión sonora, incluidas aquellas que permiten el uso compartido de las bandas de frecuencias atribuidas al Servicio de AM y FM, cuando sea reglamentado el servicio de radiodifusión digital o la utilización de nuevos estándares, MinTic entregará las concesiones de acuerdo con las condiciones consignadas en la presente resolución. (*Resolución 415 de 2010, MinTic*).

2.1.1 Clasificación del servicio de radiodifusión

La radiodifusión sonora en Colombia, se clasifica de acuerdo con la gestión del servicio y con la orientación de la programación. (Artículo 18 Resolución 415 de 2010), como se muestra en la figura 3 y se describe a continuación:

Figura 3

Clasificación de las emisoras en Colombia



Fuente. Tomada de (MinTic, 2022)

2.1.1.1 Gestión del servicio

Es la forma como el Estado presta el servicio, esto puede ser, directamente o por medio de terceros que están autorizados:

2.1.1.1.1 Directa: Cuando el servicio es prestado por el Estado o por corporaciones públicas como el sistema de medios públicos (RTVC), oficinas territoriales, las Instituciones educativas y la fuerza pública, o mediante el uso de permisos otorgados de forma directa por MinTic.

2.1.1.1.2 Indirecta: Cuando el Estado presta este servicio por intermedio de personas naturales o jurídicas colombianas, o en su defecto por empresas privadas.

2.1.1.2 Orientación de la programación

La orientación de la programación nos indica el tipo de identidad de cada estación y se ve reflejado en la selección de sus contenidos, se divide en radiodifusión sonora comercial, radiodifusión sonora comunitaria y radiodifusión sonora de interés público.

2.1.1.2.1 Radiodifusión Comunitaria: Servicio de radiodifusión de carácter público participativo y pluralista, se centra en satisfacer las necesidades de comunicación, de igual forma garantiza el ejercicio del derecho a la información y la participación mediante el uso de programas radiales desarrollados por diferentes sectores, fomenta el desarrollo social, la sana convivencia, el respeto por la democracia, la construcción de ciudadanía y fortalecimiento de las identidades sociales y culturales. (*Artículo 18 Resolución 415 de 2010*).

2.1.1.2.2 Radiodifusión Comercial: La radiodifusión comercial ofrece una programación orientada a satisfacer las costumbres y aficiones del oyente, este servicio se ofrece con ánimo de lucro, sin descartar el propósito educativo, recreativo, cultural, científico e informativo, al que siempre está orientado el Servicio de Radiodifusión en general. (*Artículo 18 Resolución 415 de 2010*).

2.1.1.2.3 Radiodifusión de interés público: Busca satisfacer las necesidades de comunicación por parte del Estado con toda la comunidad en general, así mismo, busca la defensa de los derechos constitucionales, la protección del patrimonio, tanto cultural como natural del país. (*Artículo 18 Resolución 415 de 2010*).

2.1.1.3 De acuerdo con el cubrimiento del servicio

El servicio está sujeto, al tipo de cubrimiento que pueda tener la señal emitida, puede ser zonal, zonal restringido y local restringido.

2.1.1.3.1 Cubrimiento Zonal: Son estaciones denominadas como clase A y clase B, las cuales están sujetas a la potencia de transmisión fijadas en el plan técnico, pueden cubrir grandes áreas, donde se pueden localizar varios municipios. (*Artículo 18 Resolución 415 de 2010*).

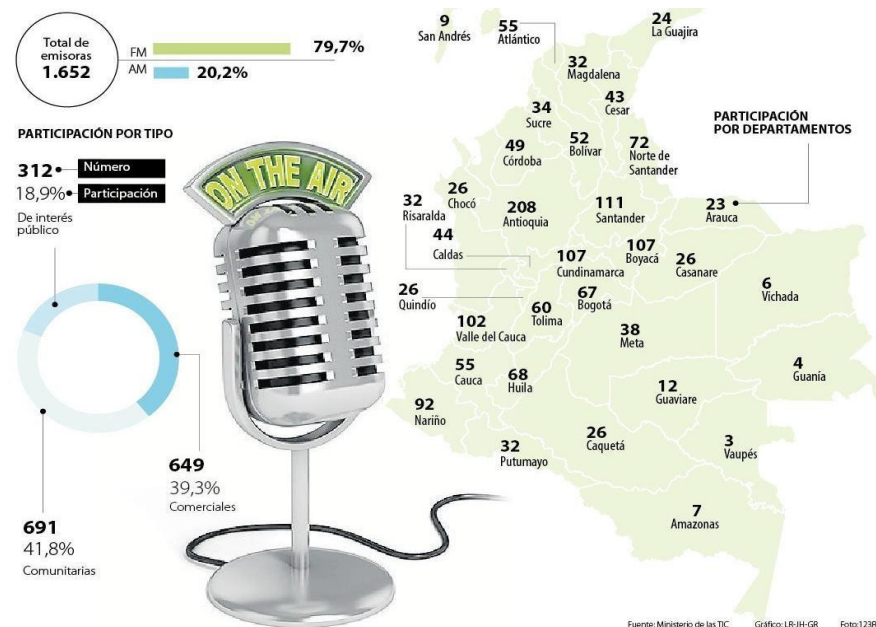
2.1.1.3.2 Cubrimiento Zonal Restringido: Son estaciones llamadas clase C, están destinadas principalmente a cubrir el municipio o distrito para el cual se concede la licencia, sin perjuicio que la señal pueda ser captada en las áreas rurales y urbanas de otros municipios. (Artículo 18 Resolución 415 de 2010).

2.1.1.3.3 Cubrimiento Local Restringido: Son estaciones clase D, orientadas a cubrir con parámetros restringidos áreas urbanas o rurales específicas dentro de un municipio o distrito, están obligadas a poner en práctica los mecanismos que determine el MinTIC, con el fin de garantizar la operación de la estación, para cumplir con los parámetros estipulados en el Plan de Radiodifusión Sonora. (Artículo 18 Resolución 415 de 2010).

2.1.2 Situación de las emisoras de radio a nivel Nacional

De acuerdo con las cifras del Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), el país cuenta en la actualidad con un total de 1.652 emisoras a lo largo del territorio nacional a fecha 31 de octubre de 2021 y la mayoría de ellas son comunitarias. (Pérez Godoy, M, 2022). En la figura 4, se expone el panorama de la radiodifusión en Colombia.

Figura 4
Mapa de las emisoras en Colombia



Fuente. Tomada de (Diario la Republica, 13 febrero 2022)

Según los datos de MinTic, Antioquia es el departamento que más emisoras registra, con un total de 208, que representan el 15,5% de participación nacional. Además, es importante resaltar que en este sector del país la mayor cantidad de diales pertenece a las emisoras comunitarias (92).

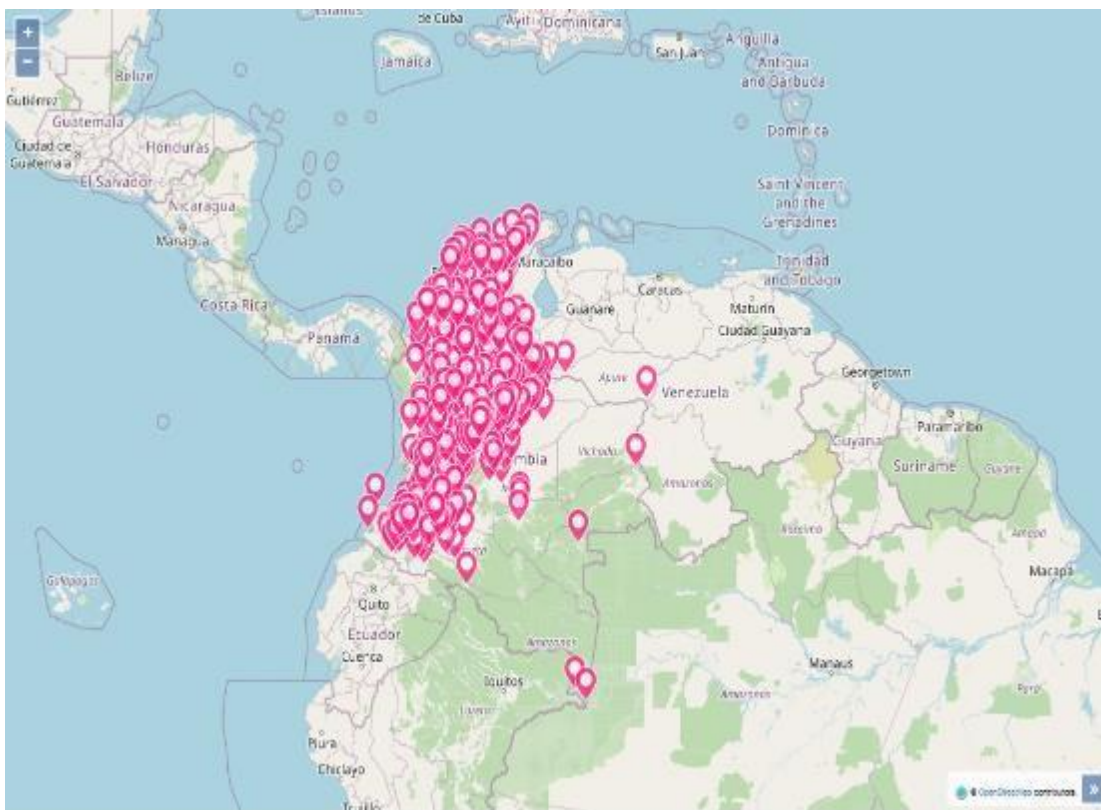
A nivel general, el mayor número de estaciones de radio, lo ocupan las emisoras comunitarias, con una participación de 41,8% y un total de 691 registros. A esta le siguen, las emisoras comerciales (39,3%) y las denominadas “de interés público” (18,9%). Cundinamarca, Santander y Valle del Cauca, también se encuentran en los primeros lugares, como los departamentos con más presencia de la radio a través de emisoras de radio; contrario a Vaupés, Guainía, Vichada y Amazonas, que son los departamentos que cuentan con menos cantidad. Los datos del MinTIC indican que, de las emisoras registradas en Colombia, 79,7% operan en frecuencia modulada (FM), mientras que el 20,2% restante pertenecen a amplitud modulada (AM).

De acuerdo con todos estos datos estadísticos, se puede ver una tendencia que va en aumento, ya que para el año 2017 Colombia contaba con 1598 emisoras, 352 de Amplitud Modulada y 1246 de Frecuencia Modulada. (López, J, 2017), para el año 2021 habían 1.652 y para el año 2022 se incrementó a 1705 estaciones radiales.

Sin importar que el acceso a la información se haya convertido en algo muy cotidiano, mediante el uso de teléfonos celulares, computadores conectados a internet, etc. La radio se ha mantenido vigente y continuará haciéndolo por mucho tiempo, una prueba de ello es el aumento de las emisoras de radio en Colombia, sin importar el uso de las nuevas tecnologías de información; ese crecimiento puede generar algún tipo de saturación del espectro radioeléctrico, fenómeno que puede ocasionar diversos inconvenientes a la hora de sintonizar alguna de estas estaciones de radio, presentes en el dial.

La figura 5 expone el mapa de distribución de las emisoras de radio analógica a nivel nacional, se puede observar claramente que la parte de mayor afluencia son la región pacífica, andina y caribe, mientras que la Orinoquía y la Amazonía poseen pocas estaciones de radio, lo que evidencia la saturación de las emisoras radiales, que ocupan una gran parte del espectro radioeléctrico. (*Emisoras de Colombia. Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 2022*)

Figura 5
Distribución de las emisoras de radio en Colombia



Fuente. Tomada de (MinTic, 2 junio 2022)

2.2 RADIODIFUSIÓN SONORA EN BOGOTÁ

Según el último censo del Dane, la capital de la república tiene más de 7 millones de habitantes (7.181.569), paradójicamente la población ha disminuido, ya que mucha ha migrado para municipios como Mosquera, Madrid, Funza y Soacha, entre otras. *(Hay más de 7 millones de habitantes en Bogotá, según cifras del censo. Diario El Tiempo, 05 de julio 2019).*

Bogotá, cuenta con 20 localidades ubicadas a lo largo y ancho de la sabana, algunas que superan el millón de habitantes como es el caso de Suba y Kennedy, siendo la localidad de Sumapaz la menos poblada, con un promedio de 6530 habitantes; Las localidades de Bogotá, son las siguientes en orden alfabético:

1. Localidad de Antonio Nariño
2. Localidad de Barrios Unidos
3. Localidad de Bosa
4. Localidad de Chapinero
5. Localidad de Ciudad Bolívar
6. Localidad de Engativá
7. Localidad de Fontibón
8. Localidad de Kennedy
9. Localidad de La Candelaria
10. Localidad de Los Mártires
11. Localidad de Puente Aranda
12. Localidad de Rafael Uribe Uribe
13. Localidad de San Cristóbal
14. Localidad de Santa Fe
15. Localidad de Suba
16. Localidad de Sumapaz
17. Localidad de Teusaquillo
18. Localidad de Tunjuelito
19. Localidad de Usaquén
20. Localidad de Usme

En la figura 6 se muestra la distribución de las 20 localidades de la ciudad de Bogotá, a lo largo y ancho de la sabana.

Figura 6
Localidades de Bogotá



Fuente. Tomada de (Pinterest, 2016)

En las localidades descritas de la ciudad de Bogotá existen una gran variedad de emisoras de acuerdo con la orientación de la programación; comerciales, comunitarias, de interés público y una gran cantidad de estaciones que funcionan de forma virtual, todas ellas ofrecen una gran variedad de programación que busca satisfacer a una gran audiencia que se levanta cada día, con el deseo de estar bien informado o quienes usan este medio de comunicación a la hora de enfrentarse a los problemas de movilidad propios de las grandes urbes.

De esta forma, la capital de la república, como toda ciudad moderna, cuenta con una gran cantidad de emisoras de radio, tanto en la banda de amplitud modulada como en frecuencia modulada, estaciones encargadas de brindar un amplio repertorio, desde programas musicales, noticias, entretenimiento, deportes, etc.

2.2.1 Emisoras de Amplitud modulada en Bogotá

De acuerdo con la clasificación de emisoras del MinTic, una emisora AM es aquella donde la señal análoga se modula en amplitud para ser transmitida. (*Clasificación de las emisoras. MinTic, 2022*). En este sentido, la amplitud modulada, se puede definir como un tipo de modulación no lineal, donde se hace variar la amplitud de una onda de alta frecuencia, llamada onda portadora, de tal forma que cambie de acuerdo con las variaciones de nivel de la señal moduladora (audio), que es la información que se va a transmitir.

Las emisoras de AM ofrecen una mayor cobertura en comparación con las emisoras de FM, pero su ancho de banda es más reducido, por tal motivo las estaciones de AM pueden cubrir grandes distancias, por su modo de propagación, de onda de superficie, permitiendo que la señal modulada viaje a ras de tierra, haciendo uso de gran potencia, por el orden de los Kilovatios y su señal no es tan nítida como las señales de FM.

En Colombia y más específicamente en Bogotá, se utiliza la onda media, ya que se trabaja en la gama de 535 kHz a 1705 kHz, banda en la cual irradian todas las emisoras pertenecientes a la capital, de igual forma la Agencia nacional del espectro (ANE) mantiene una supervisión constante en cuanto a la implementación de las nuevas estaciones de radio, en aras de garantizar el buen funcionamiento del espectro radioeléctrico, como se encuentra consignado en la *Resolución No. 348 del 21 de julio de 2021*:

“Para las emisoras de radiodifusión en Amplitud Modulada (A.M.) están definidos los siguientes parámetros técnicos: frecuencia de operación, la potencia de radiación,

ubicación del sistema de radiación, tipo de emisión y ancho de banda, así mismo los establecidos en los literales 4.25.0 y 5.26 del documento del Plan Técnico Nacional de Radiodifusión Sonora en Amplitud Modulada (AM)". (*Resolución No. 348 del 21 de julio de 2021, MinTic*)

Las emisoras de radiodifusión analógica que transmiten en la gama de AM, utilizan la propagación por onda de superficie y además utilizan potencias elevadas en el orden de los kW, son prácticamente estaciones de radio a nivel nacional, de acuerdo a las condiciones atmosféricas y topográficas existentes, estas pueden viajar grandes distancias. Generalmente las antenas transmisoras de AM o torres de radiodifusión están ubicadas en zonas alejadas de la población, por motivos de contaminación por radiación electromagnética, como es el caso de la emisora Uniminuto Radio Bogotá, que transmite en los 1430 KHz, con una potencia de 5kW, sus trasmisores están ubicados en la vereda Tibaitatá del municipio de Mosquera, al igual que los trasmisores de caracol radio, la mayor cantidad de torres de radiodifusión están ubicadas en los cerros orientales de Bogotá, cubriendo así todo el territorio de la capital de la Republica y gran parte del territorio nacional.

En la actualidad existen 32 estaciones de radio en amplitud modulada, trabajando en la ciudad de Bogotá, las cuales están distribuidas por todo el dial (535 kHz a 1705 kHz), iniciando con HJKA Radio auténtica en la frecuencia de 540 kHz y terminando con HJQT Candela, en la frecuencia 1580 kHz. (*Emisoras de Bogotá D.C. en Vivo*). La potencia de transmisión varía de acuerdo al área de cobertura, van desde 5 kW hasta 250 kW de potencia, la estación que tiene la potencia más baja es la emisora punto 5, con una potencia de 4kW, mientras que las estaciones de radio melodía estéreo y RCN radio, transmiten con 100kW de potencia, garantizando una cobertura a nivel nacional, cabe indicar que dichos transmisores se encuentran ubicados en zonas seguras, generalmente un poco alejadas de las zonas urbanas, debido a su gran radiación de potencia que puede generar problemas de salud en la población.

La figura 7 muestra de forma gráfica, las emisoras de amplitud modulada existentes en Bogotá, indicando la frecuencia de trabajo y algo particular es el código de colores, que indica el tipo de emisora, que puede ser comercial, universitaria, de interés público, radio televisión nacional de Colombia y religiosa, se puede observar que existe una gran cantidad de emisoras de carácter religioso, las cuales están indicadas por el color verde, color azul emisoras comerciales, color amarillo emisoras universitarias, color marrón de interés público y finalmente en color rojo las estaciones pertenecientes a la RTVC (Radio televisión nacional de Colombia) Sistema de medios públicos. (*Emisoras de radio en Bogotá. World radio map, 2022*).

Figura 7
Emisoras de AM en Bogotá

					
HJKA 540	HJND 570	HJKL 610	HJKH 650	HJCZ 690	HJCU 730
					
					
HJXJ 770	HJCY 810	HJKC 850	HJCE 890	HJCS 930	HJCI 970
					
					
HJCC 1010	HJCG 1040	HJCG 1070	HJCN 1100	HJVA 1130	HJOC 1160
					
					
HJCV 1190	HJKR 1220	HJCA 1250	HJKN 1280	HJIZ 1310	HJFB 1340
					
					
HJKX 1370	HJKM 1400	HJKJ 1430	HJWJ 1460	HJBS 1490	HJLI 1520
					
					
HJZI 1550	HJQT 1580				
					
COMERCIAL	UNIVERSITARIA	INTERÉS PÚBLICO	RTVC	RELIGIOSA	

Fuente. Tomada de (Foromédios, Noviembre 2020)

Algunas desventajas destacadas del AM son la afectación por diversos fenómenos atmosféricos y señales electrónicas con frecuencias parecidas, también es susceptible a interferencias ocasionadas por los aparatos electrónicos tales como motores y generadores. (Ventajas y desventajas de la Amplitud Modulada (AM). Ladino Marín, P, 2017).

2.2.2 Emisoras de Frecuencia modulada en Bogotá

“Frecuencia Modulada FM: Sucede cuando la portadora, generalmente una señal de alta frecuencia se modula en fase o en frecuencia para la transmisión.” (*Clasificación de las emisoras. MinTic, 2022*). La Frecuencia Modulada es un sistema de transmisión de radio, donde la onda portadora se modula de forma que su frecuencia varíe según la señal de audio transmitida, tiene varias ventajas sobre el sistema AM, como su mayor resistencia a interferencias de distinto origen y su alta fidelidad de sonido.

A diferencia del AM, el FM se puede catalogar como una estación de tipo local, por la naturaleza de su propagación, línea de vista, su alcance es mucho más reducido en comparación con el AM, siendo atenuada su señal por los distintos accidentes geográficos, como por ejemplo las elevaciones del terreno, edificios, etc.

En la ciudad de Bogotá existen 45 emisoras que trabajan en frecuencia modulada, de las cuales en su mayoría son comunitarias y de carácter comercial, una gran particularidad de las emisoras comunitarias, es que transmiten con una potencia que oscila entre 30 y 50 W, inclusive algunas trabajan en la misma frecuencia como es el caso de Suba al Aire y Ambiente estéreo que transmiten en la frecuencia 88.4 MHz, con la salvedad que Suba al aire emite su señal con una potencia de 30 vatios y su zona de cubrimiento es la parte norte de la localidad de Engativá, mientras que ambiente estéreo también trabaja en el dial 88.4 MHz, con una potencia de 50 W, pero irradia su señal sobre las localidades de Santa Fe, La Candelaria, Los Mártires, Puente Aranda y Antonio Nariño, cubriendo parte de las localidades del sur de Bogotá.

La situación de la radiodifusión en frecuencia modulada en Bogotá es muy similar a la amplitud modulada, con la diferencia que son estaciones locales que solo transmiten para la sabana de Bogotá, viéndose atenuadas sus emisiones por la naturaleza de su propagación en línea vista, presentando un alcance mucho más reducido.

Las estaciones de radio comunitarias que trabajan en Bogotá, son generalmente locales, tanto así que pueden compartir la misma frecuencia de trabajo, pero utilizando una baja potencia en sus transmisores, mientras que las emisoras de carácter comercial utilizan una mayor potencia que oscila entre 15 kW y 100 kW de potencia, alcanzando una mayor cobertura, dichas emisiones llegan inclusive a municipio circunvecinos de la capital, como es el caso de localidades como Funza, Mosquera, Madrid, Cota, Soacha, etc. (*Emisoras de radio en Bogotá. World radio map, 2022*).

En la figura 8 se puede apreciar las emisoras de radio de FM que emiten sus ondas de radiofrecuencia en la ciudad de Bogotá, según un reciente estudio de audiencias radiales (ECAR), el top 10 de las emisoras más escuchadas en Bogotá son:

Olimpica Estéreo, Caracol Radio, La Mega, Tropicana, Radio Uno, W Radio, Blu Radio, Radio Tiempo, El Sol, Candela Estéreo.

Figura 8
Emisoras de FM en Bogotá



Fuente. Tomada de (Foromédios, septiembre 2014)

2.2.3 Cuadro comparativo emisoras AM y FM en Bogotá

Las emisoras de radio que operan en frecuencia modulada y en amplitud modulada, presentan distintas características desde el punto de vista técnico, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Comparación emisoras de AM y FM.

	AM (Amplitud modulada)	FM (Frecuencia modulada)
Calidad de sonido	Baja calidad de sonido por su estrecho ancho de banda de tan solo 10 KHz	Doble ancho de banda hasta 20 KHz
Ruido	Es afectado por los ruidos del ambiente, los cuáles se filtran en la comunicación.	Presenta mejor respuesta a los ruidos exteriores, los cuales no afectan la calidad del sonido.
Gama de frecuencias	540 KHz – 1600 KHz	88 MHz – 108 MHz
Alcance	Mayor alcance, cientos de kilómetros	Menor alcance, decenas de kilómetros.
Localidad 1-5	Todas las emisoras de AM	32 emisoras de FM
Localidad 6-10	Todas las emisoras de AM	30 emisoras de FM
Localidad 11-15	Todas las emisoras de AM	34 emisoras de FM
Localidad 16-20	Todas las emisoras de AM	35 emisoras de FM

Fuente: Autor

Se puede notar que son muchas las estaciones de radio pertenecientes a la ciudad de Bogotá, tanto en AM como en FM, mencionado factor puede generar problemas a la hora de la sintonización de dichas estaciones, sobre todo las emisoras de FM de carácter comunitario, que comparten la misma frecuencia, pese a que están utilizando una baja potencia y se encuentran ubicadas en distintos sectores de la ciudad, pueden interferir entre ellas, ocasionando la superposición de éstas, afectando de manera activa el buen funcionamiento del espectro radioeléctrico.

CAPITULO III

3. SISTEMAS DE RADIODIFUSIÓN DIGITAL

En este capítulo se estudia de forma detallada, los sistemas de radiodifusión digital existentes en la actualidad.

3.1 ESTÁNDARES DE RADIODIFUSIÓN DIGITAL.

En la actualidad un gran número de países se encuentran en la transición de la radiodifusión analógica a la radiodifusión digital, por tal razón es importante conocer las características de estas nuevas tecnologías. Con la digitalización de los procesos en la transmisión de la información, se busca, mejorar la calidad del servicio que llega al oyente, de igual forma, optimizar la eficiencia en la transmisión. Algunas ventajas de la radio digital con respecto a la radio analógica van desde una mejor calidad del audio, una mayor respuesta a las interferencias, un mejor aprovechamiento del espectro radioeléctrico, hasta una cobertura similar utilizando menos potencia, entre otras.

En la radiodifusión digital, la señal que conocemos como portadora, continúa siendo una señal analógica de alta frecuencia, sin embargo, la señal moduladora (información) cambia a un formato digital, es decir, la información transmitida es digital sin importar el canal empleado en la emisión. (*Estándares de radiodifusión digital en FM - Fundamentos de digital en FM. Torres Cuenca, A, 2017*)

La radio digital en Colombia es toda una novedad, pese a que algunas estaciones de radio, sobre todo en frecuencia modulada, hablan de sonido digital, la realidad es otra, Colombia no posee estaciones de radio digital, inclusive hasta el momento no ha adoptado ninguno de los estándares de radio digital existentes en otros países. Con todo lo anteriormente indicado, la finalidad de este proyecto de investigación es el análisis del contexto de la radiodifusión digital, propuesta para viabilizar un estándar de radio digital en Bogotá, derivado del proyecto macro de la Comisión de Regulación de Comunicaciones - Minciencias: *“Recomendaciones regulatorias para un esquema de transmisión digital de radiodifusión sonora de acuerdo con las necesidades y recursos físicos de la radio en Colombia”*. Proyecto que se encuentra en proceso.

Pese a la existencia de 4 estándares de radio digital, los cuales están siendo implementados en una gran cantidad de países, especialmente europeos, Colombia y gran parte de países africanos, lo mismo que países asiáticos, utilizan la plataforma de

televisión digital terrestre europea DVB-T (Digital Video Broadcasting Terrestrial), difusión de video digital terrestre, para realizar transmisiones de radio digital, para el caso de Colombia, un total de 6 emisoras van por esta red de televisión digital, lo que implica que estas estaciones de radio, son recibidas por los receptores de televisión digital, mas no en los receptores de radio convencionales (radios analógicos). (*TDT Televisión Digital Para Todos, 2018*).

Existen principalmente 4 estándares de radio digital creados en Europa, Norte América, y Asia, mencionadas tecnologías están siendo adoptados y en fase de implementación por una gran cantidad de estados a lo largo del mundo, ellos son:

- Sistema de radiodifusión de audio digital (DAB)
- Sistema digital de radio Mondiale (DRM)
- Sistema en banda dentro del canal (IBOC)
- Radiodifusión digital de servicios integrados (ISDB)

3.1.1 Sistema de radiodifusión de audio digital (DAB)

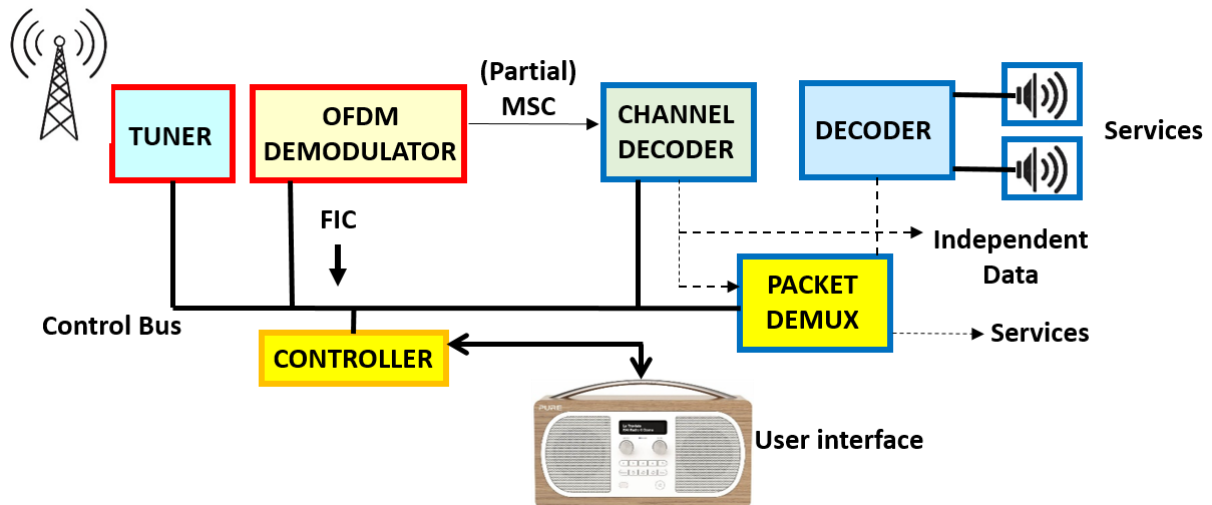
Es un sistema de radio digital creado en la Unión europea, en el año 1987, inició como un proyecto llamado Eureka 147, DAB se puede considerar como el pionero de los estándares de radio digital, en la actualidad es el estándar aprobado y que se encuentra en fase de implementación en el viejo continente.

El Sistema de radiodifusión de audio digital (DAB) utiliza una gama de frecuencias diferentes a las actuales, convirtiéndose en una de sus principales desventajas, siendo necesaria la adquisición de equipos nuevos, que generalmente son costosos, lo que implica que los receptores analógicos de AM y FM no funcionan con esta nueva tecnología, el rango de frecuencias va de 174 MHz a los 240 MHz (en banda III) y entre 1452 MHz y 1492 MHz (en banda L). Sin importar esta desventaja, el estándar DAB supera a los demás estándares en cuanto a calidad, ya que ofrece mayor nitidez y presenta una alta inmunidad a las interferencias.

La última versión de este estándar es el DAB+, el cual es empleado para el rango de VHF para radio digital, utiliza la codificación del audio MPEG-4 (AAC) en lugar de MP3, dando como resultado una mayor compresión de la señal por ende una mejor calidad, en el DAB también existe la tecnología DMB (Digital Multimedia Broadcasting), sistema para transmitir video, audio y datos utilizada en dispositivos móviles. (*Estándares de radiodifusión digital en FM - Fundamentos de digital en FM. Torres Cuenca, A, 2017*).

En la figura 9 se puede evidenciar el diagrama en bloques de un equipo receptor para sistema de radiodifusión de audio digital (DAB).

Figura 9
Diagrama en bloques receptor DAB



Fuente. Tomada de (Estándares de radiodifusión digital en FM, Torres Cuenca A; Huilca Badillo A, 2017)

El sistema DAB está diseñado para receptores domésticos, portátiles y móviles, su difusión se puede realizar vía satélite o terrestre, tanto del audio como de los datos asociados, una gran particularidad de esta tecnología es que no tiene ningún problema cuando llegan muchas señales al tiempo, desde diferentes puntos, ya que todas las reflexiones, dispersiones y difracciones no afectan la señal, porque el sistema DAB consigue que la mayoría de las señales que ingresan en el receptor se sumen, contribuyendo de forma positiva en la recepción.

La calidad del sistema DAB es muy parecida a la de un disco compacto, puede transmitir 6 programas por el mismo múltiplex, siendo necesario reducir la calidad de la información, disminuyendo el ancho de banda y eliminando aquella información que el oído no puede escuchar, con el propósito de mantener una calidad adecuada para la transmisión, suficiente para un oído medio.

El estándar DAB se basa principalmente en dos principios, uno de ellos es la codificación en la fuente, que originalmente se llamó Musicam y que después se denominó MPEG2 o MP2, el cual es muy parecido al MP3, pero que requiere menor capacidad de procesamiento, fundamentalmente tiene la capacidad de reducir la información que el

oído no reconoce, cuando existen dos señales muy cercanas en frecuencia, pero que una de ellas tiene mayor intensidad que la otra, entonces la señal que tiene menor intensidad queda oculta, siendo imposible escucharla, Lo que hace el sistema es eliminar todo ruido o sonido que el oído no pueda percibir, consiguiendo así la disminución del ancho de banda requerido para transmitir, permitiendo la transmisión de hasta 6 programas por el mismo canal.

El otro principio es el canal de transmisión COFDM, el cual es un múltiplex por división de frecuencias ortogonales, el sistema utiliza diversidad en el tiempo que se logra mediante un entrelazado en el tiempo de toda la información, permitiendo recuperar la información que se pueda perder, también utiliza la diversidad en frecuencia que permite que la información se distribuya de forma discontinua en todo el canal permitiendo que las perturbaciones no afecten la señal y con la diversidad en el espacio se puede enviar desde distintos transmisores para que todos contribuyan en la creación de una red de frecuencia única. (*El Sistema DAB. J.M. Huerta, 2002*).

Algunas de las principales características del sistema DAB son:

- Eficiencia en la utilización del espectro radio eléctrico y la potencia a utilizar.
- Mejora la recepción en las transmisiones multitrayecto, que se ve afectada por fenómenos como reflexión, refracción, difracción, etc.
- Se puede distribuir la señal mediante enlaces vía satélite, terrestres o a través de medios alámbricos, que son detectados de forma automática.
- La calidad del sonido es comparable con la fidelidad de un disco compacto.
- Multiplexado que permite seleccionar entre varios programas de audio o servicios de datos.
- Permite transmitir hasta 6 programas en estéreo de 192 kbit/s cada uno, de forma simultánea.
- Los servicios tienen la flexibilidad de estructurarse y configurarse de forma dinámica, ya que el sistema puede organizar las velocidades de transmisión entre 8 y 380 kbit/s.
- Aparte de la transmisión de la señal de audio digital, también se transmiten otras informaciones de texto relacionadas.

- Los mensajes escritos se visualizan a través de una pantalla que viene incorporada en el receptor.

Finalmente, es importante mencionar que en la mayoría de los países de la Unión Europea, los vehículos nuevos, traen incorporados receptores de radio digital con la tecnología DAB, los cuales cuentan con un sistema bluetooth y GPS, de igual forma la sintonización de las emisoras es automática, es decir, cuando una estación de radio pierde cobertura, inmediatamente el receptor, sintoniza una nueva estación, lo cual disminuye el índice de accidentalidad. Algunos de los vehículos más vendidos son de la marca Renault, Volvo, Mercedes, BMW, entre otros. Algunas marcas de radio digital para vehículos con sistemas DAB son: Blaupunkt, Pioneer, New Majestic, Alpine, Sony, etc. *(La radio digital. Este es el panorama en Europa. Barrios Arce, J, 2018)*

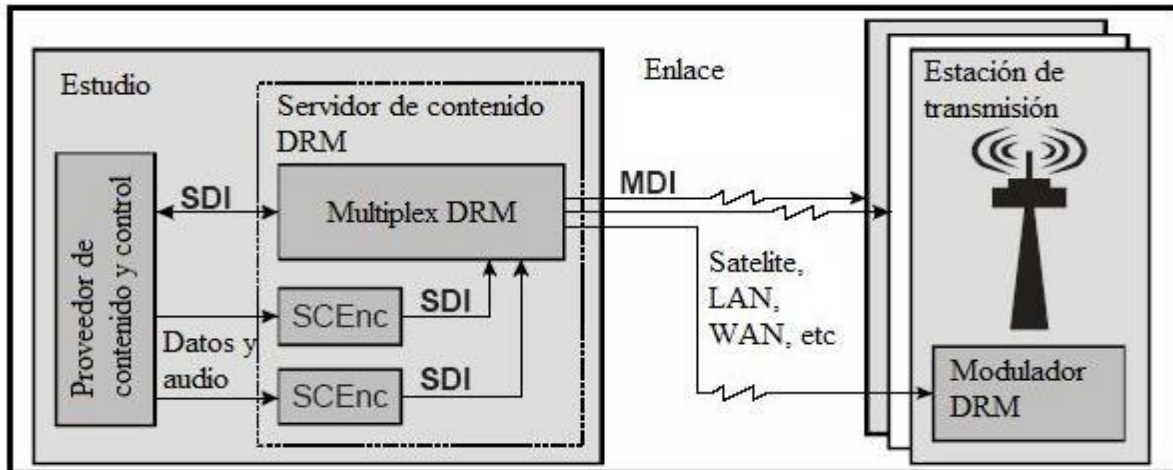
3.1.2 Sistema digital de radio Mondiale (DRM)

Es un sistema de radiodifusión digital creado por el consorcio DRM (Digital Radio Mondiale), el cual es una organización sin ánimo de lucro conformada por radiodifusores, proveedores de redes, fabricantes de equipos, Universidades e institutos de investigación, cuyo objetivo radicaba en la creación de un sistema de radiodifusión digital, que satisficiera la radiodifusión de audio terrestre, se desarrolló en china alrededor del año 1997, la finalidad en un principio era digitalizar las bandas de radiodifusión inferiores a los 30 MHz (onda larga, onda media y onda corta), donde se encuentra el AM comercial (570 KHz – 1600 KHz). *(Sistema digital radio Mondiale (DRM). facultad de ingeniería – UNAM, 2020)*

Este sistema de radiodifusión digital respeta las bandas de transmisión actuales, así mismo ofrece dos modos de transmisión que se ajustan a las necesidades de programación requeridas por el emisor; El primero es el modo DRM30, el cual fue diseñado para la radiodifusión de amplitud modulada o señales por debajo de 30 MHz y el segundo es el modo DRM+, diseñado para transmitir en las bandas de radiodifusión de VHF, donde se encuentra el FM comercial (88 MHz – 108MHz). Una gran particularidad del sistema DRM es que puede transmitir la señal dentro de las bandas y canales asignados, es decir, utiliza las mismas frecuencias que la radiodifusión analógica. *(Sistema Digital Radio Mondiale (DRM). Facultad de Ingeniería – UNAM).*

La figura 10 muestra el diagrama en bloques de un transmisor de sistema de radio digital DRM.

Figura 10
Diagrama en bloques Transmisor DRM



Fuente. Tomada de (docplayer.es, 2013)

Modo DRM30: Posee los modos de transmisión A, B, C, y D, diseñados para las bandas de AM, utilizando frecuencias por debajo de 30 MHz. (*Sistema Digital Radio Mondiale (DRM)*. Facultad de Ingeniería – UNAM).

Modo DRM+: Es el modo E, diseñado para permitir la radiodifusión en la gama de 30 MHz a 174 MHz, donde se encuentra el FM. (*Sistema Digital Radio Mondiale (DRM)*. Facultad de Ingeniería – UNAM). Como se muestran en la figura 11.

Figura 11
Modos transmisión estándar DRM

Sistema	Modo	Intervalo de guarda [ms]	Separación entre portadoras [Hz]	Opciones de ancho de banda [kHz]	Usos típicos
DRM 30	A	2.66	41.6667	4.5, 5, 9, 10, 18, 20	LF y MF ondas de superficie, banda de 26 MHz línea de vista
	B	5.33	46.8823	4.5, 5, 9, 10, 18, 20	HF y MF onda ionosférica
	C	5.33	68.2128	10, 20	Canales complicados por onda de tierra en HF
	D	7.33	107.1811	10, 20	Onda de cielo de incidencia casi vertical
DRM+	E	0.25	444.4444	100	VHF transmisiones en bandas de 30MHz a la banda III

Fuente. Tomado de (Facultad de Ingeniería – UNAM, 2017)

En 2002 la Unión Internacional de Telecomunicaciones aceptó al sistema DRM30, bajo la recomendación ITU-R BS.1514 [BS.1514]; ya en 2003 fue clasificado como estándar internacional por la International Electrotechnical Commission [IEC 62272], y en junio del 2003 se hizo la primera transmisión de carácter comercial haciendo uso del estándar DRM; Para aquel entonces el estándar solo operaba en radiodifusión de AM, utilizando la onda larga, onda media y onda corta, con lo cual DRM fue el único sistema de radio digital certificado para transmisiones en todas las bandas de onda corta [BS.1514]. (Sistema digital Radio Mondiale, facultad ingeniera - UNAM).

Para marzo del 2005, DRM decidió extender el estándar DRM30 para las bandas de radiodifusión de VHF más conocido como DRM+, después de un arduo trabajo de laboratorio y de campo, en 2009 se publicó la especificación extendida del sistema DRM ETSI ES 201 980 v3.1.1 [ES 201980].

Con referencia a la codificación de fuente, el sistema DRM suministra tres diferentes códec, donde su uso depende de la capacidad de transmisión de datos que permita la banda de transmisión, protección contra errores que se requiera y el tipo de información que se vaya a transmitir. Mencionados códec son del estándar MPEG4, los formatos de archivo de audio son AAC (Advanced Audio Coding) Codificación de audio avanzada, CELP (Code excited linear prediction) predicción lineal excitada por código y HVXC (Harmonic vector excitation coding) codificación de excitación vectorial armónica, mientras que para la fase de codificación del canal se utiliza la técnica de modulación COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division multiplexing) multiplexación por división de frecuencia ortogonal codificada, esta combina la codificación convolucional y la modulación OFDM para generar un alto nivel de protección contra errores; de igual forma, para modular cada sub portadora OFDM, también se puede utilizar la modulación de amplitud en cuadratura 64QAM, 16QAM o 4QAM, permitiendo obtener distintas velocidades de transmisión dentro de un mismo canal. (*Sistema digital Radio Mondiale, facultad ingeniería - UNAM*).

Algunas ventajas significativas del sistema de radiodifusión digital DRM son:

- Eficiencia en el uso del espectro radioeléctrico, porque utiliza redes de frecuencia única (SFN), que pueden cubrir grandes distancias haciendo uso de una sola frecuencia de transmisión.
- Las emisiones en AM cuentan con una calidad de audio similar al FM estéreo actual.
- Transmisión de datos como texto e imágenes, referentes al programa.
- Sintonización rápida de estaciones, ya que se basa en el nombre de la emisora y no en la frecuencia.

- Existe una disminución en cuanto a costos, porque utiliza una menor potencia de transmisión.
- Permite la transmisión de la señal digital y la señal analógica.
- En transmisiones de FM permite enviar 4 programaciones distintas por el mismo canal.
- Se reduce el consumo de energía en un 40% o 50%, por ser una señal digital.

3.1.3 Sistema en banda dentro del canal (IBOC)

Este sistema de radiodifusión digital surgió en los Estados Unidos, por la necesidad de migrar de la radio análoga a la radio digital, en los años 90s cuando se presentó el estándar europeo Eureka-147 (DAB), que imponía la migración de las emisoras de radio para un nuevo canal de frecuencias dentro de la banda III (174 MHz a los 240 MHz) y la banda L (1452 MHz y 1492 MHz) del espectro radioeléctrico, condición necesaria para iniciar con las pruebas de las transmisiones de radio digital, esta situación representó un gran inconveniente para el país Norteamericano ya que la banda L del espectro está reservada para uso militar, de igual forma las estaciones de radio no estaban dispuestas a cambiar la frecuencia en la que estaban trabajando, por el riesgo de confusiones y la posible pérdida de audiencia, razón por la cual, la FCC (Comisión Federal de Comunicaciones) determinó que el sistema más adecuado para la transición de tecnología analógica a digital, era aquel que permitiera una transmisión híbrida, en banda y dentro del canal (IBOC, por sus siglas en inglés); Es decir, aquella que permitiera transmitir la señal digital en la banda asignada para la radiodifusión analógica y que no fuera necesario el cambio de frecuencia. *(Sistema en Banda dentro del Canal IBOC, In-Band On-Channel, Facultad de Ingeniería - UNAM).*

En el año 1994 tres compañías estadounidenses; USA Digital Radio Partners, Lucent Digital Radio y Digital Radio Express crearon tres tipos diferentes de estándar IBOC, el gran inconveniente fue que los sistemas creados no eran compatibles entre sí, entonces el NRSC, National Radio Systems Committee creó un subcomité de radio digital para evaluar dichos sistemas y así emitir una opinión acerca de cuál era el más apropiado y ser adoptado. Los primeros resultados de las pruebas realizadas por dicho subcomité fueron entregados a la NRSC en el año 1999, el 12 de julio de 2000 las compañías USA Digital Radio Partners y Lucent Digital Radio se unieron y formaron la "iBiquity Digital Corporation", allí utilizaron lo mejor de cada sistema desarrollado por cada una de las empresas para crear una nueva tecnología (Sistema en banda dentro del canal IBOC, In-Band On-Channel). La figura 12 muestra la adopción del sistema IBOC a nivel mundial. *(Sistema en Banda dentro del Canal IBOC, In-Band On-Channel, Facultad de Ingeniería - UNAM).*

Figura 12

Adopción del sistema IBOC a nivel mundial



Nota. Países que han adoptado el estándar IBOC a nivel mundial. Tomada de (Facultad de Ingeniería – UNAM, 2017)

Para el año 2001, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU, International Telecommunication union) aprobó al sistema IBOC AM como estándar universal y en agosto de 2002, aprobó al sistema IBOC FM y el 10 de octubre de 2002 la FCC adoptó la tecnología IBOC como estándar de radio digital para Estados Unidos. (*Sistema en Banda dentro del Canal IBOC, In-Band On-Channel, Facultad de Ingeniería - UNAM*).

El sistema IBOC como la gran mayoría de estándares de radio digital, tiene la capacidad de suministrar audio digital y datos que pueden estar asociados o no a la programación, los datos asociados al programa pueden ofrecer el título del anuncio o nombre de la canción, autor, nombre de la emisora, etc. También puede contener información que no está asociada al programa y se utiliza para ofrecer servicios que se puedan localizar cerca de donde se encuentra el radioescucha.

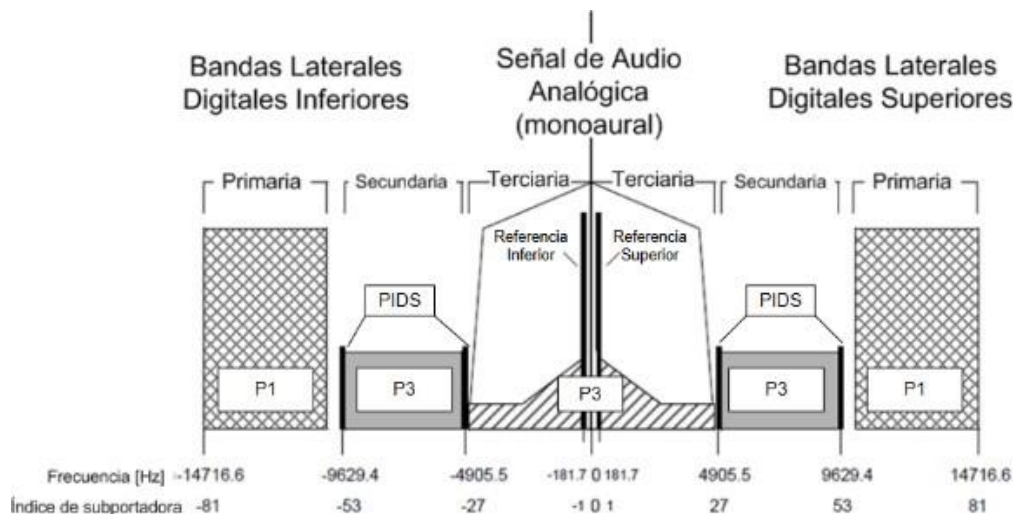
IBOC tiene dos tipos de datos durante la radiodifusión, el primero brinda toda la información que se encuentra relacionada con el programa que se está escuchando, mientras que el segundo suministra los datos de información de la emisora, como la información necesaria por parte del receptor para la debida sintonización, también para ofrecer diferentes servicios cercanos o para el envío de datos que no hacen parte del programa. (*Sistema en Banda dentro del Canal IBOC, In-Band On-Channel, Facultad de Ingeniería - UNAM*).

El funcionamiento del sistema IBOC está desarrollado con base en el modelo OSI (Open System Interconnection) [NRSC-5B], modelo que se basa en una serie de capas creadas para realizar las funciones específicas durante el proceso de producción, transmisión y recepción de la información, las capas utilizadas son: La capa 4, que se encarga de la codificación del audio, la capa 2, encargada de recibir los datos y el audio, que serán luego retransmitidos y otorgarle el formato más apropiado y por último la capa 1, la cual se encarga de la producción y emisión de la señal IBOC.

El sistema IBOC también es conocido como HD Radio, el cual viene siendo su nombre comercial y tiene una particularidad, permite a las emisoras de radio seguir transmitiendo su programación en la frecuencia asignada, es decir, permite enviar la información analógica y la señal digital por el mismo canal asignado, haciendo uso de las bandas laterales, tanto superior como inferior, de ahí su nombre "En banda dentro del canal", facilitando así la migración de un sistema al otro, porque el oyente puede seguir utilizando el mismo receptor, pero con la salvedad que solo recibe la señal analógica, siendo necesaria la consecución de un receptor digital, para recibir la nueva tecnología y acceder a una señal de AM que ofrece una calidad de audio similar a la que se escucha en las emisoras de FM actuales y un FM con una calidad de audio similar a la de un disco compacto. *(Sistema en Banda dentro del Canal IBOC, In-Band On-Channel, Facultad de Ingeniería - UNAM).*

En la figura 13, se observa la forma del espectro de la onda híbrida, en banda dentro del canal de una señal de amplitud modulada.

Figura 13
Espectro forma de onda híbrida IBOC en AM



Fuente. Tomada de (Facultad de Ingeniería – UNAM, 2018)

En la capa 4 se realiza la codificación de fuente, el sistema IBOC utiliza un codificador HE-AAC (High efficiency advanced audio coding), codificador avanzado de alta eficiencia, el cual provee una cobertura más fuerte y unos periodos de sintonización menores, así mismo distribuye el audio codificado dentro de flujos de bits distintos y los bits más representativos son colocados en los flujos básicos para que sean decodificados de forma independiente y los bits restantes son colocados en un flujo mejorado produciendo a la salida un audio con una calidad parecida a la obtenida si se trabajara con un solo flujo de bits. (Sistema en Banda dentro del Canal IBOC, In-Band On-Channel, Facultad de Ingeniería - UNAM).

La capa 2 es la encargada de recibir el audio y los datos que vienen de las capas superiores del sistema IBOC, dicha información es multiplexada dentro de las unidades de datos de protocolo PDU (Protocol data unit), para luego ser enviada al canal lógico LC (Logical channel) más apropiado, la capa 2 proporciona al sistema IBOC cuatro tipos de servicios de transporte:

- Servicio del programa principal, que Incluye el audio del programa y los datos asociados.
- Servicio del programa complementario, el cual permite al radiodifusor la opción de multiplexar información de programas secundarios.
- Servicios de aplicación avanzada, que provee el mecanismo de transporte de paquetes de información con contenido adicional.
- Servicio de información de estación, es básicamente una conexión especial que permite transmitir los datos del SIS en el canal lógico del servicio de datos del sistema IBOC.

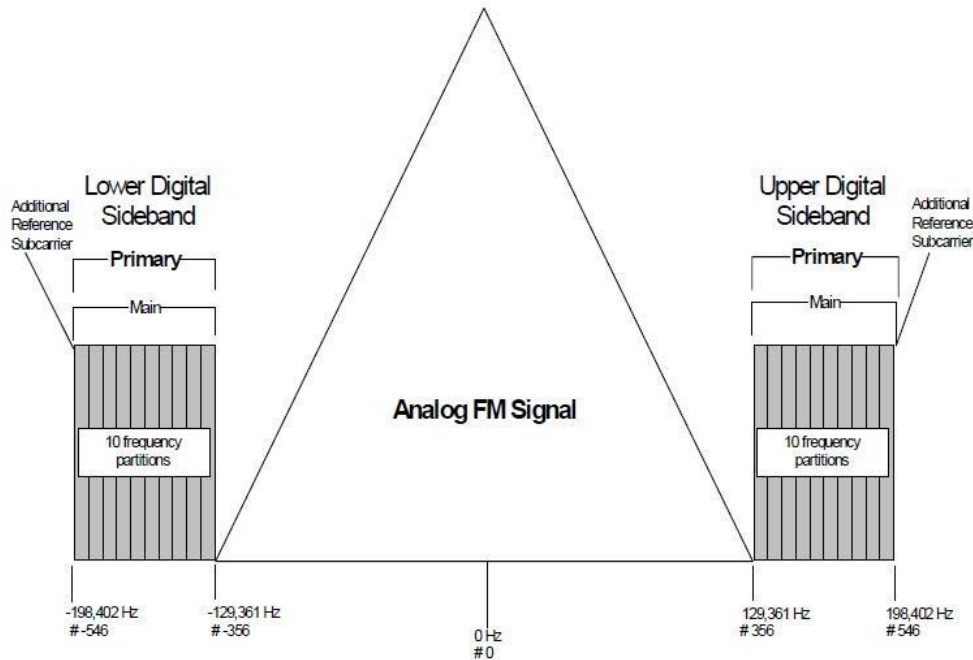
En la capa 1, el sistema IBOC en amplitud modulada (AM), transforma la información que llega la capa 2 y la información del control del sistema, en una forma de señal AM con alta definición, la cual es transmitida dentro del canal previamente asignado en la banda de frecuencias o en una forma de onda FM de alta definición, que también será transmitida en la banda de frecuencias muy altas, estos datos de información y control son transportados en forma de unidades de datos de protocolo de capa 2. (*Sistema en Banda dentro del Canal IBOC, In-Band On-Channel, Facultad de Ingeniería - UNAM*).

En el estándar IBOC FM (In-band on-channel, IBOC) sistema en banda dentro del canal, existen los siguientes modos: El híbrido, el híbrido ampliado y el modo totalmente digital. En el modo híbrido, la señal digital se emite a través de las bandas laterales primarias, ubicadas a cada lado de la señal analógica. En el modo híbrido ampliado, la señal digital

se emite en bandas laterales primarias ubicadas a cada lado de la señal analógica, pero se amplía la banda utilizada por la señal digital, disminuyendo el ancho de banda de la señal analógica y en el modo totalmente digital, se utiliza todo el ancho de banda para realizar la transmisión de las señales digitales, es decir, no se transmite la señal analógica, con lo cual se mejora el funcionamiento del sistema. (*La FM digital. Sistema IBOC FM. Luis del Amo, 2006*).

Para nuestro el presente estudio, se analizará el modo híbrido, donde básicamente la señal digital se transmite por las bandas laterales primarias ubicadas a ambos lados de la señal analógica. Como lo muestra la figura 14.

Figura 14
IBOC en modo FM híbrido



Fuente. Tomada de (*La Fm digital. Sistema IBOC FM, Luis del Amo, 2006*)

En el modo híbrido, la señal digital se reduce en amplitud con respecto a la señal analógica, lo que permite que, durante el periodo de introducción del sistema, exista la posibilidad de recepción del programa, tanto por los nuevos receptores digitales, como por los receptores analógicos de frecuencia modulada.

Una gran ventaja de este modo híbrido, es la incorporación de una diversidad en el tiempo entre la señal analógica y señal digital, la señal analógica sufre un retardo con respecto

a la señal digital, para que exista una sincronización entre ambas señales, para que el receptor pueda conmutar a la recepción analógica, en el momento que se produzca un alto porcentaje de bits defectuosos en la señal digital, que indica que la señal analógica actúa como un respaldo a la señal digital. (*La FM digital. Sistema IBOC FM. Luis del Amo, 2006*).

Ventajas del sistema (IBOC)

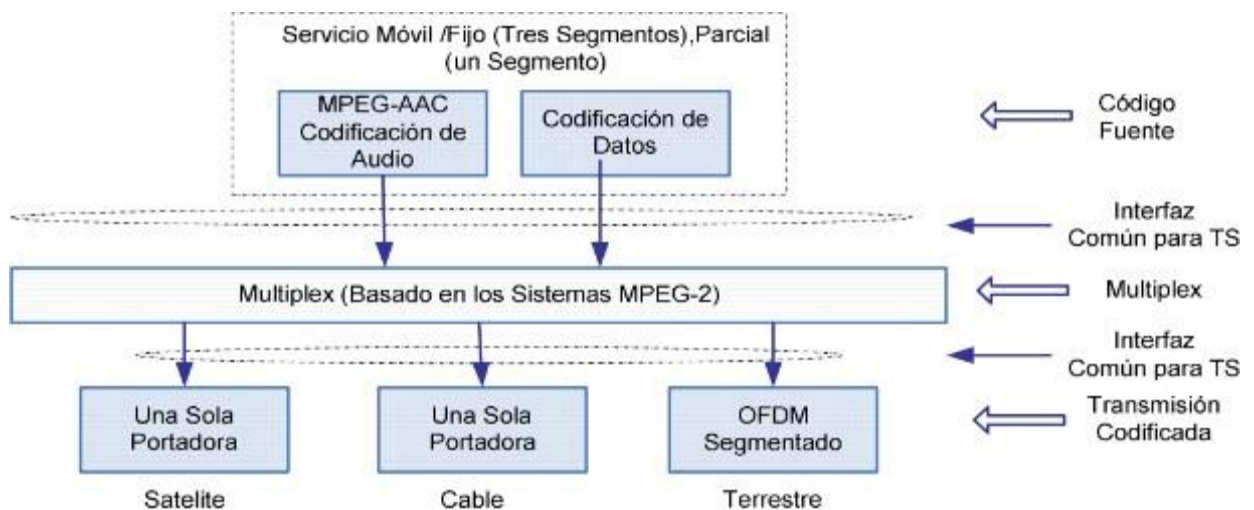
- Transmisión digital en la misma frecuencia de la transmisión analógica, ya que la señal digital es transmitida como una banda lateral de la frecuencia.
- Puede difundir varios programas sobre una misma frecuencia en FM, ya que cuenta con un ancho de banda disponible de 150 kbps.
- Ofrece una transmisión libre de interferencias.
- Las transmisiones en FM tienen una calidad de audio similar a la de un disco compacto.
- Las transmisiones en AM tienen una calidad de audio similar a la del FM estéreo analógico actual.
- Ofrece una variedad de servicios de datos referentes al programa de audio, por ejemplo, nombre del artista, título de la canción, etc.
- El receptor de radio puede almacenar la señal recibida y realizar una transición entre la señal analógica y la digital o viceversa.
- Permite sintonizar de forma más rápida las emisoras.

3.1.4 Radiodifusión digital de servicios integrados (ISDB)

ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting), Radiodifusión digital de servicios integrados, es un sistema que integra la transmisión de radio y televisión en un formato completamente digital, el cual fue desarrollado en Japón, por la asociación de industrias y negocios de radio (ARIB) en octubre de 1998, la ARIB es la encargada de asociar una gran cantidad de empresas, tanto japonesas como extranjeras, que se encuentran relacionadas con todo lo que tiene que ver con la radiodifusión. (*Análisis del estándar ISDB-TSB y la viabilidad técnica para su implementación en Unicauca estéreo. Meneses Tobar, Y, Solano Bohojorge, D. 2010*).

El sistema se divide en tres estándares o subsistemas de acuerdo al modo de transmisión, son ellos la radiodifusión digital de servicios integrados por satélite (ISDB-S, Integrated Services digital broadcasting - satelital), radiodifusión digital de servicios integrados por cable (ISDB-C, Integrated Services digital broadcasting –cable) y radiodifusión digital de servicios integrados terrestres (ISDB-T Integrated Services digital broadcasting – Terrestrial), éste último subsistema, es el que permite las emisiones de sonido y televisión digital terrestre. (*Análisis del estándar ISDB-TSB y la viabilidad técnica para su implementación en Unicauca estéreo. Meneses Tobar, Y, Solano Boho Jorge, D. 2010*). En la figura 15 se puede apreciar la estructura del sistema de transmisión digital ISDB.

Figura 15
Estructura del sistema ISDB



Nota. Análisis del estándar ISDB-TSB y la viabilidad técnica para su implementación en Unicauca estéreo. Tomada de (Unicauca, 2010)

Para transmitir audio digital, la asociación de industrias y negocios de radio ha creado ISDB-TSB, que permite la transmisión de audio de alta calidad, texto e imágenes, este estándar fue adoptado en el año 2003, para realizar transmisiones de audio digital y datos de alta calidad, en la banda III de VHF.

El estándar ISDB emplea el método de multiplexación y compresión de la información MPEG-2, técnica de modulación que suministra fortaleza a la señal, de igual forma utiliza la transmisión en banda segmentada OFDM (BST-OFDM, Band Segmented Transmisión OFDM), que facilita la recepción y a su vez disminuye las interferencias en la etapa de codificación, se encuentran la codificación externa y la codificación interna, que fortalecen la detección y corrección de posibles errores. El canal de transmisión de ISDB se puede

usar para servicios de recepción fija, móvil y portátil, estas señales son definidas de forma jerarquizada, de acuerdo a los segmentos OFDM, los parámetros de la modulación de cada portadora y la codificación del código interno, donde se especifique cada nivel de acuerdo al tipo de información a transmitir. (*Análisis del estándar ISDB-TSB y la viabilidad técnica para su implementación en Unicauca estéreo. Meneses Tobar, Y, Solano Bohojorge, D. 2010*).

Algunas de las características más resaltantes del sistema ISDB son la robustez, flexibilidad del sistema de recepción, utilización de frecuencia, movilidad y portabilidad, otras características son:

- Transmisión de un canal HDTV y un canal para teléfonos móviles con un ancho de banda de 6 MHz.
- Suministra servicios interactivos de datos, como juegos o compras, vía línea telefónica o Internet de banda ancha.
- Suministra guía electrónica de programas.
- Trabaja bajo una red de una sola frecuencia, permitiendo un uso más eficiente del espectro.
- Puede recibirse con una simple antena interior.
- Tiene buena respuesta a interferencias provenientes de motores de vehículos y líneas de energía eléctrica en ambientes urbanos.
- Incorpora el servicio de transmisión móvil terrestre de audio/video digital denominado *1seg* (One seg).

3.2 SITUACIÓN DE LA RADIO DIGITAL EN OTROS PAÍSES.

Desde hace algún tiempo, hasta la actualidad, algunos países y corporaciones, se han colocado en la tarea de desarrollar estándares de radiodifusión digital, que permitan el reemplazo de la tecnología de radio analógica, por una tecnología más sofisticada, que permita disfrutar de una gran cantidad de beneficios como, por ejemplo: Mejor sonido, mensajes de texto, ahorro de energía, optimización del espectro entre otros. (*La radio digital: ¿Una demanda social o un nuevo escenario de las pugnas del capitalismo globalizado? Valencia Rincón, J, 2008*).

Tras décadas de esfuerzos e inversiones costosas, aparecen estándares tales como DAB, HD Radio (IBOC), DRM y ISDB en países de Europa, Norteamérica y Asia. La figura 16 muestra un cuadro comparativo de los diferentes sistemas de radio digital más utilizados a nivel mundial.

Figura 16

Características estándares digitales

PARÁMETRO	ISDB-TSB	DAB	IBOC	DRM
Origen	Japón 2003	Europa 1986	Estados Unidos 2002	Consortio DRM (Mundial) 2003
Estandarización	ARIB, ITU	ETSI, ITU	FCC, ITU	ETSI, ITU
Banda de Frecuencia	Banda 174-216 MHz	Banda L 1452 –1492 MHz	Sobre las bandas existentes de AM y FM.	Bandas LW, MW, SW
Técnica de transmisión	BST-OFDM	COFDM	OFDM	COFDM
Codificación Audio/Datos	MPEG-2	MUSICAM	MPEG-2	MPEG-4
Codificación de Canal	FEC, Convolucional	Convolucional	FEC	Convolucional
Modulación	QAM, 16QAM, 64QAM	QPSK y QAM	QAM y QPSK	QAM, 16QAM y 64QAM
Entrelazado	Tiempo y Frecuencia	Tiempo	Tiempo	Tiempo
Movilidad	Muy buena	Muy buena	Buena	Buena
Calidad	Semejante al CD	Muy cercana al CD	Cerca al CD	Cerca al FM

Nota. Comparación de los principales estándares de radiodifusión digital. Tomada de (Unicauca, 2010)

3.2.1 Situación actual radiodifusión digital en Europa

El sistema DAB creado en la unión europea, es el estándar de radio digital más adoptado en dichos países. (*La implantación de la radio digital en Europa. Ramos del Cano, F, 2015*). La Tabla 2 enseña el estado actual de dicha implementación.

Tabla 2. Situación radiodifusión digital en Europa.

País	Sistema adoptado	Situación actual
Alemania, Bélgica, Dinamarca, España, Francia, Irlanda, Italia,	DAB+	Cuentan con servicios regulados

Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza Bélgica		
Austria, Croacia, Eslovenia, Hungría, Lituania, Letonia, Mónaco, Ciudad del Vaticano y Rumanía	DAB+	Se encuentran en pruebas o en proceso de regulación
Eslovaquia, Estonia, Finlandia, Grecia, Portugal, Serbia, Turquía y Ucrania.	DAB+	Países interesados en su implementación

Fuente: Autor

3.2.2 Situación actual radiodifusión digital en América

La Tabla 3. Describe la situación de la radio digital en América; El sistema IBOC desarrollado en los Estados Unidos, es la tecnología más adoptada por países de occidente, los cuales han iniciado la implementación, mientras otros países no han adoptado ningún sistema, naciones como Colombia, transmiten señales de radio digital utilizando la plataforma de televisión digital terrestre, (DVB-T). (*Qué ha pasado con la radio digital. López, T, 2019*).

Tabla 3. Situación radiodifusión digital en América.

País	Sistema adoptado	Situación actual
Estados Unidos	HD Radio (IBOC)	Estándar desarrollado, adoptado y en proceso de implementación.
Panamá, México, el salvador, Costa Rica, Brasil	HD Radio (IBOC)	Se encuentran en fase de implementación.
Colombia, Granada, Jamaica, Trinidad y Tobago, Groenlandia	DVB-T DVB-T2	Envían señales de radio digital por la red de Televisión digital terrestre

Fuente: Autor

3.2.3 Situación actual radiodifusión digital en Asia

Pese a que el continente asiático ha creado dos sistemas de radio digital; uno de ellos es el sistema digital de radio Mondiale (DRM) desarrollado en la China y el sistema de Radiodifusión digital de servicios integrados (ISDB) creado en Japón, son pocos los países que han optado por alguno de estos estándares de radio digital, todavía muchos de ellos utilizan las plataformas de televisión digital terrestre, (*La radio en el escenario digital. Barrios Rubio, A, 2013*). Así como lo describe la Tabla 4.

Tabla 4. Situación radiodifusión digital en Asia.

País	Sistema adoptado	Situación actual
Japón	ISDB	Sus emisiones digitales son en el formato ISDB.
la India, Indonesia, Malasia, Myanmar, Irán, Israel, Vietnam, UAE,	DVB-T2	Envían señales de radio digital por la red de Televisión digital terrestre
Rusia	DRM30 y DRM+. DVB-T2	Adoptó el sistema DRM, también utiliza el formato DVB-T2
Singapur	DAB+	Lo abandonó en el año 2012
Hong Kong	DAB+	Lo abandonó en el año 2017
Pakistán	DRM30 y DRM+	Se encuentra en implementación
Corea del sur, China, Taiwán, Kuwait	DMB Y DAB+	Se encuentra en implementación

Fuente: Autor

3.2.4 Situación actual radiodifusión digital en África

De acuerdo con la Tabla 5. La mayoría de los países africanos utilizan el sistema DVD-T2, difusión de video digital, para la transmisión de la radio digital. (*La radio digital. Cortes, C, 2005*).

Tabla 5. Situación radiodifusión digital en África.

País	Sistema adoptado	Situación actual
Namibia, Kenia, Congo, Níger, Nigeria, Togo, Benín, Malauí,	DVB-T2	Envían señales de radio digital por la red de televisión digital terrestre

Madagascar, Seychelles, Santa Helena y Sudáfrica, Esuatini		
Argelia, Túnez, Mauricio	DVB-T	Por medio de la red de TDT transmiten señales de radio digital
Ghana	DMB	Sus emisiones digitales son en DMB de pago.

Fuente: Autor

3.2.5 Situación actual radiodifusión digital en Oceanía

Tomando como referencia los datos consignados en la Tabla 6. Australia y Nueva Zelanda desarrollaron pruebas con el sistema DAB y DAB+, hasta el año 2007 y 2018 respectivamente. (*La radio digital. Cortes, C, 2005*).

Tabla 6. Situación radiodifusión digital en Oceanía.

País	Sistema adoptado	Situación actual
Australia	DAB+	Emisiones desde el año 2007.
Nueva Zelanda	DAB y DAB+	Se realizaron pruebas hasta el año 2018.

Fuente: Autor

Después de la detallada investigación sobre la radio digital y los distintos sistemas desarrollados durante décadas a lo largo del mundo y luego de haber estudiado cada uno de los diferentes estándares, se puede indicar, que para el presente proyecto se seleccionaron los estándares de radio digital:

- Sistema de radiodifusión de audio digital (DAB)
- Sistema en banda dentro del canal (IBOC). En el modo híbrido.

Estos estándares se seleccionaron por ser los dos sistemas más utilizados a nivel mundial y porque poseen las mejores características técnicas, así mismo, gran parte de la topografía europea que utiliza el estándar DAB, es muy similar a la topografía colombiana, por sus terrenos montañosos y con alta vegetación. Por otra parte, el sistema IBOC es el único estándar que se está implementado en países de América latina, como es el caso de México, Brasil, Panamá, Costa Rica, entre otros. Con los estándares seleccionados se efectuará la respectiva simulación en Xirio, con el propósito de emitir un concepto de viabilidad sobre el estándar de radio digital para la radiodifusión digital sonora en la ciudad de Bogotá.

CAPITULO IV

4. DISEÑO DE LA SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE RADIODIFUSIÓN DE AUDIO DIGITAL (DAB) Y EL SISTEMA EN BANDA DENTRO DEL CANAL (IBOC) EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ.

En este capítulo se plantea el diseño de la simulación, de los dos sistemas de radio digital seleccionados.

4.1 DISEÑO SIMULACIÓN.

Se hace necesario seleccionar los equipos de radiodifusión adecuados para la simulación en el programa Xirio, transmisores tanto de DAB como del sistema IBOC, teniendo en cuenta que son los estándares de radio digital seleccionados para la simulación.

4.1.1 Equipo transmisor sistema de radiodifusión de audio digital DAB.

En la Tabla 7, se describen algunos equipos transmisores de radiodifusión digital terrestre que se encuentran en el mercado y emplean el estándar DAB.

Tabla 7. Transmisores de radiodifusión digital sistema DAB.

Equipo	Empresa	Fabricación	Características
PCU-1110SP-1	Abralia Systems	Española	Transmisión de señales tanto analógicas como digitales, utilizando el protocolo digital DAB.
CYBERMAX DAB	PCS Electronics	Eslovena	Transmisiones de radio FM convencional y emisiones de radio digital DAB
DAB 500w - SLIM2	Star comunicaciones	Española	Transmisión de radio digital DAB, con una potencia de 500 Watios.
Maxiva OP	GatesAir	Norte-americana	Permite la emisión del sistema de audio digital DAB y otros formatos.

Nota. ^aAbralia Systems (2022, web). ^bPCS Electronics (2022, web). ^cStar comunicaciones (2022, web). ^dGatesAir (2022, web).

El equipo de radiodifusión digital terrestre para transmisiones del protocolo digital DAB, que más se ajusta al presente proyecto, es el equipo de la serie Maxiva OP, perteneciente

a la empresa GatesAir, en vista que dicho equipo de radiodifusión cuenta con varios estándares de modulación digital, entre ellos están : DVB-T, DVB-T2, ISDB-T / Tb, DAB / DAB +, ATSC y PAL / NTSC analógicos, cuenta con el sistema de doble transmisión (Dualcast), adicionalmente, es el equipo que suministra la potencia más alta, a la hora de transmitir el estándar DAB (200W a 43kW). La figura 17 muestra los componentes de un sistema transmisor de la serie Maxiva OP. (GatesAir. Maxiva OP. Series).

Figura 17

Sistema transmisor de la serie Maxiva OP



Fuente. Tomada de (GatesAir, 2021)

En la Tabla 8. Se sintetizan las características del transmisor seleccionado para el proyecto.

Tabla 8. Características específicas del transmisor de la serie Maxiva OP

Frecuencia	Banda III (174 MHz a 240 MHz y banda L (1452 MHz a 1492 MHz)
Modulación	La modulación de amplitud en cuadratura y modulación por desplazamiento de fase
Antena	Antena Dipolo omnidireccional

Característica antena	- Rango de frecuencia: 174-240 MHz - Ganancia: 3,7 dBi (dipolo) - Ancho de banda: 50 MHz - Máx. potencia: 50 kW - Polarización: Vertical - Impedancia: 50 ohmios
Potencia	200W a 43kW en modulación digital y hasta 84kW de potencia con modulación analógica.
Interfaz	ASI, T2MI, ETI, EDI, IP y satélite.

Fuente: Autor

4.1.1.1 Configuración Xirio en transmisión para equipo Maxiva OP en DAB.

En este literal se muestra la configuración del software en línea Xirio, para realizar la simulación de una transmisión en DAB en la ciudad de Bogotá, se debe tener en cuenta que el proyecto a realizar es un estudio de cobertura, por tal razón se selecciona “cobertura”, como se está desarrollando una prueba de radiodifusión se selecciona la opción “radiodifusión sonora” y se elige DAB-T (terrestre) para subcategoría y servicio, como se muestra en la figura 18. Cabe especificar que el presente proyecto de investigación está orientado a la radiodifusión digital terrestre, los principales usuarios de este tipo de tecnología son los hogares en general (radios receptores AM y FM) y los conductores de autos, quienes utilizan con mucha frecuencia, por no decir, de forma permanente, éste medio masivo de comunicación.

Figura 18

Selección estudio, categoría y servicio (estándar DAB)

Seleccione un tipo de estudio

- Enlace
- Cobertura**
- Cobertura de interior
- Cobertura multitransmisor
- Red de transporte

Estudio de cobertura:
Este estudio representa valores de la señal impuesta por un transmisor, en términos de campo eléctrico o potencia, en todos los puntos dentro del área seleccionada por el usuario.
[Leer más](#)

Seleccione un servicio o tecnología

Categoría: Radiodifusión Sonora ▼

Subcategoría: DAB-T ▼

Servicio: DAB-T ▼

Fuente. Adaptado de (Xirio-online, 2022)

El sistema de radiodifusión digital DAB opera en la banda III, que va desde 174 MHz hasta 230/240 MHz y en la banda L, que va de 1452 MHz hasta 1479,5 MHz, para la simulación se selecciona la banda III, esta banda de frecuencias presenta menor pérdida en el espacio libre, tiene una mejor respuesta a obstáculos naturales o artificiales y se ve menos afectada por fenómenos como la difracción, en comparación con la banda L que se ve más afectada por estos fenómenos al tener una gama de frecuencias más alta y una longitud de onda más corta.

En las propiedades del estudio se elige la banda III VHF que va de 174 MHz a 240 MHz, por los motivos expuestos en el párrafo anterior y el transmisor a utilizar es el Maxiva Op de GatesAir, seleccionado por tener las mejores características técnicas, como se evidencia en la figura 19.

Figura 19

Propiedades del estudio de cobertura (estándar DAB)

The screenshot shows a software interface for configuring a DAB study. The main section is titled 'Estudio' and contains the following fields:

- Nombre:** Simulación DAB
- Grupo:** (empty dropdown)
- Servicio:** DAB-T
- Banda:** Band 174 MHz - 240 MHz
- Descripción:** Estudio de cobertura...
- Fecha de última puesta en servicio/apagado:** (empty date field with a calendar icon showing '31')
- Estado:** (empty text field)

Below the 'Estudio' section is the 'Extremos' section, which contains the following field:

- Transmisor:** Maxiva OP de GatesAir

Fuente. Adaptado de (Xirio-online, 2022)

En la figura 20 aparece una ventana de ajustes, que muestra el nombre del transmisor seleccionado y permite escoger las coordenadas donde se va a instalar dicho equipo; El sitio donde se va a instalar el transmisor de radio digital Maxiva Op, es el cerro conocido como colinas de Suba, debido a que en este lugar se encuentran ubicadas la mayoría de las antenas de radiodifusión en la ciudad de Bogotá, junto con los cerros orientales.


Figura 20

Selección de la ubicación y nombre del transmisor (estándar DAB)

Nombre y ubicación del transmisor

Transmisor

Nombre:

 Identifica el transmisor en XIRIO ONLINE.

Coordenadas

Latitud:

Longitud:

Fuente. Adaptado de (Xirio-online, 2022)

En los parámetros de radio se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- La antena a utilizar es un dipolo omnidireccional, que permite transmitir en todas las direcciones.
- La antena se encuentra instalada a una altura de 60 metros, con el propósito de obtener un mayor alcance, teniendo en cuenta que la propagación de línea de vista se ve afectada por los obstáculos naturales y artificiales.
- La orientación de la antena hace referencia al apuntamiento horizontal en grados, para este caso se selecciona 60° y su inclinación mecánica es de 2° , buscando una mayor cobertura de la señal.
- La inclinación eléctrica de la antena busca controlar o limitar la cobertura de la transmisión, como la intención es irradiar en todas las direcciones, se elige la opción cero.
- La altura al nivel de la azotea (equivalente a la altura de la torre del sistema transmisor sobre el edificio).
- La frecuencia de trabajo es 175.000 MHz, correspondiente a la banda III de VHF.
- La polarización de antena, es la orientación del campo electromagnético radiado desde la antena, así mismo se selecciona una polarización cruzada para obtener una mejor cobertura, al tener un elemento polarizado a $+45^\circ$ y el otro polarizado a -45° .

- La opción feeder, es el cable de alimentación o guía de onda a utilizar, para esta situación se coloca en 60 m teniendo en cuenta la altura de las antenas, simulando un ambiente ideal.
- La potencia a utilizar es de 50 KW, de acuerdo a los datos representados en la figura 21.

Figura 21
Configuración parámetros de radio (estándar DAB)

Parámetros de radio

Antena: Antena dipolo omnidireccional

Altura antena: 60 m

Orientación: 60 °

Inclinación mecánica: 2 °

Inclinación eléctrica: 0 °

Referencia de alturas de antenas

Alturas respecto a: Nivel de azotea

Usar altura de edificio: Capa de elevación (MDE)

Altura edificio: 0 m

Frecuencias de transmisión

Frecuencias	Canal
175.000 MHz	50

Polarización: Cruzada

Feeder: cable Heliax 3/8"

Longitud del feeder: 60 m

Pérdidas del feeder: 1.51 dB

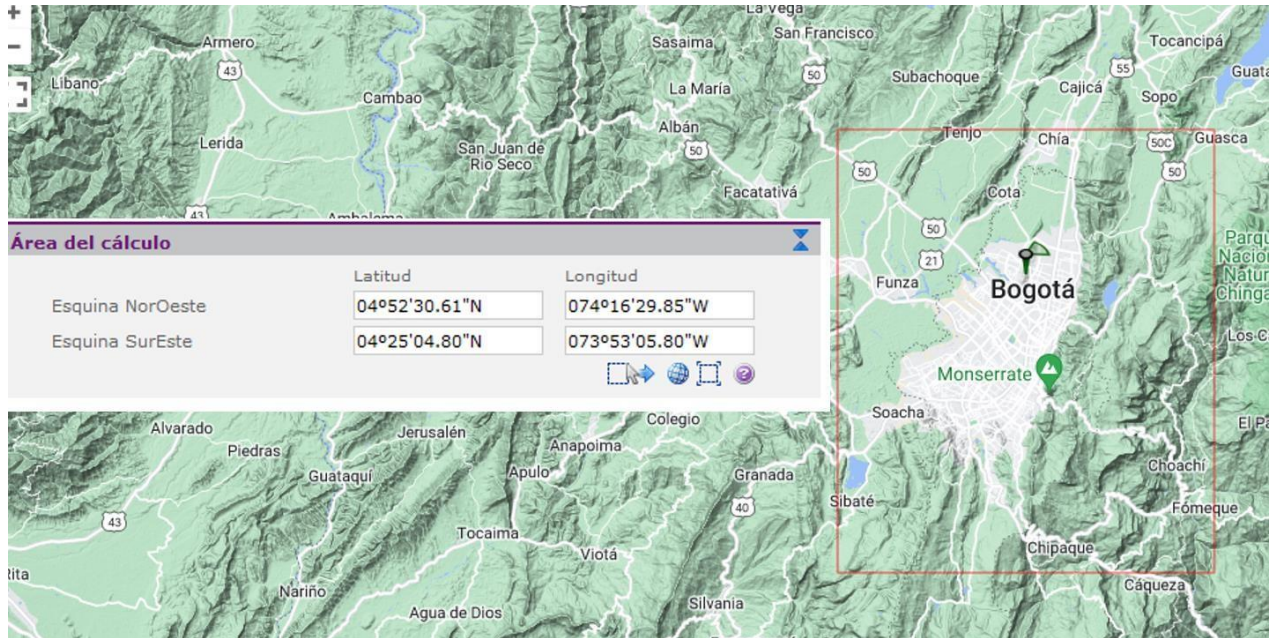
Pérdidas pasivos: 0 dB

Potencia: 50 KW

Fuente. Adaptado de (Xirio-online, 2022)

La configuración de área de cálculo permite seleccionar los puntos donde se va a realizar la simulación, de forma manual, como aparece indicado en la figura 22, el área seleccionada representa el recuadro de color rojo, se selecciona toda Bogotá, para la simulación de cobertura del estándar DAB.

Figura 22
Configuración área de cálculo (estándar DAB)



Fuente. Adaptado de (Xirio-online, 2022)

4.1.2. Configuración de Xirio en la recepción para equipo Maxiva OP en DAB

En la configuración de los parámetros de recepción, aparecen los siguientes aspectos:

- La antena que se va a utilizar, antena telescópica radio DAB, la cual viene instalada en todos los receptores de radio.
- La altura de la antena en recepción, indica la altitud del receptor de radio, es decir, la altura donde se encuentra el receptor, generalmente se encuentran en vehículos, su altura promedio es de 2 metros.
- La polarización también debe ser cruzada, al igual que la polarización del transmisor.

- La longitud del cable se deja en cero, debido a que la longitud del receptor a la antena es mínima o despreciable.
- El umbral de recepción se ubica en 37 dBu, que corresponde a los valores establecidos en Reino Unido. (*Digital Audio Broadcasting (DAB); Signal strengths and receiver parameters; Targets for typical operation. European Telecommunications Standards Institute, 2000*), de acuerdo a la figura 23.

Figura 23

Parámetros de recepción (estándar DAB)

The image shows a software window titled "Parámetros de radio" with the following settings:

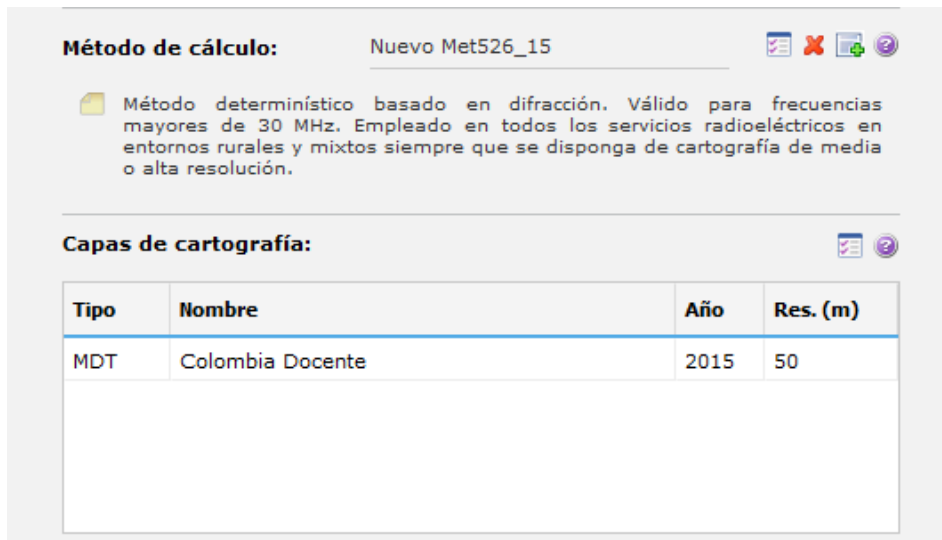
- Antena:** Antena telescópica Radio DAB
- Altura antena:** 2 m
- Polarización:** Cruzada
- Feeder:** (empty)
- Longitud del feeder:** 0 m
- Pérdidas del feeder:** 0.00 dB
- Pérdidas pasivos:** 0 dB
- Umbral recepción:** 37 dBu (Campo selected, Potencia unselected)

Fuente. Adaptado de (Xirio-online, 2022)

El método de propagación a utilizar es el nuevo Met526_15, establecido por la Rec. UIT-R P.526-15, el cual es un método determinístico basado en difracción, utilizado para frecuencias mayores de 30 MHz, empleado en los servicios radioeléctricos de entornos rurales y mixtos. Finalmente, la cartografía Colombia docente, viene por defecto, porque es la cartografía con la que trabaja el software de simulación, así como se puede ver en la figura 24.

Figura 24

Seleccionar cartografía y método de cálculo (estándar DAB)



Fuente. Adaptado de (Xirio-online, 2022)

La figura 25 describe los rangos de señal mediante colores, los cuales identifican el nivel de señal en la visualización de los resultados, permite establecer diferentes rangos de nivel de la señal recibida, teniendo en cuenta que para la presente simulación se va a utilizar la Banda III (174 MHz - 230/240 MHz), de la siguiente forma:

- El color rojo va de 37 dBu a 47 dBu, mostrando una señal baja, lo que indica que las señales por debajo de 37 dBu no serán recepcionadas, de acuerdo con valores establecidos en Reino Unido 37 dBu, es la fuerza de campo mínima para la banda III, en transmisiones DAB. (*Digital Audio Broadcasting (DAB); Signal strengths and receiver parameters; Targets for typical operation. European Telecommunications Standards Institute, 2000*). Es el nivel umbral, donde la señal llega con mayor dificultad, sobre todo por los accidentes del terreno o por encontrarse más alejado de la fuente emisora.
- El color amarillo va de 47 dBu hasta 67 dBu, indicando un nivel de recepción medio.
- El color verde de 67 dBu hasta infinito, cuenta con la recepción óptima, por estar situado más cerca del transmisor.

Figura 25
Configuración rangos de señal (estándar DAB)

Color	Rango	Descripción
	[37.00 , 47.00) dBu	Señal baja
	[47.00 , 67.00) dBu	Señal intermedia
	[67.00 , Infinity) dBu	Señal excelente

Visualizar niveles de señal ▼

Fuente. Adaptado de (Xirio-online, 2022)

4.1.3. Equipo transmisor Sistema en banda dentro del canal HD Radio (IBOC) en AM híbrido.

La Tabla 9. Describe algunos equipos transmisores de HD Radio (IBOC) en AM híbrido, que se pueden encontrar de forma comercial en el mercado.

Tabla 9. Equipos de radiodifusión digital HD Radio en AM Híbrido.

Equipo	Empresa	Fabricación	Características
X.DA-5	Continental Lensa S.A	Chilena	Permite la transmisión de señales de AM digital con la tecnología HD Radio (IBOC) y tecnología DRM, ofrece equipos que van de 5 kW hasta 50 kW, cuenta con licencia de la empresa IBiquity Digital Corporation.
DMW1K5 Quasar	FS24 S.R.L	Argentina	Transmisiones de radio AM digital, con una potencia de 1500 watos.
Flexiva DAX	GatesAir	Norteamericana	Emisiones de AM Híbrido o digital, utilizando la tecnología HD Radio (IBOC), con una potencia de 1 a 6 kW.

Nota. ^aContinental Lensa S.A. (2022, web). ^bFS24 S.R.L (2022, web). ^cGatesAir (2022, web).

Analizando los equipos de transmisión de radio digital en AM disponibles en el mercado, el equipo Flexiva DAX es el transmisor que más se adapta al proyecto en curso, en vista

que es el único que ofrece la opción del AM digital híbrido. Adicionalmente, Flexiva DAX funciona con una tecnología de modulación de alta eficiencia, conocida como modulación adaptativa digital, donde utiliza una forma de onda AM generada digitalmente con corrección adaptativa basada en DSP, la cual brinda un alto rendimiento ya que muestrea la salida modulada y corrige dinámicamente la no linealidad, en la figura 26 se puede ver el transmisor Flexiva DAX. (GatesAir. Flexiva DAX. Series).

Figura 26

Transmisor Flexiva DAX (IBOC-AM Híbrido)



Fuente. Tomada de (GatesAir, 2021)

Algunas características específicas del equipo Flexiva DAX, son descritas en la Tabla 10.

Tabla 10. Características técnicas equipo Flexiva DAX.

Frecuencia	Gama de frecuencias 535 KHz a 1605 kHz
Modulación	Modulación adaptativa digital
Antena	Torre de radiodifusión con monopolo plegado
Característica antena	- Altura de 60 Mts - 02 plano tierra, uno positivo y otro negativo - Mástil vertical de un cuarto de onda ($\lambda/4$)

	- Máx. potencia: 100 kW - Polarización: Vertical
Potencia	Potencia de 1 a 6 kW

Fuente: Autor

4.1.3.1 Configuración Xirio en transmisión del Flexiva DAX - HD radio (IBOC), AM híbrido.

Para la configuración en Xirio se crea un nuevo estudio de cobertura, la categoría a seleccionar es “radiodifusión sonora”, la subcategoría es el estándar HD Radio (IBOC) y se elige el servicio HD Radio (IBOC) en AM Híbrido, teniendo en cuenta que el proyecto de investigación está encaminado a conocer el funcionamiento del sistema digital IBOC, transmitiendo la señal digital y la señal analógica, como se muestra en la figura 27.

Figura 27

Estudio de cobertura (IBOC-AM Híbrido)

Seleccione un tipo de estudio

- Enlace
- Cobertura**
- Cobertura de interior
- Cobertura multitransmisor
- Red de transporte

Estudio de cobertura:
Este estudio representa valores de la señal impuesta por un transmisor, en términos de campo eléctrico o potencia, en todos los puntos dentro del área seleccionada por el usuario.
[Leer más](#)

Seleccione un servicio o tecnología

Categoría: Radiodifusión Sonora

Subcategoría: HD RADIO (IBOC)

Servicio: HD RADIO (IBOC) - AM Híbrido

Fuente. Adaptado de (Xirio-online, 2022)

El presente estudio se denomina simulación HD radio (IBOC) AM híbrido - Bogotá, la banda seleccionada es la correspondiente al AM comercial (540 KHz - 1600 KHz), utilizado en Colombia, de acuerdo a la figura 28.

Figura 28

Nombre y descripción del proyecto (IBOC-AM Híbrido)



Fuente. Adaptado de (Xirio-online, 2022)

De acuerdo con la figura 29, se identifica el nombre del transmisor seleccionado, el equipo de radio Flexiva DAX de GatesAir, por tener las mejores especificaciones técnicas, así mismo es uno de los pocos equipos que trasmite el estándar HD radio (IBOC) AM híbrido y también se selecciona el sitio denominado colinas de Suba, para ubicar dicho transmisor.

Figura 29

Nombre y ubicación del transmisor (IBOC-AM Híbrido)



Fuente. Adaptado de (Xirio-online, 2022)

En los parámetros de transmisión se deben tener en cuenta algunos aspectos importantes y completamente necesarios para conocer el alcance real de la simulación en Xirio, mencionados aspectos son los siguientes:

- La antena que se va a utilizar es una torre de radiodifusión con dipolo plegado, que permite la transmisión de señales en todas las direcciones, por ser una antena completamente vertical.
- La torre de radiodifusión cuenta con una altura de 60 metros, permitiendo una transmisión de onda de superficie, que puede tener un alcance en el orden de los cientos de kilómetros, por la naturaleza de su propagación. Una gran particularidad de este tipo de emisiones en amplitud modulada, radica en que la torre transmite con toda su estructura, más un dipolo, que esta incrustado en la tierra.
- La orientación de la antena hace referencia al apuntamiento horizontal en grados (0° a 359°), para este caso se selecciona 90° , por ser una antena completamente vertical y su inclinación mecánica es de 0° , se debe tener en cuenta que uno de los objetivos de la simulación es obtener una mayor cobertura de la señal.
- La inclinación eléctrica de la antena busca controlar o limitar la cobertura de la transmisión, como la intención es irradiar en todas las direcciones, se elige la opción cero.
- La altura al nivel de la azotea (equivalente a la altura de la torre del sistema transmisor sobre el edificio).
- La frecuencia de trabajo es 550.000 KHz, frecuencia comprendida en la banda de AM comercial.
- La polarización, es la orientación del campo electromagnético radiado desde la antena, se selecciona la polarización circular con el fin de irradiar en todas las direcciones.
- La opción feeder, es el cable de alimentación o guía de onda a utilizar, para esta situación se asume una longitud de 10 m, teniendo en cuenta la distancia existente entre la base de la antena y la sala donde se encuentra ubicado el transmisor.
- La potencia a utilizar es de 6 KW, rango máximo del transmisor flexiva DAX Para transmisiones de amplitud modulada, es una potencia relativamente baja, pero suficiente para transmitir en la ciudad de Bogotá, como se puede apreciar en la figura 30.

Figura 30
Parámetros de transmisión (IBOC-AM Híbrido)

Frecuencias	Canal
550.000 KHz	1

Polarización: Circular

Feeder: cable Heliax 3/8"

Longitud del feeder: 10 m

Pérdidas del feeder: 0.80 dB

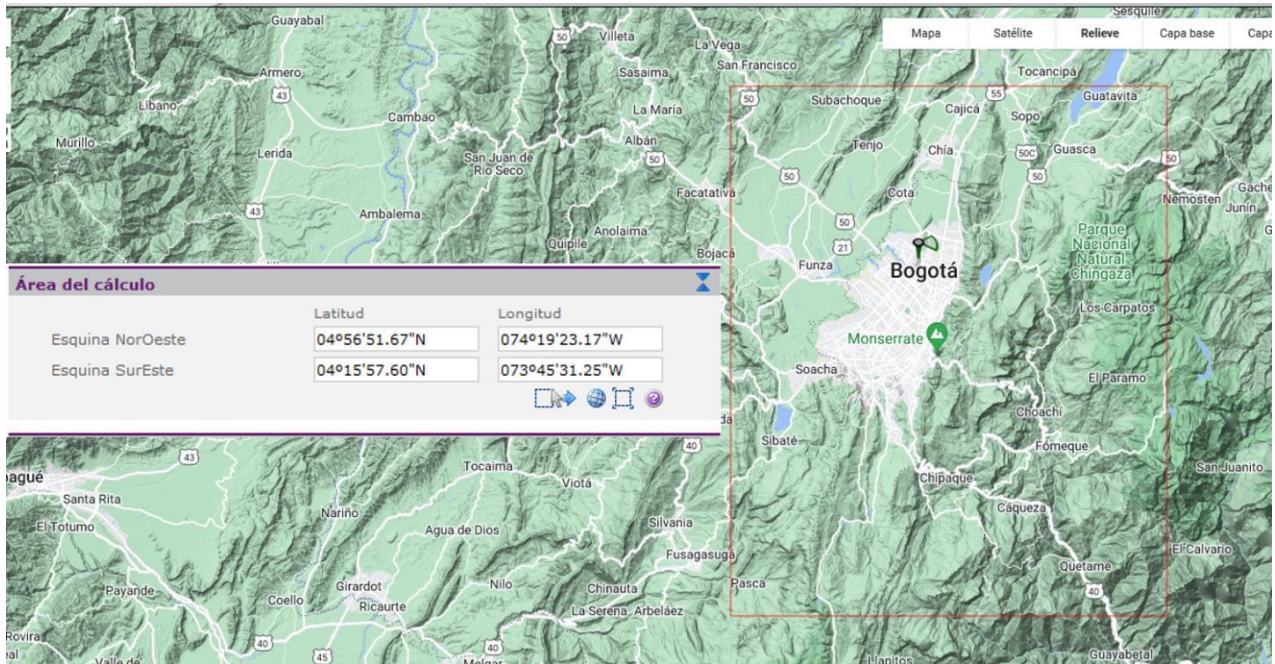
Pérdidas pasivos: 0 dB

Potencia: 6 KW

Fuente. Adaptado de (Xirio-online, 2022)

El área de cálculo permite seleccionar los puntos donde se va a realizar la simulación, es decir, permite seleccionar un área de referencia seleccionada de forma manual, dicha área se encuentra demarcada por el recuadro en color rojo, donde se encuentra comprendida no solo la ciudad de Bogotá, también algunos municipios vecinos, como se observa en la figura 31.

Figura 31
Configuración área de cálculo (IBOC-AM Híbrido)



Fuente. Adaptado de (Xirio-online, 2022)

4.1.4. Configuración Xirio en recepción del Flexiva DAX - HD radio (IBOC), AM híbrido.

En la configuración de los parámetros de recepción, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- La antena a utilizar es la FM, la cual viene instalada en todos los receptores de radio AM.
- La altura de la antena en recepción, indica la altitud del receptor de radio, es decir, la altura donde se encuentra el receptor, generalmente se encuentran en vehículos, o en los primeros pisos de las viviendas, se asume una altura promedio es de 2 metros.
- La polarización también debe ser circular, teniendo en cuenta que tener la misma polarización que el transmisor.
- La longitud del cable se deja en cero, ya que la pérdida en el equipo receptor es despreciable.

- El umbral de recepción se ubica en 40 dBu, de acuerdo con el artículo Measurements of medium wave HD Radio reception in a dense urban region, publicado en la revista Journal of microwaves (Yao, 2017), optoelectronics and electromagnetic applications, Vol. 16, No. 3, de septiembre 2017, de acuerdo a la figura 32.

Figura 32
Parámetros de recepción (IBOC-AM Híbrido)

Parámetros de radio

Antena: Antena Eightw AM LOOP

Altura antena: 2 m

Polarización: Circular

Feeder:

Longitud del feeder: 0 m

Pérdidas del feeder: 0.00 dB

Pérdidas pasivos: 0 dB

Umbral recepción: Campo Potencia
40 dBu

Fuente. Adaptado de (Xirio-online, 2022)

Como es un estudio de cobertura en AM, el método de propagación a utilizar es la nueva curva de superficie, válido para frecuencias menores de 30 MHz y la cartografía a utilizar es Colombia docente, que viene predeterminada en el programa, como se puede evidenciar en la figura 33.

Figura 33
Selección cartografía y método de cálculo (IBOC-AM Híbrido)

Parámetros de cálculo

Método de cálculo: Nuevo Curvas de Superficie

Método de cálculo de propagación por onda de superficie. Válido para frecuencias menores de 30 MHz. Es recomendable el uso de cartografía morfológica de conductividades del terreno.

Capas de cartografía:

Tipo	Nombre	Año	Res. (m)
MDT	Colombia Docente	2015	50

Fuente. Adaptado de (Xirio-online, 2022)

La figura 34, describe los rangos de señal mediante colores, los cuales permiten establecer diferentes rangos de nivel de la señal recibida, de acuerdo con el artículo Measurements of medium wave HD Radio reception in a dense urban region, publicado en la revista Journal of microwaves, (*Measurements of medium wave HD Radio reception in a dense urban region. M.P.C. Almeida, L. da Silva Mello, 2017*). El rango de señal establecido para recepciones de IBOC AM híbrido, se encuentra determinado de la siguiente forma:

- El color verde indica un nivel de señal RSS excelente, ya que dicho rango oscila entre 60 dBu e infinito.
- El color amarillo describe una señal RSS que se ubica en un nivel intermedio, que va de 50 dBu a 60 dBu.
- Una señal con una calidad baja está comprendida entre 40 dBu y 50 dBu, siendo 40 dBu el umbral. (*Measurements of medium wave HD Radio reception in a dense urban region. M.P.C. Almeida, L. da Silva Mello, 2017*).

Figura 34

Rango de señal (IBOC-AM Híbrido)

Color	Rango	Descripción
	[40.00 , 50.00) dBu	Señal baja  
	[50.00 , 60.00) dBu	Señal intermedia  
	[60.00 , Infinity) dBu	Señal excelente  

Fuente. Adaptado de (Xirio-online, 2022)

4.1.5 Equipo transmisor Sistema en banda dentro del canal HD Radio (IBOC) en FM híbrido.

En la actualidad existen equipos de radiodifusión digital en FM, descritos en la Tabla 11. Que trabajan con el sistema en banda dentro del canal (IBOC), también conocido como HD Radio.

Tabla 11. Equipos de radiodifusión digital HD Radio en FM Híbrido.

Equipo	Empresa	Fabricación	Características
X.DF-750	Continental Lensa S. A	Chilena	Permite la transmisión de señales de FM digital con la tecnología HD Radio (IBOC) y la tecnología DRM, ofrece equipos que van de 100 W hasta 10.000 W.
VS 300	NAUTEL	Canadiense	Cuenta con equipos de 300 vatios, 1 kW y 2,5 kW, utilizando la tecnología HD Radio para FM digital.
Flexiva FLX	GatesAir	Norte-americana	Equipo utilizado para emisiones de FM Híbrido o digital, utilizando la tecnología HD Radio (IBOC), con una potencia que va de 10 kW a 80 kW.

Nota. ^aContinental Lensa S. A (2022, web). ^bNautel (2022, web). ^cGatesAir A (2022, web).

El equipo de radio que más se adapta a las necesidades del proyecto, teniendo en cuenta que se desea simular un sistema híbrido, es el Flexiva FLX, por su capacidad de transmitir la señal analógica y la señal digital en el mismo canal, (Modo híbrido), así mismo, el transmisor Flexiva FLX es un equipo de estado sólido para FM refrigerado por líquido, que permite transmisiones analógicas y digitales, ofrece soluciones de gran eficiencia a la hora de realizar emisiones, tanto digitales como analógicas de FM, de acuerdo a las características técnicas indicadas en la Tabla 12.

Tabla 12. Características técnicas equipo Flexiva FLX

Frecuencia	Banda de 88 MHz a 108 MHz
Modulación	La modulación de amplitud en cuadratura y modulación por desplazamiento de fase
Antena	Antena Dipolo omnidireccional
Característica antena	- Rango de frecuencia: 88-108 MHz - Ganancia: 3,7 dBi (dipolo) - Ancho de banda: 50 MHz - Máx. potencia: 80 kW - Impedancia: 50 ohmios
Potencia	10 kW a 80 kW
Alimentación	Energía monofásica o trifásica rango de 190 a 464 VAC

Fuente: Autor

Utiliza amplificadores LDMOS de 50 voltios, fuentes de alimentación de alta eficiencia, un excitador Flexiva FAX con RTAC, una potencia de transmisión que va de 10 kW a 80 kW, opera con energía monofásica o trifásica de 190 a 464 VAC, transmite en la banda

88 a 108 MHz. (GatesAir. Flexiva FLX. Series). La figura 35 representa el equipo de radio Flexiva FLX.

Figura 35

Transmisor Flexiva FLX (IBOC-FM Híbrido)



Fuente. Tomada de (GatesAir, 2021)

4.1.5.1 Configuración Xirio en transmisión del Flexiva FLX - HD radio (IBOC), FM híbrido.

Con el objetivo de realizar la simulación de una transmisión de FM híbrido (IBOC) en la ciudad de Bogotá, se debe tener en cuenta que el proyecto a realizar es un estudio de cobertura, por tal razón se selecciona “cobertura”, como se está desarrollando una prueba de radiodifusión se selecciona la opción “radiodifusión sonora” y se elige HD Radio (IBOC) para subcategoría y en servicio se debe seleccionar HD Radio (IBOC) – FM híbrido, como se muestra en la figura 36. El presente proyecto de investigación está orientado a la radiodifusión digital terrestre, los principales usuarios de este tipo de tecnología son los hogares en general y los conductores de autos, quienes utilizan con mucha frecuencia, éste medio masivo de comunicación.

Figura 36
Nuevo estudio de cobertura (IBOC-FM Híbrido)

The screenshot shows a software interface for selecting a study type. The title bar reads "Selección de estudio". On the left, there is a list of study types with radio buttons: "Enlace", "Cobertura" (which is selected), "Cobertura de interior", "Cobertura multitransmisor", and "Red de transporte". To the right of this list, a text box titled "Estudio de cobertura:" contains the following text: "Este estudio representa valores de la señal impuesta por un transmisor, en términos de campo eléctrico o potencia, en todos los puntos dentro del área seleccionada por el usuario." Below this text is a link that says "Leer más". Below the list of study types, there is another section titled "Selección de servicio o tecnología". It contains three dropdown menus: "Categoría:" with the value "Radiodifusión Sonora", "Subcategoría:" with the value "HD RADIO (IBOC)", and "Servicio:" with the value "HD RADIO (IBOC) - FM Híbrido".

Fuente. Adaptado de (Xirio-online, 2022)

En esta ventana se selecciona el nombre del estudio de simulación, para este caso se adopta el nombre de HD radio (IBOC) FM híbrido - Bogotá, para la banda de trabajo se selecciona la gama que corresponde al FM comercial (88 MHz - 108 MHz), como aparece en la figura 37.

Figura 37
Nuevo estudio de cobertura (IBOC-FM Híbrido)

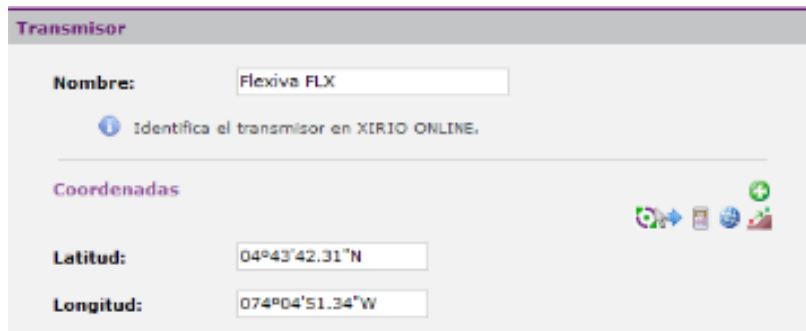
The screenshot shows a software window titled "Estudio". It contains several fields for configuring a study: "Nombre:" with the value "HD radio (IBOC) FM híbrido-Bogotá"; "Grupo:" with an empty dropdown menu; "Servicio:" with the value "HD RADIO (IBOC) - FM Híbrido"; "Banda:" with the value "FM ↑" and three small icons (a document, a red X, and a circular arrow); and "Descripción:" with the value "Estudio de cobertura...".

Fuente. Adaptado de (Xirio-online, 2022)

Se selecciona el nombre del transmisor que se va a utilizar "Flexiva FLX", que permite realizar transmisiones de señales de FM digital y FM analógico al tiempo, usando el mismo canal y también se selecciona las coordenadas del sitio, llamado colinas de Suba, donde será instalado dicho equipo, como se puede apreciar en la figura 38.

Figura 38

Nombre y ubicación del transmisor (IBOC-FM Híbrido)



Fuente. Adaptado de (Xirio-online, 2022).

En la presente ventana se seleccionan una gran cantidad de parámetros que hacen parte del modo de transmisión, los cuales son fundamentales a la hora de configurar el sistema y obtener una simulación que se ajusta lo más próximo a un ambiente real, así:

- La antena a utilizar es un dipolo omnidireccional, que permite transmitir en todas las direcciones y que viene fabricada para trabajar en toda la gama de FM.
- La antena se encuentra instalada a una altura de 60 metros, con el propósito de obtener una mayor cobertura, ya que las transmisiones en VHF se ven afectadas por diferentes obstáculos, tanto naturales como artificiales.
- La orientación de la antena trata del apuntamiento horizontal en medido en grados, para este caso se selecciona 100° y su inclinación mecánica es de 2° , buscando siempre lograr un mayor alcance de la señal transmitida por la antena
- La inclinación eléctrica busca controlar o limitar la cobertura de la transmisión, como la intención es irradiar en todas las direcciones, se elige la opción cero.
- Altura al nivel de la azotea (altura de la torre del sistema transmisor sobre el edificio).
- La frecuencia que se va a utilizar es 100.000 MHz, la cual pertenece a la gama de VHF y hace parte de las ondas utilizadas en las transmisiones de FM comercial.
- La polarización de antena, es la orientación del campo electromagnético radiado desde la antena, se selecciona una polarización cruzada para obtener una mejor cobertura, al tener un elemento polarizado a $+45^\circ$ y el otro polarizado a -45° .
- La opción feeder, es la extensión del cable de alimentación o guía de onda que se va a utilizar para llevar la señal desde el transmisor hasta la antena, para esta situación

se coloca una longitud de 60 m, teniendo en cuenta que la altura de la torre es también de 60 metros.

- La potencia que se va a utilizar es de 80 KW, correspondiente a la máxima potencia generada por el equipo de radio Flexiva FLX, cuyos datos se ven reflejados en la figura 39.

Figura 39
Parámetros de transmisión (IBOC-FM Híbrido)

Parámetros de radio

Antena: Antena dipolo omnidireccional

Altura antena: 60 m

Orientación: 100 °

Inclinación mecánica: 2 °

Inclinación eléctrica: 0 °

Referencia de alturas de antenas

Alturas respecto a: Nivel de azotea

Usar altura de edificio: Capa de elevación (MDE)

Altura edificio: 0 m

Frecuencias de transmisión

Frecuencias	Canal
100.000 MHz	30

Polarización: Cruzada

Feeder: cable Heliax 3/8"

Longitud del feeder: 60 m

Pérdidas del feeder: 1.51 dB

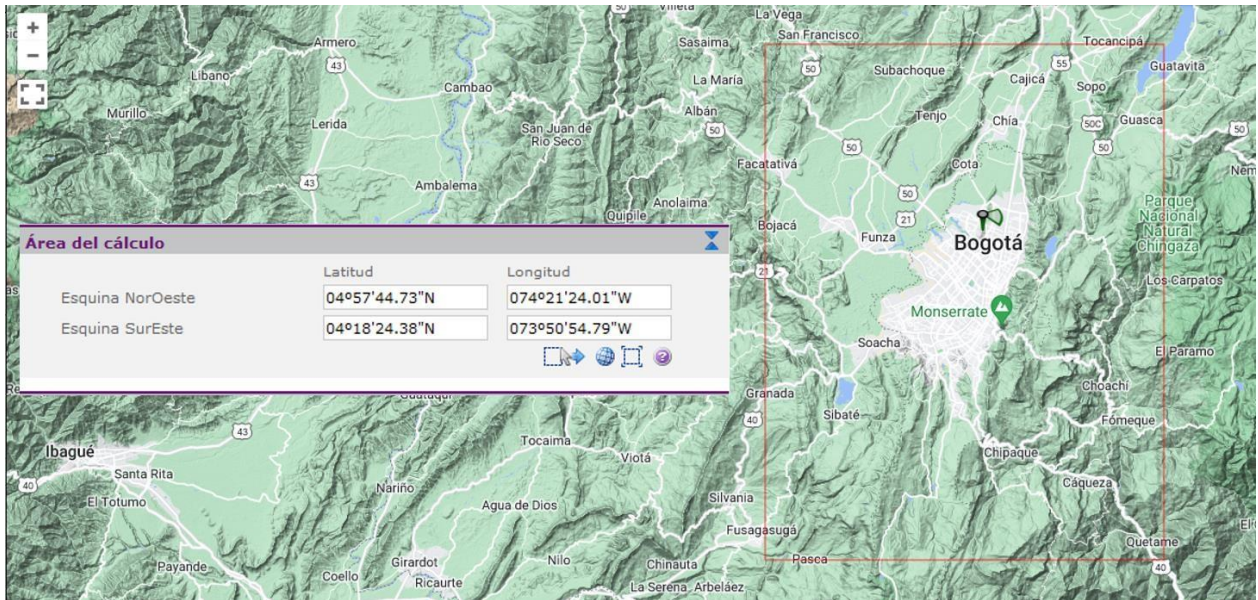
Pérdidas pasivos: 0 dB

Potencia: 80 KW

Fuente. Adaptado de (Xirio-online, 2022)

En esta opción se puede seleccionar el área de cálculo, la cual permite seleccionar los puntos donde se va a realizar la simulación, de forma manual, seleccionando la totalidad de la ciudad de Bogotá y algunos municipios circunvecinos, como se puede apreciar en la figura 40.

Figura 40
Configuración área de cálculo (IBOC-FM Híbrido)



Fuente. Adaptado de (Xirio-online, 2022)

4.1.3.2 Configuración Xirio en recepción del Flexiva FLX - HD radio (IBOC), FM híbrido.

En la configuración de los parámetros de recepción, aparecen los siguientes aspectos:

- La antena que se va a utilizar es una telescópica para HD radio (IBOC) FM, la cual viene instalada en todos los receptores de radio.
- La altura de la antena en recepción, hace referencia a la elevación donde se encuentra el receptor, generalmente se encuentran en vehículos, su altura promedio es de 2 metros.
- La polarización es cruzada, al igual que la polarización del transmisor.
- La longitud del cable se deja en cero, ya que no se utiliza dicho medio de transmisión.
- El umbral de recepción se ubica en 54 dBu, según el artículo IBOC Coverage and Interference (cobertura e interferencia de IBOC) presentado por NAB Radio & Broadcasters Clinic en el año 2006, de acuerdo a la figura 41.

Figura 41
Parámetros de recepción (IBOC-FM Híbrido)

Parámetros de radio

Antena: Antena telescópica HD radio

Altura antena: 2 m

Polarización: Cruzada

Feeder:

Longitud del feeder: 0 m

Pérdidas del feeder: 0.00 dB

Pérdidas pasivos: 0 dB

Umbral recepción: Campo Potencia

54 dBu

Fuente. Adaptado de (Xirio-online, 2022)

El método de propagación a utilizar es el nuevo Met526_15 y la cartografía Colombia docente, como aparece en la figura 42.

Figura 42
Parámetros de cálculo (IBOC-FM Híbrido)

Parámetros de cálculo

Los parámetros 4G engloban un conjunto de variables que intervienen en el cálculo de las pérdidas de propagación. XIRIO ONLINE configura automáticamente estos parámetros por defecto en función del servicio radioeléctrico seleccionado. Aun así, será necesario que Ud. personalice algunos de ellos.

El método de cálculo se basa en normativa internacional y recomendaciones de organismos oficiales como la ITU y modela la propagación de la señal radioeléctrica. Es seleccionado automáticamente en función del servicio del estudio para su empleo en un entorno rural, por ello conviene revisarlo y personalizarlo teniendo en cuenta la cartografía que desea utilizar.

Método de calculo: Nuevo Met526_15

Método determinístico basado en difracción. Válido para frecuencias mayores de 30 MHz. Empleado en todos los servicios radioeléctricos en entornos rurales y mixtos siempre que se disponga de cartografía de media o alta resolución.

Capas de cartografía:

Tipo	Nombre	Año	Res. (m)
MDT	Colombia Docente	2015	50

Fuente. Adaptado de (Xirio-online, 2022)

En la presente ventana se pueden apreciar los rangos de señal mediante el uso de colores, los cuales permiten establecer diferentes valores de nivel de la señal recibida, se debe tener en cuenta que la simulación se realizara con el HD radio (IBOC), para FM híbrido, de acuerdo a la naturaleza de la señal, cabe anotar que el modo híbrido, transmite las dos señales, tanto la señal analógica como la señal digital, según el artículo IBOC Coverage and Interference (cobertura e interferencia de IBOC) presentado por NAB Radio & Broadcasters Clinic en el año 2006, los rangos de recepción de señal se encuentran establecidos acuerdo a la figura 43, donde:

- El color verde indica el máximo nivel de recepción, se encuentra entre 80 dBu e infinito, está ubicado en la zona más cercana al transmisor.
- El color amarillo indica el nivel de señal intermedia, que está comprendida entre 60 dBu y 80 dBu.
- El nivel más bajo de recepción, señalado por el color rojo, comprendido entre 54 dBu (umbral de recepción) y 60 dBu, esta zona se encuentra más alejada del transmisor o se ubica detrás de algún tipo de obstáculo natural o artificial.

Figura 43

Rango de señal (IBOC-FM Híbrido)

Color	Rango	Descripción
	[54.00 , 60.00) dBu	Señal baja
	[60.00 , 80.00) dBu	Señal intermedia
	[80.00 , Infinity) dBu	Señal excelente

Visualizar niveles de señal ▼

Fuente. Adaptado de (Xirio-online, 2022)

CAPITULO V

5. SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE RADIODIFUSIÓN DE AUDIO DIGITAL (DAB) Y EL SISTEMA EN BANDA DENTRO DEL CANAL (IBOC) EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ.

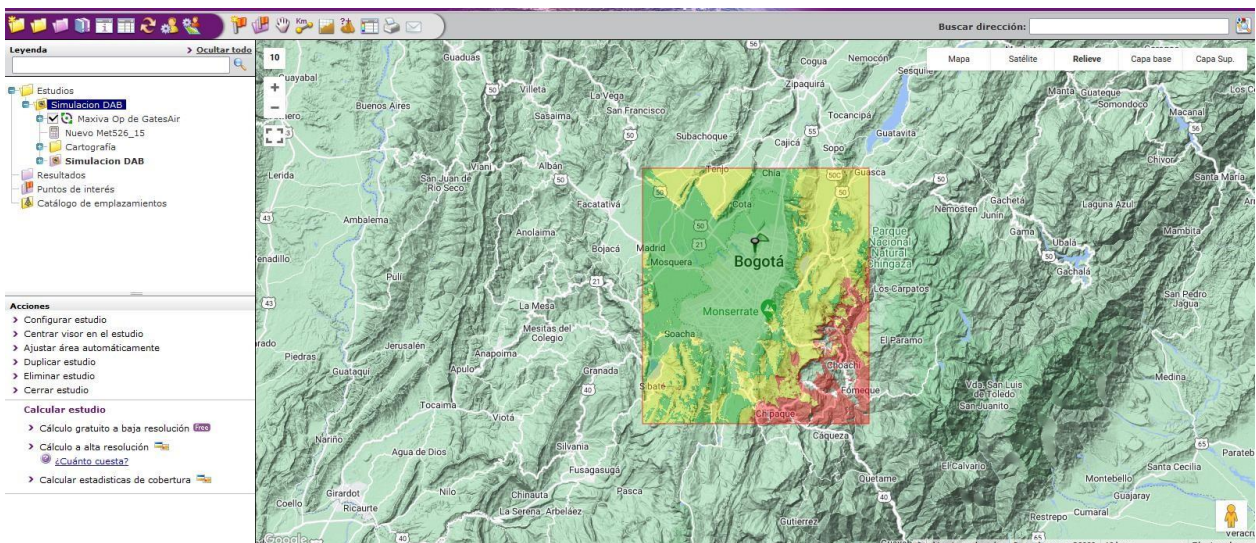
En este capítulo se desarrolla la simulación de los dos estándares de radio digital seleccionados, utilizando el programa en línea Xirio.

5.1 SIMULACIÓN EN XIRIO

5.1.1 Simulación del estándar DAB (Digital audio broadcasting)

La figura 44 describe la simulación realizada, utilizando el estándar de radiodifusión digital DAB (Digital audio broadcasting), previamente configurado para la ciudad de Bogotá, seleccionando los respectivos parámetros de transmisión, recepción, zona de cubrimiento y rango de señal, entre otros.

Figura 44
Simulación estándar DAB en Bogotá



Fuente. Adaptado de (Xirio-online, 2022)

El termino RSS (received signal strength) que traduce, intensidad de la señal recibida, es una escala de referencia, utilizada para medir el nivel de potencia de las señales recibidas por algún dispositivo que utiliza redes inalámbricas, mencionadas señales eléctricas se expresan generalmente como dBu; El dBu es una unidad de decibel basada en voltaje, donde su nivel de referencia es 0.7746 volts rms, a diferencia de la unidad dBm, el dBu no asume ningún valor de impedancia, motivo por el cual es la unidad apropiada para usarse en RSS. (*Unidades más comunes empleadas en audio y acústica. Rubio Chávez, N, 2010*).

En la figura 44 se pueden apreciar una variedad de colores, que representan la intensidad de la señal recibida, rangos establecidos en la configuración del programa, donde el color verde representa una excelente recepción, que va de 67.00 dBu hasta infinito, el color amarillo indica una señal intermedia de recepción que va de 47.00 dBu hasta 67.00 dBu, el color rojo describe una señal baja que va desde 37.00 dBu (umbral) hasta 47.00 dBu, mientras que el color verde claro indica la carencia de señal, al situarse por debajo del umbral establecido. De acuerdo con valores establecidos en Reino Unido 37 dBu, es la fuerza de campo mínima para la banda III, en transmisiones DAB. (*Digital Audio Broadcasting (DAB); Signal strengths and receiver parameters; Targets for typical operation. European Telecommunications Standards Institute, 2000*).

En la tabla 13, se seleccionan 20 puntos ubicados en la zona de color verde de la imagen 44 los cuales representan las 20 localidades de la ciudad de Bogotá, indicando la coordenada del punto a medir, el nombre de la localidad y la potencia RSS expresada en dBu.

Tabla 13. Puntos ubicados en la zona de mejor RSS (verde).

Coordenadas	Localidad	Potencia RSS (dBu)
"04°42'25.87"N - 074°06'44.58"W	Engativá	100.15 dBu (Excelente)
"04°40'25.44"N - 074°08'43.54"W	Fontibón	93.71 dBu (Excelente)
"04°43'14.81"N - 074°04'31.87"W	Suba	124.20 dBu (Excelente)
"04°42'11.84"N - 074°02'08.19"W	Usaquén	107.56 dBu (Excelente)
"04°39'49.56"N - 074°04'45.93"W	Barrios unidos	101.53 dBu (Excelente)
"04°39'16.15"N - 074°03'26.21"W	Chapinero	88.98 dBu (Excelente)
"04°38'32.88"N - 074°05'35.06"W	Teusaquillo	90.64 dBu (Excelente)
"04°36'23.99"N - 074°05'19.92"W	Mártires	92.50 dBu (Excelente)
"04°36'54.17"N - 074°07'11.62"W	Puente Aranda	89.70 dBu (Excelente)
"04°37'49.14"N - 074°08'21.29"W	Kennedy	89.24 dBu (Excelente)
"04°36'43.85"N - 074°04'20.74"W	Santafé	98.30 dBu (Excelente)
"04°35'49.18"N - 074°04'28.16"W	La Candelaria	92.21 dBu (Excelente)
"04°35'25.39"N - 074°06'17.62"W	Antonio Nariño	91.25 dBu (Excelente)

"04°34'35.80"N - 074°07'06.75"W	Rafael Uribe Uribe	91.17 dBu (Excelente)
"04°33'32.66"N - 074°05'46.57"W	San Cristóbal	96.95 dBu (Excelente)
"04°35'13.07"N - 074°08'47.48"W	Tunjuelito	85.99 dBu (Excelente)
"04°34'46.20"N - 074°09'36.84"W	Ciudad Bolívar	91.58 dBu (Excelente)
"04°36'31.22"N - 074°10'57.64"W	Bosa	89.79 dBu (Excelente)
"04°30'29.00"N - 074°06'55.70"W	Usme	72.22 dBu (Excelente)
"04°27'00.41"N - 074°08'17.28"W	Sumapaz	70.41 dBu (Excelente)

Fuente: Autor

En la tabla 14, se localizan 10 puntos específicos, pertenecientes a las localidades de Ciudad Bolívar, Usme, Rafael Uribe Uribe y Sumapaz, los cuales están ubicados en la zona de color amarillo, que representa una potencia de señal recibida intermedia, se seleccionan solo 10 puntos a diferencia de los 20 seleccionados en la zona de color verde, porque, la zona de potencia intermedia es menor a la zona de cobertura total, por lo tanto, los puntos de potencia intermedia solo están ubicados en 4 localidades de las 20 existentes. En la tabla se indica la coordenada del punto a medir, nombre del sitio y nivel RSS expresado en dBu.

Tabla 14. Puntos ubicados en la zona intermedia de RSS (amarilla)

Coordenadas	Localidad	Potencia RSS (dBu)
"04°34'24.97"N - 074°10'20.95"W	Parque caracolí (Ciudad Bolívar)	58.47 dBu (Intermedia)
"04°34'16.62"N - 074°10'18.27"W	Parque Bombonera (Usme)	57.72 dBu (Intermedia)
"04°33'11.74"N - 074°12'33.49"W	P. Agroecológico (Ciudad Bolívar)	58.21 dBu (Intermedia)
"04°33'57.52"N - 074°06'40.79"W	Jorge Cavalier (Rafael Uribe Uribe)	63.59 dBu (Intermedia)
"04°33'36.73"N - 074°06'43.88"W	Providencia alta (Ciudad Bolívar)	63.74 dBu (Intermedia)
"04°33'06.70"N - 074°06'27.20"W	Los Molinos II (Rafael Uribe Uribe)	64.14 dBu (Intermedia)
"04°32'13.95"N - 074°06'44.27"W	Danubio Azul (Usme)	64.77 dBu (Intermedia)
"04°31'26.52"N - 074°06'36.85"W	Pedregal (Usme)	63.85 dBu (Intermedia)
"04°31'08.81"N - 074°06'42.11"W	San Juan de Usme (Usme)	62.00 dBu (Intermedia)
"04°26'38.80"N - 074°09'22.94"W	Pasquilla (Sumapaz)	63.98 dBu (Intermedia)

Fuente: Autor

En la tabla 15 se encuentran localizados 10 puntos correspondientes a los municipios circunvecinos de La Calera, Ubaque, Chipaque y Choachi, dichos puntos corresponden a las fincas, veredas y cascos urbanos más representativos, ubicados al oriente de la ciudad de Bogotá, donde la señal llega con una intensidad muy baja o en su defecto no existe señal alguna. Lo anterior, es debido a que los cerros orientales actúan como un obstáculo natural. En el estudio en mención, los puntos de baja cobertura se encuentran representados por el color rojo.

Tabla 15. Puntos ubicados en la zona de baja RSS y sin señal (roja)

Coordenadas	Localidad	Potencia RSS (dBu)
"04°40'21.76"N - 073°54'55.75"W	Hacienda Saque (La Calera)	43.83 dBu (Baja)
"04°40'06.37"N - 073°55'38.70"W	Hacienda 3 esquinas (La Calera)	44.38 dBu (Baja)
"04°31'09.03"N - 074°01'09.63"W	Quebrada el Buitre (Ubaque)	45.83 dBu (Baja)
"04°26'59.83"N - 074°04'01.41"W	Vereda los Hornitos (Chipaque)	46.97 dBu (Baja)
"04°26'08.39"N - 074°04'08.67"W	Vereda la Caldera (Chipaque)	44.84 dBu (Baja)
"04°26'34.57"N - 074°02'47.72"W	Casco municipal (Chipaque)	43.88 dBu (Baja)
"04°30'14.02"N - 073°58'10.85"W	Vereda Puebloviejo (Ubaque)	44.77 dBu (Baja)
"04°30'06.93"N - 073°59'13.57"W	Hotel casa blanca (Ubaque)	33.45 dBu (sin señal)
"04°31'49.35"N - 073°58'18.72"W	Finca el recuerdo (Choachi)	34.60 dBu (sin señal)
"04°31'43.19"N - 073°55'30.63"W	Casco municipal (Choachi)	29.62 dBu (sin señal)

Fuente: Autor

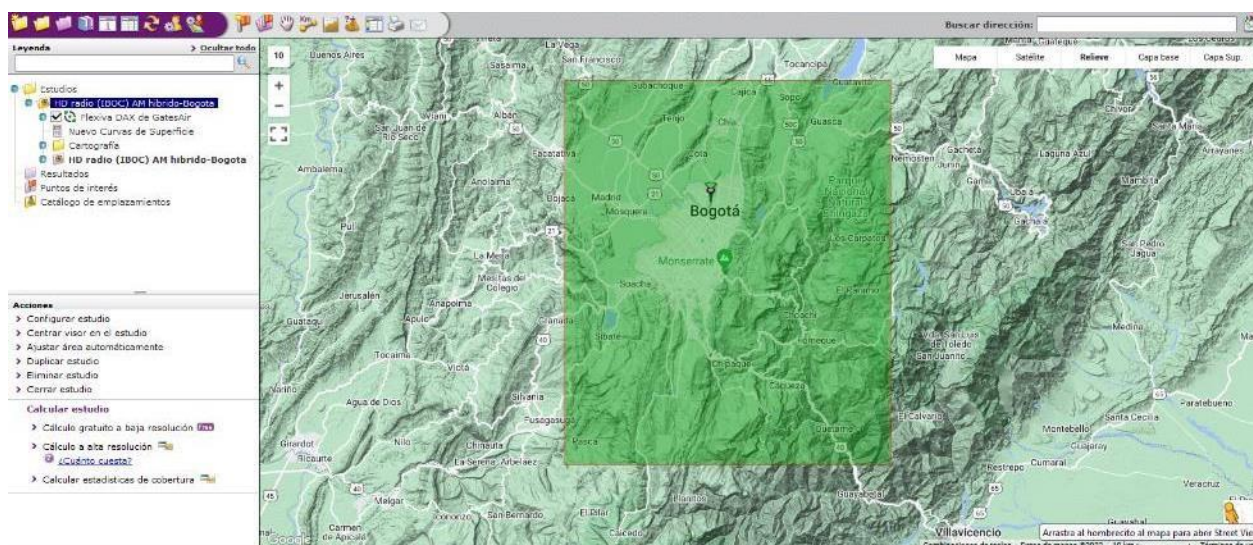
Las tablas anteriores describen los posibles escenarios de una transmisión de radio completamente digital, utilizando el estándar europeo DAB, prácticamente cubre toda la ciudad de Bogotá y algunos municipios circunvecinos como Mosquera, Funza, Cota, Soacha y chía, con un RSS bastante aceptable, algunos sitios donde la señal es intermedia se ubican en las partes altas de las localidades de Ciudad Bolívar, Usme y la localidad de Sumapaz, los puntos de RSS baja y sin señal se encuentran ubicados en municipios aledaños, tales como: La Calera, Ubaque, Chipaque y Choachi, pero la cobertura a nivel Bogotá es prácticamente total.

5.1.2 Simulación del estándar HD Radio (IBOC) en Am híbrido

El otro estándar que se desea simular es el sistema de radiodifusión digital HD radio (IBOC) AM híbrido, para un estudio de cobertura en la ciudad de Bogotá, donde previamente se seleccionaron los parámetros tanto en transmisión como en la recepción, zona de cubrimiento y rango de señal, etc.

La figura 45 indica que este tipo de radiodifusión sonora, satisface toda la zona de cubrimiento seleccionada, con una intensidad de la señal recibida (RSS) excelente, superior a 60 dBu, pasando de ser una estación de radio local a una emisora de radiodifusión nacional.

Figura 45
Simulación HD Radio (IBOC) AM híbrido Bogotá



Fuente. Adaptado de (Xirio-online, 2022)

En la tabla 16 se seleccionan los mismos 20 puntos que se estudiaron en el estándar DAB (teniendo en cuenta que es un estudio de comparación), correspondientes a las 20 localidades de la ciudad de Bogotá, indicando las coordenadas de cada punto, el nombre de la localidad y la potencia RSS expresada en dBu.

Tabla 16. Nivel de potencia RSS en las localidades de Bogotá.

Coordenadas	Localidad	Potencia RSS (dBu)
"04°42'25.87"N - 074°06'44.58"W	Engativá	98.86 dBu (Excelente)

"04°40'25.44"N - 074°08'43.54"W	Fontibón	89.41 dBu (Excelente)
"04°43'14.81"N - 074°04'31.87"W	Suba	124.30 dBu (Excelente)
"04°42'11.84"N - 074°02'08.19"W	Usaquén	96.72 dBu (Excelente)
"04°39'49.56"N - 074°04'45.93"W	Barrios unidos	93.38 dBu (Excelente)
"04°39'16.15"N - 074°03'26.21"W	Chapinero	91.27 dBu (Excelente)
"04°38'32.88"N - 074°05'35.06"W	Teusaquillo	89.27 dBu (Excelente)
"04°36'23.99"N - 074°05'19.92"W	Mártires	84.64 dBu (Excelente)
"04°36'54.17"N - 074°07'11.62"W	Puente Aranda	84.96 dBu (Excelente)
"04°37'49.14"N - 074°08'21.29"W	Kennedy	85.68 dBu (Excelente)
"04°36'43.85"N - 074°04'20.74"W	Santafé	85.25 dBu (Excelente)
"04°35'49.18"N - 074°04'28.16"W	La Candelaria	83.67 dBu (Excelente)
"04°35'25.39"N - 074°06'17.62"W	Antonio Nariño	82.90 dBu (Excelente)
"04°34'35.80"N - 074°07'06.75"W	Rafael Uribe Uribe	81.29 dBu (Excelente)
"04°33'32.66"N - 074°05'46.57"W	San Cristóbal	79.96 dBu (Excelente)
"04°35'13.07"N - 074°08'47.48"W	Tunjuelito	80.80 dBu (Excelente)
"04°34'46.20"N - 074°09'36.84"W	Ciudad Bolívar	79.46 dBu (Excelente)
"04°36'31.22"N - 074°10'57.64"W	Bosa	80.77 dBu (Excelente)
"04°30'29.00"N - 074°06'55.70"W	Usme	75.46 dBu (Excelente)
"04°27'00.41"N - 074°08'17.28"W	Sumapaz	74.07 dBu (Excelente)

Fuente: Autor

Continuando con la comparación de los estándares, en la tabla 17, se sitúan los mismos 10 puntos seleccionados en el estándar DAB, que tenían una potencia RSS intermedia, mencionados puntos en AM híbrido poseen un nivel superior a 60 dBu, indicando una excelente recepción.

Tabla 17. Nivel de potencia RSS intermedia en DAB, comparados con AM híbrido.

Coordenadas	Localidad	Potencia RSS (dBu)
"04°34'24.97"N - 074°10'20.95"W	Parque caracolí (Ciudad Bolívar)	78.92 dBu (Excelente)
"04°34'16.62"N - 074°10'18.27"W	Parque Bombonera (Usme)	78.60 dBu (Excelente)
"04°33'11.74"N - 074°12'33.49"W	P. Agroecológico (Ciudad Bolívar)	75.64 dBu (Excelente)
"04°33'57.52"N - 074°06'40.79"W	Jorge Cavalier (Rafael Uribe Uribe)	80.15 dBu (Excelente)
"04°33'36.73"N - 074°06'43.88"W	Providencia alta (Ciudad Bolívar)	79.75 dBu (Excelente)
"04°33'06.70"N - 074°06'27.20"W	Los Molinos II (Rafael Uribe Uribe)	79.05 dBu (Excelente)
	Danubio Azul	

"04°32'13.95"N - 074°06'44.27"W	(Usme)	77.82 dBu (Excelente)
"04°31'26.52"N - 074°06'36.85"W	Pedregal (Usme)	76.82 dBu (Excelente)
"04°31'08.81"N - 074°06'42.11"W	San Juan de Usme (Usme)	76.48 dBu (Excelente)
"04°26'38.80"N - 074°09'22.94"W	Pasquilla (Sumapaz)	70.90 dBu (Excelente)

Fuente: Autor

En la tabla 18 se ubican los mismos 10 puntos seleccionados en el estándar DAB, que tenían una potencia RSS baja / sin señal, dichos puntos en AM híbrido poseen un nivel superior a 60 dBu, indicando una RSS excelente.

Tabla 18. Puntos con potencia RSS baja en DAB, comparados con AM híbrido.

Coordenadas	Localidad	Potencia RSS (dBu)
"04°40'21.76"N - 073°54'55.75"W	Hacienda Saque (La Calera)	79.37 dBu (Excelente)
"04°40'06.37"N - 073°55'38.70"W	Hacienda 3 esquinas (La Calera)	80.41 dBu (Excelente)
"04°31'09.03"N - 074°01'09.63"W	Quebrada el Buitre (Ubaque)	76.02 dBu (Excelente)
"04°26'59.83"N - 074°04'01.41"W	Vereda los Hornitos (Chipaque)	71.79 dBu (Excelente)
"04°26'08.39"N - 074°04'08.67"W	Vereda la Caldera (Chipaque)	70.99 dBu (Excelente)
"04°26'34.57"N - 074°02'47.72"W	Casco municipal (Chipaque)	71.42 dBu (Excelente)
"04°30'14.02"N - 073°58'10.85"W	Vereda Puebloviejo (Ubaque)	73.58 dBu (Excelente)
"04°30'06.93"N - 073°59'13.57"W	Hotel casa blanca (Ubaque)	74.07 dBu (Excelente)
"04°31'49.35"N - 073°58'18.72"W	Finca el recuerdo (Choachi)	74.72 dBu (Excelente)
"04°31'43.19"N - 073°55'30.63"W	Casco municipal (Choachi)	73.48 dBu (Excelente)

Fuente: Autor

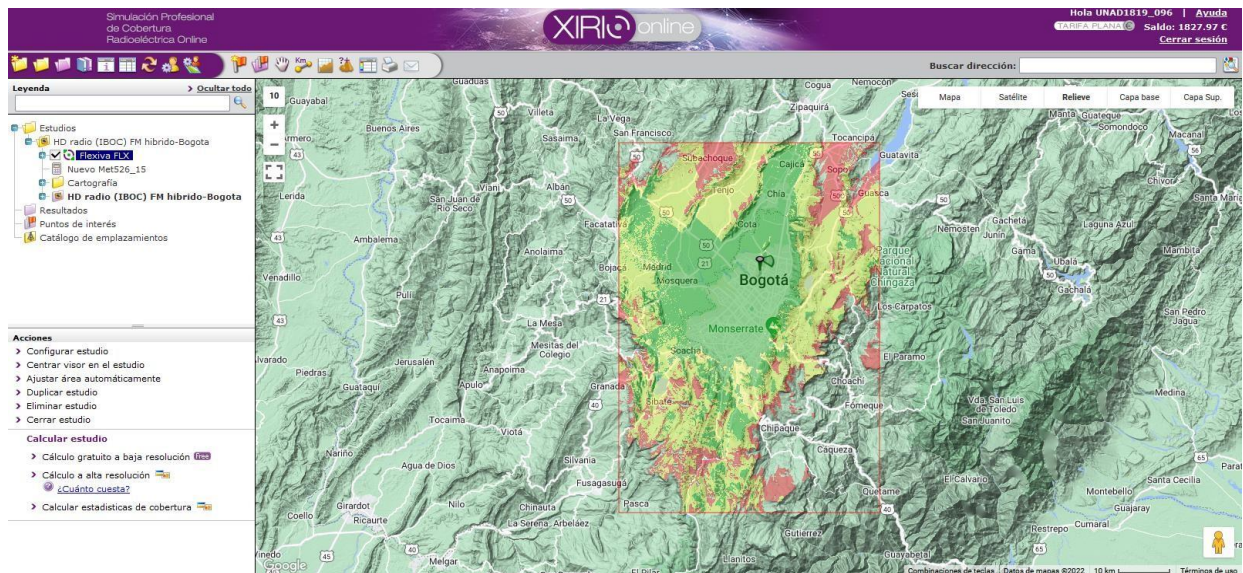
Las tablas representan la cobertura del estándar de radio digital HD radio (IBOC) AM híbrido, el cual tiene un cubrimiento total en la ciudad de Bogotá, manteniendo una potencia de RSS excelente, no solo en la ciudad de estudio, también en todos municipios cercanos a la capital de la república, cabe anotar que en comparación con el estándar

DAB, el HD Radio, no presenta señal intermedia, baja, ni sectores sin señal, al contrario su cobertura mantiene un nivel excelente, superior a 60 dBu.

5.1.3 Simulación del estándar HD Radio (IBOC) FM híbrido

Continuando con la simulación del estándar HD Radio (IBOC) FM híbrido en Xirio, para la ciudad de Bogotá, previamente seleccionados todos los parámetros en transmisión, recepción, zona de cubrimiento y rango de señal, se puede apreciar en la figura 46 los colores que determinan el rango de la señal recibida RSS, el color verde representa una excelente recepción, que va de 80.00 dBu hasta infinito, el color amarillo representa una señal intermedia que va de 60.00 dBu hasta 80.00 dBu, el color rojo describe una señal baja que va desde 54.00 dBu (umbral) hasta 60.00 dBu, mientras que el color verde claro, indica la carencia de señal, al situarse por debajo del umbral establecido, cabe indicar que el estándar HD Radio (IBOC) FM híbrido, transmite la señal digital y la señal analógica, de ahí la diferencia en el rango de señal con respecto al estándar DAB, que solo transmite la señal digital. (De acuerdo al artículo IBOC Coverage and Interference (cobertura e interferencia de IBOC) presentado por NAB Radio & Broadcasters Clinic en el año 2006).

Figura 46
Simulación HD Radio (IBOC) FM híbrido Bogotá



Fuente. Adaptado de (Xirio-online, 2022)

En la tabla 19 se seleccionan los mismos 20 puntos que se estudiaron en el estándar DAB y HD Radio en AM híbrido, que corresponden a las localidades de Bogotá, indicando las coordenadas, nombre de la localidad y la potencia RSS expresada en dBu.

Tabla 19. Puntos ubicados en la zona de mejor RSS (verde).

Coordenadas	Localidad	Potencia RSS (dBu)
"04°42'25.87"N - 074°06'44.58"W	Engativá	112.08 dBu (Excelente)
"04°40'25.44"N - 074°08'43.54"W	Fontibón	95.22 dBu (Excelente)
"04°43'14.81"N - 074°04'31.87"W	Suba	108.83 dBu (Excelente)
"04°42'11.84"N - 074°02'08.19"W	Usaquén	101.60 dBu (Excelente)
"04°39'49.56"N - 074°04'45.93"W	Barrios unidos	96.60 dBu (Excelente)
"04°39'16.15"N - 074°03'26.21"W	Chapinero	87.56 dBu (Excelente)
"04°38'32.88"N - 074°05'35.06"W	Teusaquillo	94.10 dBu (Excelente)
"04°36'23.99"N - 074°05'19.92"W	Mártires	93.81 dBu (Excelente)
"04°36'54.17"N - 074°07'11.62"W	Puente Aranda	91.69 dBu (Excelente)
"04°37'49.14"N - 074°08'21.29"W	Kennedy	96.18 dBu (Excelente)
"04°36'43.85"N - 074°04'20.74"W	Santafé	96.28 dBu (Excelente)
"04°35'49.18"N - 074°04'28.16"W	La Candelaria	91.85 dBu (Excelente)
"04°35'25.39"N - 074°06'17.62"W	Antonio Nariño	94.53 dBu (Excelente)
"04°34'35.80"N - 074°07'06.75"W	Rafael Uribe Uribe	90.78 dBu (Excelente)
"04°33'32.66"N - 074°05'46.57"W	San Cristóbal	82.56 dBu (Excelente)
"04°35'13.07"N - 074°08'47.48"W	Tunjuelito	89.66 dBu (Excelente)
"04°34'46.20"N - 074°09'36.84"W	Ciudad Bolívar	98.93 dBu (Excelente)
"04°36'31.22"N - 074°10'57.64"W	Bosa	90.11 dBu (Excelente)
"04°30'29.00"N - 074°06'55.70"W	Usme	76.50 dBu (intermedia)
"04°27'00.41"N - 074°08'17.28"W	Sumapaz	90.92 dBu (Excelente)

Fuente: Autor

En la tabla 20, se ubican 10 puntos correspondientes a una potencia RSS intermedia, representada por el color amarillo, son los mismos puntos estudiados para DAB y HD Radio en AM híbrido.

Tabla 20. Puntos ubicados en la zona intermedia de RSS (amarilla)

Coordenadas	Localidad	Potencia RSS (dBu)
"04°34'24.97"N - 074°10'20.95"W	Parque caracolí (Ciudad Bolívar)	62.50 dBu (intermedia)
"04°34'16.62"N - 074°10'18.27"W	Parque Bombonera (Usme)	68.88 dBu (intermedia)
"04°33'11.74"N - 074°12'33.49"W	P. Agroecológico (Ciudad Bolívar)	77.78 dBu (intermedia)
	Jorge Cavalier	

"04°33'57.52"N - 074°06'40.79"W	(Rafael Uribe Uribe)	72.89 dBu (intermedia)
"04°33'36.73"N - 074°06'43.88"W	Providencia alta (Ciudad Bolívar)	68.37 dBu (intermedia)
"04°33'06.70"N - 074°06'27.20"W	Los Molinos II (Rafael Uribe Uribe)	67.46 dBu (intermedia)
"04°32'13.95"N - 074°06'44.27"W	Danubio Azul (Usme)	69.69 dBu (intermedia)
"04°31'26.52"N - 074°06'36.85"W	Pedregal (Usme)	69.15 dBu (intermedia)
"04°31'08.81"N - 074°06'42.11"W	San Juan de Usme (Usme)	70.08 dBu (intermedia)
"04°26'38.80"N - 074°09'22.94"W	Pasquilla (Sumapaz)	77.11 dBu (intermedia)

Fuente: Autor

En la tabla 21, se encuentran localizados 10 puntos correspondientes a una potencia RSS baja y sin señal, los puntos son los mismos utilizados en DAB y HD Radio en AM híbrido, por ser un estudio de comparación.

Tabla 21. Puntos ubicados en la zona de baja RSS y sin señal (roja)

Coordenadas	Localidad	Potencia RSS (dBu)
"04°40'21.76"N - 073°54'55.75"W	Hacienda Saque (La Calera)	45.00 dBu (sin señal)
"04°40'06.37"N - 073°55'38.70"W	Hacienda 3 esquinas (La Calera)	45.27 dBu (sin señal)
"04°31'09.03"N - 074°01'09.63"W	Quebrada el Buitre (Ubaque)	49.88 dBu (sin señal)
"04°26'59.83"N - 074°04'01.41"W	Vereda los Hornitos (Chipaque)	51.39 dBu (sin señal)
"04°26'08.39"N - 074°04'08.67"W	Vereda la Caldera (Chipaque)	47.70 dBu (sin señal)
"04°26'34.57"N - 074°02'47.72"W	Casco municipal (Chipaque)	48.50 dBu (sin señal)
"04°30'14.02"N - 073°58'10.85"W	Vereda Puebloviejo (Ubaque)	48.76 dBu (sin señal)
"04°30'06.93"N - 073°59'13.57"W	Hotel casa blanca (Ubaque)	34.39 dBu (sin señal)
"04°31'49.35"N - 073°58'18.72"W	Finca el recuerdo (Choachi)	35.78 dBu (sin señal)
"04°31'43.19"N - 073°55'30.63"W	Casco municipal (Choachi)	27.75 dBu (sin señal)

Fuente: Autor

En la simulación del estándar HD Radio (IBOC) para FM híbrido, se evidencia que este tipo de radiodifusión digital cubre casi en su totalidad la ciudad de Bogotá, al igual que el estándar DAB, la cobertura en la ciudad muy buena. Los sitios donde la RSS es de calidad intermedia están ubicados en las localidades de Ciudad Bolívar, Usme y Sumapaz. Se observa que los municipios aledaños, tales como: La Calera, Ubaque, Chipaque y Choachi, tienen baja cobertura, mientras que los municipios de Mosquera, Funza, Cota, Chía y Soacha, cuentan con una cobertura de nivel excelente e intermedio.

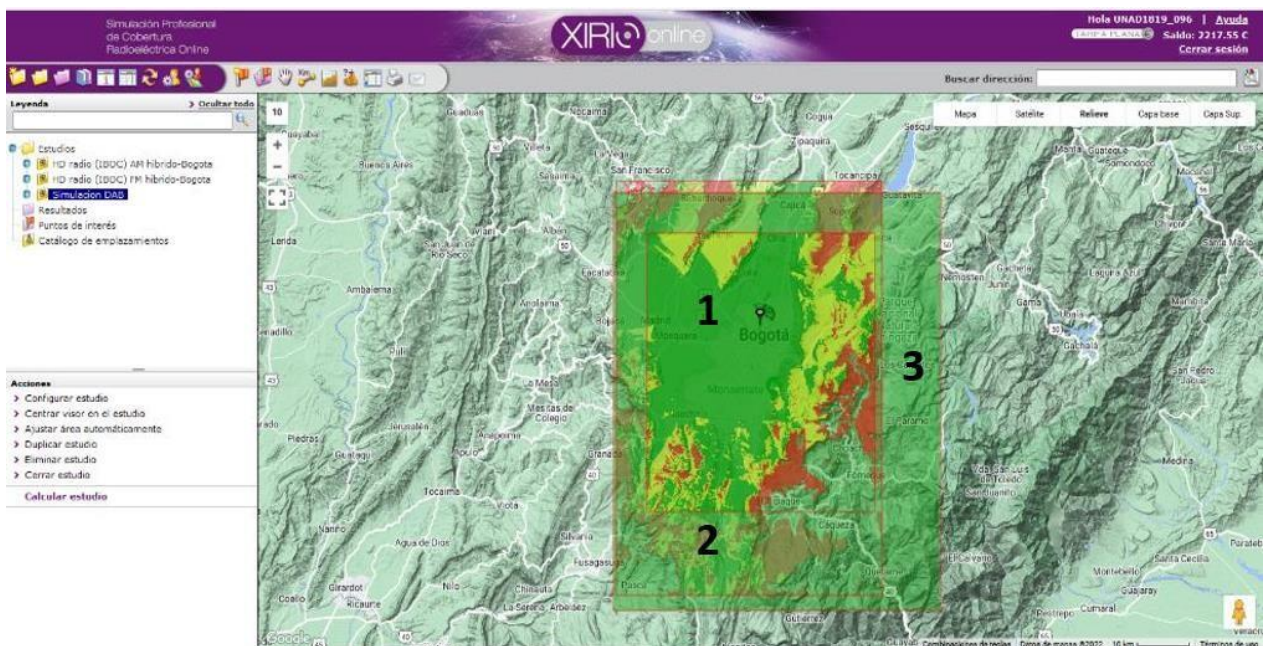
CAPITULO VI

6. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ESTÁNDARES Y VIABILIDAD DEL SISTEMA DE RADIODIFUSIÓN DIGITAL PARA BOGOTÁ

En el presente capítulo se realiza el análisis de los resultados obtenidos en la simulación de los estándares de radiodifusión digital, utilizando el programa en línea Xirio.

En la figura 47 se pueden apreciar los tres estudios de forma simultánea, el número 1 representa el estándar DAB, el número 2 el sistema IBOC híbrido AM y el número 3 el estándar IBOC híbrido FM. Se observa que el área de cálculo de la simulación del estándar DAB es el más reducido, seguido del área de cálculo del HD radio IBOC FM híbrido y por último se puede notar que el área de cálculo del sistema HD radio IBOC AM híbrido es mayor, por la naturaleza de su propagación.

Figura 47
Estudios de cobertura simultáneos



Fuente. Adaptado de (Xirio-online, 2022)

6.1 Análisis de los resultados de intensidad de señal recibida (RSS) “Excelente”.

Para realizar la comparación de nivel de señal recibida, se ubicaron los equipos transmisores en la misma coordenada, para esta simulación se seleccionó el cerro llamado colinas de Suba, sitio predominante ubicado en la localidad de Suba en las coordenadas 04°43'42.31"N – 074°04'51.34"W, lugar donde existe una gran cantidad de antenas de radiodifusión sonora que operan en la ciudad de Bogotá.

En la tabla 22 se presentan los resultados obtenidos en las tres simulaciones desarrolladas en las principales localidades de Bogotá, las cuales obtuvieron una intensidad de la señal recibida (RSS), excelente. La primera columna de la tabla indica la coordenada de recepción, que en este caso se asumió la misma para las tres simulaciones.

Tabla 22. Resultados comparativos del estudio de cobertura. “Excelente”

Coordenada	Localidad	DAB	IBOC AM Híbrido	IBOC FM Híbrido
“04°42'25.87”N – 074°06'44.58”W	Engativá	100.15	98.86	112.08
“04°40'25.44”N – 074°08'43.54”W	Fontibón	93.71	89.41	95.22
“04°43'14.81”N – 074°04'31.87”W	Suba	124.20	124.30	108.83
“04°42'11.84”N – 074°02'08.19”W	Usaquén	107.56	96.72	101.60
“04°39'49.56”N – 074°04'45.93”W	Barrios unidos	101.53	93.38	96.60
“04°39'16.15”N – 074°03'26.21”W	Chapinero	88.98	91.27	87.56
“04°38'32.88”N – 074°05'35.06”W	Teusaquillo	90.64	89.27	94.10
“04°36'23.99”N – 074°05'19.92”W	Mártires	92.50	84.64	93.81
“04°36'54.17”N – 074°07'11.62”W	Puente Aranda	89.70	84.96	91.69
“04°37'49.14”N – 074°08'21.29”W	Kennedy	89.24	85.68	96.18
“04°36'43.85”N – 074°04'20.74”W	Santafé	98.30	85.25	96.28
“04°35'49.18”N – 074°04'28.16”W	La Candelaria	92.21	83.67	91.85
“04°35'25.39”N – 074°06'17.62”W	Antonio Nariño	91.25	82.90	94.53
“04°34'35.80”N – 074°07'06.75”W	Rafael Uribe U.	91.17	81.29	90.78
“04°33'32.66”N – 074°05'46.57”W	San Cristóbal	96.95	79.96	82.56
“04°35'13.07”N – 074°08'47.48”W	Tunjuelito	85.99	80.80	89.66
“04°34'46.20”N – 074°09'36.84”W	Ciudad Bolívar	91.58	79.46	98.93
“04°36'31.22”N – 074°10'57.64”W	Bosa	89.79	80.77	90.11
“04°30'29.00”N – 074°06'55.70”W	Usme	72.22	75.46	76.50
“04°27'00.41”N – 074°08'17.28”W	Sumapaz	70.41	74.07	90.92

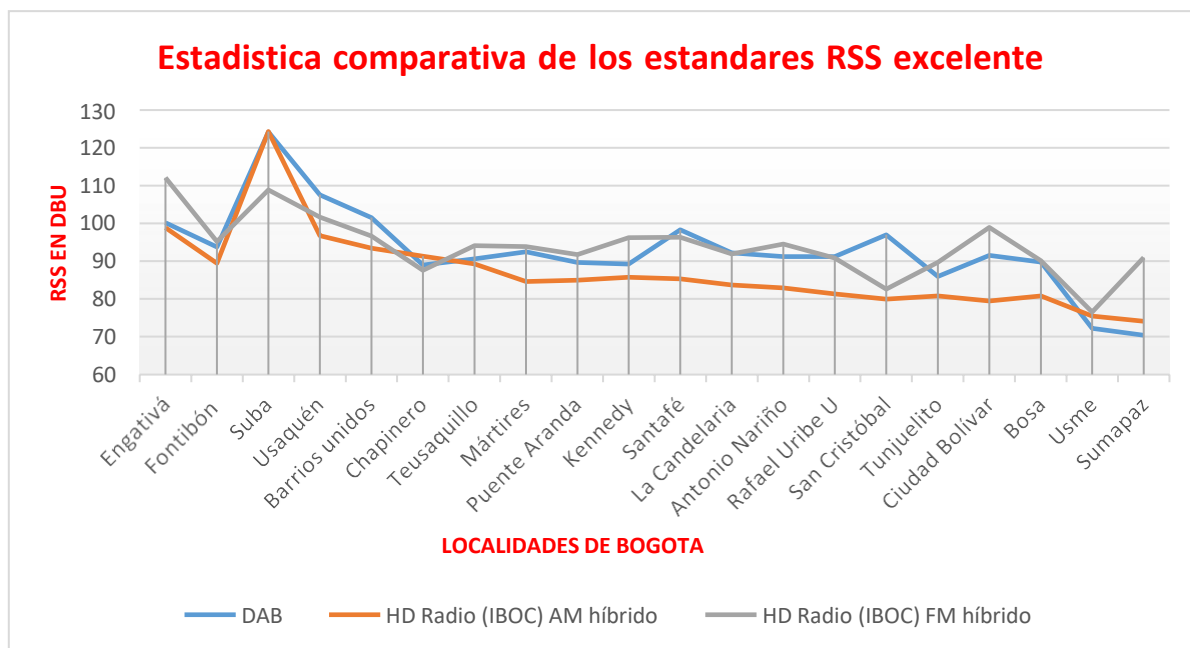
Fuente: Autor

Se puede observar que los niveles más altos de RSS se encuentran en la localidad de Suba, por ser estar ubicadas allí las antenas transmisoras, el sistema DAB y el sistema HD radio (IBOC) FM híbrido mantienen una tendencia muy similar, aunque, en puntos muy específicos como es el caso de las localidades de san Cristóbal y Kennedy, existe una gran variación contraria en los niveles, a diferencia del AM híbrido que mantiene un tendencia casi lineal, que va disminuyendo a medida que aumenta la distancia del emisor.

En la figura 48 se visualiza la gráfica estadística comparativa de los estándares de radiodifusión digital DAB y HD Radio (IBOC) tanto para AM como para FM, cuando la señal tiene un rango excelente. En dicha estadística se compara el sistema DAB, el cual se encuentra representado por el color azul, el sistema HD radio (IBOC) AM híbrido con el color naranja y el sistema HD radio (IBOC) FM híbrido representado por el color gris.

Se puede apreciar que en la localidad de Suba, lugar donde están ubicadas las antenas transmisoras, la intensidad de la señal recibida es mayor para los tres estudios en comparación con el resto de localidades.

Figura 48
Estadística comparativa estándares RSS “Excelente”



Fuente. Autor

Tomando como referencia la ecuación descrita en la figura 49, la desviación estándar es una herramienta que permite conocer la cantidad de variación en una característica medida, permite calcular cuánto se espera que una medición individual se desvíe de la media en promedio, es decir, cuanto mayor sea la desviación estándar, mayor dispersión hay en los datos del proceso. (*¿Qué es la desviación estándar y cómo la calculo? Olano, J, 2020*).

Para calcular la desviación estándar en cada una de las mediciones anteriores, se emplea la siguiente ecuación:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \mu)^2}{N}} \quad (1)$$

Donde:

σ = Desviación estándar

x_i = Cada valor que toma la variable

μ = Media o promedio

N = Tamaño de la población

La tabla 23 indica la desviación calculada para el estándar DAB, IBOC híbrido AM e IBOC híbrido FM, cuando el RSS es excelente.

Tabla 23. Desviación estándar en RSS excelente.

Estándar digital	DAB	IBOC híbrido AM	IBOC híbrido FM
Desviación Estándar σ	11,2646384	10,89462272	7,913288275

Fuente. Autor

Se puede observar que el sistema DAB es el estándar que presenta una mayor desviación, es decir, tiene una mayor dispersión en los datos suministrados por la simulación, mientras que el sistema HD radio FM híbrido, es el estándar que posee menor dispersión en los datos. Teniendo en cuenta lo anterior, es posible indicar que en el estándar DAB existe una mayor variación de la recepción dependiendo de la ubicación de la antena transmisora, mientras que en la recepción de IBOC híbrido FM la potencia de la señal recibida tiene menor variación.

6.2 Análisis de los resultados de intensidad de señal recibida (RSS) “Intermedia”.

La tabla 24 describe los resultados obtenidos en la simulación efectuada en 10 puntos de la ciudad de Bogotá, pertenecientes a diferentes localidades, principalmente ubicadas en el sur de la ciudad, donde la intensidad de la señal recibida (RSS), es equivalente a un rango intermedio. Para esta tabla, se tomó como en el anterior estándar, el mismo punto de ubicación de la antena transmisora, para todas las mediciones. La primera columna de la tabla hace referencia a la coordenada del receptor.

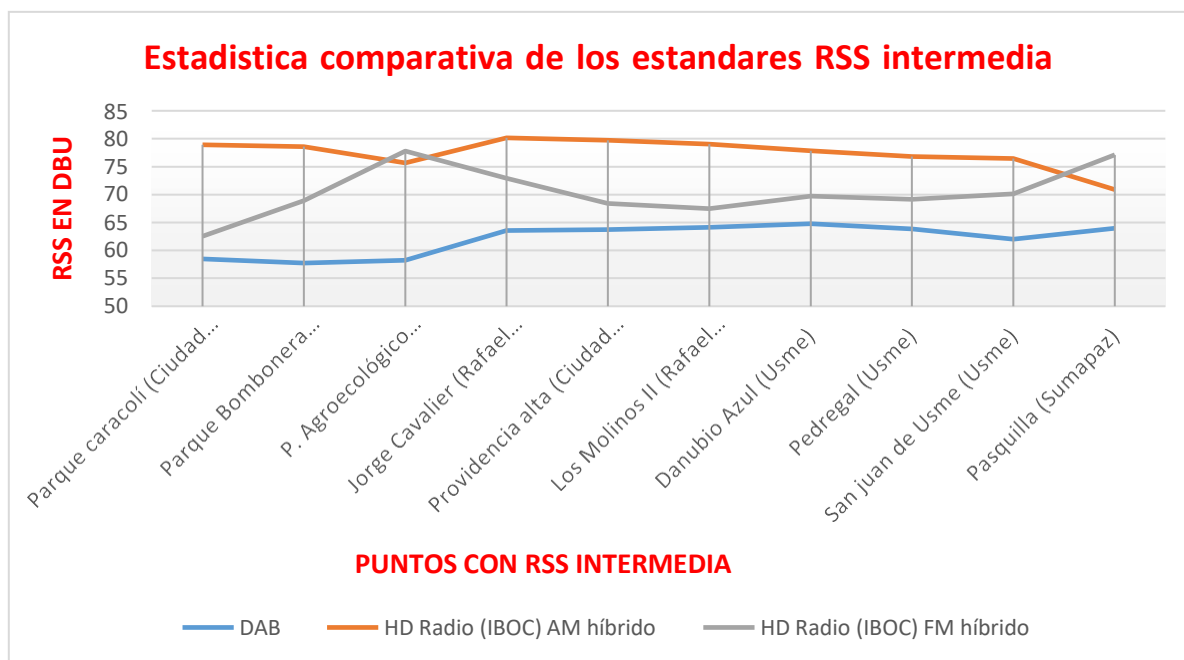
Tabla 24. Resultados comparativos del estudio de cobertura. “Intermedia”

Coordenada	Localidad	DAB	IBOC AM Híbrido	IBOC FM Híbrido
"04°34'24.97"N - 074°10'20.95"W	Parque caracolí (Ciudad Bolívar)	58.47	78.92	62.50
"04°34'16.62"N - 074°10'18.27"W	Parque Bombonera (Usme)	57.72	78.60	68.88
"04°33'11.74"N - 074°12'33.49"W	P. Agroecológico (Ciudad Bolívar)	58.21	75.64	77.78
"04°33'57.52"N - 074°06'40.79"W	Jorge Cavalier (Rafael Uribe U.)	63.59	80.15	72.89
"04°33'36.73"N - 074°06'43.88"W	Providencia alta (Ciudad Bolívar)	63.74	79.75	68.37
"04°33'06.70"N - 074°06'27.20"W	Los Molinos II (Rafael Uribe U.)	64.14	79.05	67.46
"04°32'13.95"N - 074°06'44.27"W	Danubio Azul (Usme)	64.77	77.82	69.69
"04°31'26.52"N - 074°06'36.85"W	Pedregal (Usme)	63.85	76.82	69.15
"04°31'08.81"N - 074°06'42.11"W	San Juan de Usme (Usme)	62.00	76.48	70.08
"04°26'38.80"N - 074°09'22.94"W	Pasquilla (Sumapaz)	63.98	70.90	77.11

Fuente. Autor

La figura 50 describe el resultado gráfico de la estadística comparativa de los estándares de radio digital, correspondiente a 10 puntos de la ciudad de Bogotá, que se encuentran ubicados en la franja de color amarillo, indicando que la intensidad de señal recibida es intermedia.

Figura 49
Estadística comparativa estándares RSS “Intermedia”



Fuente. Autor

La gráfica muestra que el estándar HD radio (IBOC) AM híbrido, representa la señal con mayor nivel de recepción en comparación con las otras dos señales, así mismo, la señal de HD radio FM híbrido, es la transmisión que tiene el rango de señal más bajo en los puntos estudiados.

La tabla 25 describe la desviación estándar, obtenida en los puntos donde la intensidad de la señal recibida RSS se ubica en un rango intermedio.

Tabla 25. Desviación estándar en RSS intermedia.

Estándar digital	DAB	IBOC híbrido AM	IBOC híbrido FM
Desviación Estándar σ	2,794288	2,713403152	4,538008496

Fuente. Autor

En la tabla 25 se puede apreciar la desviación estándar de los sistemas de radio digital, para niveles de recepción intermedio, el sistema HD Radio FM híbrido es el estándar que presenta una mayor desviación, mostrando una dispersión superior en los datos

suministrados, a diferencia del sistema HD radio AM híbrido que presenta menor dispersión en los datos medidos.

6.3 Análisis de los resultados de intensidad de señal recibida (RSS) “Baja”.

La tabla 26 exhibe los resultados obtenidos en la simulación efectuada, en 10 puntos localizados en municipios circunvecinos de la capital de la república, donde la intensidad de la señal recibida (RSS), es equivalente a un rango bajo. En estas mediciones, se tomó el mismo punto de la antena transmisora y la primera columna representa la ubicación del receptor.

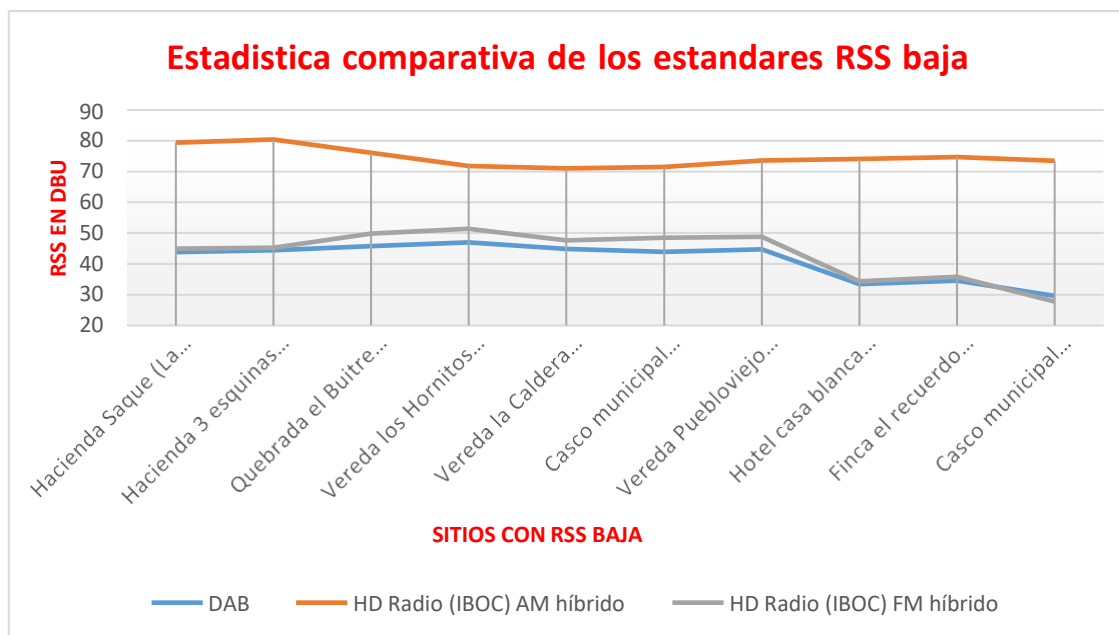
Tabla 26. Resultados comparativos del estudio de cobertura. “Baja”

Coordenada	Localidad	DAB	IBOC AM Híbrido	IBOC FM Híbrido
"04°40'21.76"N - 073°54'55.75"W	Hacienda Saque (La Calera)	43.83	79.37	45.00
"04°40'06.37"N - 073°55'38.70"W	Hacienda 3 esquina (La Calera)	44.38	80.41	45.27
"04°31'09.03"N - 074°01'09.63"W	Quebrada el Buitre (Ubaque)	45.83	76.02	49.88
"04°26'59.83"N - 074°04'01.41"W	Vereda los Hornitos (Chipaque)	46.97	71.79	51.39
"04°26'08.39"N - 074°04'08.67"W	Vereda la Caldera (Chipaque)	44.84	70.99	47.70
"04°26'34.57"N - 074°02'47.72"W	Casco municipal (Chipaque)	43.88	71.42	48.50
"04°30'14.02"N - 073°58'10.85"W	Vereda Puebloviejo (Ubaque)	44.77	73.58	48.76
"04°30'06.93"N - 073°59'13.57"W	Hotel casa blanca (Ubaque)	33.45	74.07	34.39
"04°31'49.35"N - 073°58'18.72"W	Finca el recuerdo (Choachi)	34.60	74.72	35.78
"04°31'43.19"N - 073°55'30.63"W	Casco municipal (Choachi)	29.62	73.48	27.75

Fuente: Autor

La figura 51 presenta el resultado gráfico de los estándares de radio digital, correspondiente a 10 puntos localizados en algunos municipios aledaños a la ciudad de Bogotá, que se encuentran ubicados en la franja de color rojo, indicando que la intensidad de señal recibida es baja.

Figura 50
Estadística comparativa estándares RSS “baja”



Fuente. Autor

La gráfica muestra que el estándar HD radio (IBOC) AM híbrido, representa la señal con mayor nivel de recepción, un promedio comprendido entre los 70 y 80 dBu, manteniendo un rango estable, a pesar de que la distancia del transmisor es mayor, en comparación con las localidades de Bogotá, mientras que los estándares HD radio (IBOC) FM híbrido y el estándar DAB, se encuentran en niveles muy cercanos al umbral, lo que significa la ausencia de señal o un nivel de recepción muy deficiente.

La tabla 27 describe la desviación estándar, obtenida en los puntos donde la intensidad de la señal recibida RSS se ubica en un rango bajo, el sistema HD Radio FM híbrido es el estándar que presenta una mayor desviación, mostrando elevada dispersión en los datos suministrados, seguido por el estándar DAB, mientras que el sistema HD radio AM híbrido presenta la menor dispersión en los datos medidos.

Tabla 27. Desviación estándar en RSS bajo.

Estándar digital	DAB	IBOC híbrido AM	IBOC híbrido FM
Desviación Estándar σ	6,17028732	3,199893227	7,953101142

Fuente. Autor

6.4 Análisis de los resultados obtenidos.

Luego de haber desarrollado toda la simulación, realizar los cuadros estadísticos, alimentados por los datos suministrados por el programa Xirio y obtener la desviación estándar para cada uno de los gráficos, se puede realizar un análisis objetivo, teniendo como referencia la intensidad de señal recibida (RSS), para cada caso, donde las zonas de color verde ostentan una señal excelente, las zonas de color amarillo una señal intermedia y las franjas de color rojo, poseen una señal relativamente baja o ausencia de señal.

Analizando la estadística comparativa de los estándares de radio digital en estudio, cuando la señal es excelente, se puede apreciar que la localidad que tiene los niveles dBu más altos es la localidad de Suba, porque los equipos de transmisión están ubicados en el cerro colinas de suba, perteneciente a dicha localidad.

De acuerdo con las mediciones realizadas, las señales del estándar DAB y FM híbrido (IBOC) mantienen una tendencia similar, solamente existen variaciones en algunas localidades como Ciudad Bolívar, Usme, Rafael Uribe y Sumapaz, ubicadas en la parte sur de la ciudad, la señal se torna a un nivel intermedio, en vista que las antenas se encuentran ubicadas al norte de la ciudad, se observa que los niveles más altos de recepción de señal los obtiene el estándar AM IBOC, mientras que los niveles dBu más bajos los ostenta el estándar DAB. Se puede inferir que para la ciudad de Bogotá, el estándar HD Radio (IBOC) AM tiene una cobertura que permite llegar a los puntos más alejados, incluyendo los barrios periféricos de la ciudad.

Se debe tener en cuenta que el estudio de cobertura se desarrolló para la ciudad de Bogotá, sin embargo, los puntos con niveles más bajos de señal, se ubican en municipios aledaños, como la Calera, Ubaque, Chipaque y Choachi, los cuales se encuentran detrás de los cerros orientales, que se comportan como un obstáculo natural para las señales de VHF, caso contrario acontece con la transmisión de HD Radio (IBOC) AM, cuya señal se mantiene en niveles excelentes por la naturaleza de su propagación, el estándar DAB y FM IBOC mantienen niveles similares, en los mismos puntos de referencia.

El estudio comparativo describe las bondades de cada uno de los estándares, cabe indicar que el sistema HD Radio AM híbrido, funciona de una forma muy distinta al sistema DAB y FM IBOC, por los distintos modos de propagación, el AM IBOC no solo cubre en su totalidad la ciudad de Bogotá, también entrega una señal excelente a los municipios circunvecinos, sin verse afectado por los obstáculos naturales.

Para el análisis de la desviación estándar, los resultados manejan diferentes tendencias, el estándar HD Radio (IBOC) FM híbrido, es el sistema que mejor respuesta presenta en cuanto a la desviación, cuando los niveles de señal se encuentran en condiciones óptimas (RSS excelente), es decir, la gran mayoría de las localidades de Bogotá, mientras que el sistema HD Radio (IBOC) AM, presenta los niveles más bajos en la desviación, cuando los niveles de señal se enmarcan en intermedio y bajo. Teniendo en cuenta que el estudio realizado es para la ciudad de Bogotá, el estándar DAB es el sistema que presenta mayor desviación estándar o dispersión de datos en la zona de interés.

Al realizar la comparación entre el sistema DAB y el HD Radio (IBOC) FM, se encuentran algunas diferencias, por ejemplo; El sistema DAB es netamente digital, el cual presenta una mayor cobertura y una menor potencia requerida a la hora de transmitir, un gran inconveniente es que opera en frecuencias que se encuentran por encima de la gama del FM comercial, generando un gran problema para los habitantes de Bogotá, ya que se verían obligados a adquirir equipos receptores digitales. Esto implica un gran impedimento, inclusive para los países de la unión europea que están en el proceso de implementación de este sistema digital, debido al costo que asume el usuario final.

El estándar de radiodifusión digital HD radio (IBOC), en sus dos sistemas AM híbrido y FM híbrido, transmite las dos señales, tanto la señal digital, como la señal analógica, utilizando la misma gama de frecuencias, AM comercial (540 KHz – 1600 KHz) y la misma gama del FM comercial (88 MHz – 108 MHz), permitiendo que en los mismos receptores de radio tradicionales (analógicos) se pueda recibir la señal análoga y facilita la transición a la radio digital. Es decir, los habitantes que deseen y tengan los medios pueden adquirir su receptor digital y hacer uso de esta nueva tecnología, disfrutando de las bondades de la radio digital, quienes no tengan esa misma posibilidad, no quedarán fuera del servicio de radiodifusión, porque, pueden seguir utilizando los receptores analógicos. El sistema IBOC tiene la posibilidad de transmitir en modo híbrido, el cual emite las dos señales, el híbrido ampliado que reduce un poco el ancho de banda de la señal analógica y el modo completamente digital, lo que facilita la coexistencia y el paso a la nueva tecnología.

El estándar de radiodifusión digital que más se adapta a la ciudad de Bogotá es el HD Radio (IBOC), tanto en el sistema de AM híbrido como en el FM híbrido, pese a que el sistema DAB y el HD Radio (IBOC) FM híbrido mantienen características similares, una de las grandes diferencias radica en que los países de América latina que se encuentran en la implementación de la radio digital, como es el caso de México, Brasil, Panamá y Costa Rica han optado por el sistema HD Radio. Así mismo, el sistema HD Radio (IBOC) trabaja en la misma gama de frecuencias de la radiodifusión establecida para Colombia, a diferencia del DAB que utiliza una gama de frecuencias más alta, la banda III (174 MHz - 240 MHz) y la banda L (1452 MHz - 1492 MHz), estas bandas ya se encuentran asignadas en Colombia para telefonía móvil, televisión abierta, radiodifusión por satélite y radionavegación. Finalmente, tanto el AM IBOC híbrido y FM híbrido, permiten seguir utilizando los receptores tradicionales, mientras se adquieren los equipos modernos para recibir la señal digital, es decir, permite la transición de un sistema al otro.

A la hora de una implementación de un estándar de radiodifusión digital en la ciudad de Bogotá, se hace necesario un estudio muy detallado tanto desde el punto de vista económico, como social, en vista que los ingresos recibidos por una emisora comercial, son muy diferentes a los de una emisora estatal o comunitaria. Sería el objetivo principal para un proyecto de investigación.

En los países donde se viene implementando esta nueva tecnología han surgido una gran cantidad de inconvenientes de tipo económico, político y social, en vista que los equipos a utilizar son costosos, tanto los transmisores como los receptores. Mencionada migración es relativamente lenta, la implementación de un estándar de radiodifusión digital debiera convertirse en una política estatal, dándole la importancia que merece dicha tecnología, así como se realizó con la televisión digital terrestre (TDT) en Colombia.

La transición a la radiodifusión digital implica algunas inversiones que dependen del equipamiento con el que cuenten las emisoras, por ejemplo el procesamiento del audio digital y el tipo de equipos transmisores. Las emisoras nuevas necesitarían la adquisición de la totalidad de los equipos, como son el de transmisión, producción y grabación. Las emisoras que están operando no están adecuadas para transmisiones digitales, por ende necesitan como mínimo un transmisor digital.

Los costos aproximados de un equipo de transmisión digital para realizar emisiones en AM Y FM híbrido oscila entre 10.000 y 15.000 dólares, el precio varía por la cantidad de componentes suministrados, entre ellos: Consolas, equipos de cómputo, micrófonos, monitores, antenas, cables entre otros. Así mismo, por el tipo de potencia que suministre a su salida. El precio promedio de un receptor digital oscila entre 15 y 30 dólares, dependiendo de las características del equipo. Colombia debe mantenerse a la vanguardia con las últimas innovaciones en materia de radiodifusión, puesto que los radioescuchas pueden tener una mejor experiencia a través de ello, con todos los beneficios que la tecnología ofrece.

7. CONCLUSIONES

- Actualmente la banda FM se encuentra saturada en Bogotá, lo que ocasiona que no se puedan adjudicar más licencias comerciales. Adicionalmente, existen algunas emisoras comunitarias que comparten el mismo dial, lo que puede generar interferencias entre ellas, lo anterior demanda la realización de proyectos de interés nacional para analizar las alternativas que puede seguir el país, con el fin de dar solución a la problemática y con ello liberar espacio EM que pueda satisfacer la demanda que tiene el país en emisoras de radiodifusión sonora.
- Se pudo evidenciar que en la actualidad existen 4 estándares de radiodifusión digital, que se encuentran en proceso de implementación a nivel mundial, el sistema DAB (Digital Audio broadcasting) creado en la unión europea, el estándar DRM (Digital Radio Mondiale) desarrollado en la china, el sistema en banda dentro de canal IBOC (In-band On-channel) creado en Estados Unidos y la Radiodifusión digital de servicios integrados ISDB-Tsb (Terrestrial sound broadcasting) desarrollado en Japón. Los estándares seleccionados para el estudio comparativo fueron el sistema DAB y el sistema IBOC, debido a que se emplean en algunos países latinoamericanos y en continentes como Europa que tiene gran parte de su topografía similar a Colombia, por sus terrenos montañosos y alta vegetación. Adicionalmente, dichos estándares tienen mayor potencia en el transmisor.
- La simulación efectuada se diseñó teniendo en cuenta un escenario real de implementación en Bogotá. Para esto, se realizó el diseño de las simulaciones en el programa Xirio, teniendo en cuenta todas las características técnicas de cada uno de los estándares a comparar, de igual forma se relacionaron los equipos que permiten este tipo de transmisiones. En cuanto a la frecuencia, para el sistema DAB se utilizó la banda III (174 a 240 MHz) por tener una mejor respuesta a los obstáculos naturales y artificiales. En el estándar HD Radio (IBOC), se utilizó el modo híbrido, para transmitir tanto la señal digital como la analógica en las mismas frecuencias que emplea la radio analógica.
- Con respecto a las simulaciones realizadas, se puede concluir que los dos estándares en mención cumplen con la cobertura de señales de radiodifusión digital en la mayoría de las localidades de Bogotá y algunos municipios aledaños, es decir, los dos estándares tendrían cobertura en Bogotá. En cuanto al análisis de la potencia recibida en los diferentes puntos de medición, el estándar HD Radio (IBOC) FM híbrido, es el sistema que mejor respuesta presenta en cuanto a la desviación de los datos analizados en potencias con niveles excelentes. El sistema HD Radio (IBOC) AM, presenta los niveles más bajos en la desviación, cuando los niveles de señal se enmarcan en intermedio y bajo. Teniendo en cuenta que el estudio realizado es para la ciudad de Bogotá, el estándar DAB es el sistema que presenta mayor desviación estándar o dispersión de datos en la zona de interés.

- El sistema de radiodifusión digital que más se adapta a la ciudad de Bogotá es el estándar HD Radio (IBOC), tanto en FM híbrido como en AM híbrido, por tener la posibilidad de transmitir en los dos modos, la señal analógica y digital, permitiendo la transición de un sistema al otro, asimismo emplea la gama de frecuencias utilizada en AM y FM analógico, lo cual permite seguir utilizando los receptores de radio tradicionales (analógicos). Por su parte, DAB, no facilita esta transición, por ser estrictamente digital, y a diferencia del estándar DAB utiliza una gama de frecuencias que ya se encuentran asignadas a otras tecnologías.

REFERENCIAS

TESIS Y Masters Argentina [Anónimo]. Tesis y Masters Argentina [página web]. [Consultado el 9, diciembre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://tesisymasters.com.ar/tesis-marco-teorico/>>.

CLARO COLOMBIA. Televisión digital: todo lo que debes saber. Claro Empresa| Más Tecnología, planes de internet, tv, telefonía [página web]. (15, diciembre, 2021). [Consultado el 9, diciembre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://www2.claro.com.co/institucional/television-digital/>>.

DE CÓMO la radio sorprendió a la Humanidad - Naturgy [Anónimo]. [Consultado el 9, diciembre, 2022]. Disponible en Internet: https://www.naturgy.com/de_como_la_radio_sorprendio_a_la_humanidad>.

10 DATOS sobre el origen de la radio en el mundo [Anónimo]. Radio Nacional de Colombia: música e historias de las regiones [página web]. [Consultado el 9, diciembre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://www.radionacional.co/cultura/origen-de-la-radio-en-el-mundo-10-datos>>.

SEÑALES ANALÓGICAS y digitales - EcuRed [Anónimo]. EcuRed [página web]. [Consultado el 9, diciembre, 2022]. Disponible en Internet: <https://www.ecured.cu/Señales_analógicas_y_digitales>.

SEÑAL DIGITAL y Análoga ¿Qué es? [Anónimo]. DECU Soluciones S.A. de C.V. [página web]. [Consultado el 9, diciembre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://www.decu.com.mx/senal-digital-y-analoga-que-es/>>.

72 – ¿Cómo funciona la radio digital? – Radios Libres [Anónimo]. Radios Libres – Formación y debate en torno a las tecnologías y la cultura libre con radios y medios comunitarios. [página web]. [Consultado el 9, diciembre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://radioslibres.net/72-como-funciona-la-radio-digital/>>.

ESTUDIO COMPARATIVO de los estándares de radiodifusión digital terrenal orientado a definir su aplicabilidad en el Ecuador [Anónimo]. 1Library.Co - plataforma para compartir documentos [página web]. [Consultado el 9, diciembre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://1library.co/document/yd7e48ey-estudio-comparativo-estandares-radiodifusion-digital-orientado-aplicabilidad-ecuador.html>>.

QUÉ ES... Radio digital terrestre [Anónimo]. CONSULTORIA EN TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION Y COMUNICACIONES [página web]. [Consultado el 9, diciembre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://www.ramonmillan.com/tutoriales/radiodigitalterrestre.php>>.

COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TÉCNICOS DE TELECOMUNICACIÓN - 91.536.37.87 [página web]. [Consultado el 9, diciembre, 2022]. Disponible en Internet: <https://www2.coitt.es/res/revistas/Antena166_06a_Reportaje_FM_digital.pdf>.

DIBEG. What is ISDB-T. DIBEG [página web]. (2, febrero, 2022). [Consultado el 9, diciembre, 2022]. Disponible en Internet: <https://www-dibeg.org.translate.goog/techp/what/? x tr sl=en& x tr tl=es& x tr hl=es-419& x tr_pto=sc>.

¿ESPAÑA PODRÍA replantearse la implantación de la radio digital DAB? [Anónimo]. Panorama Audiovisual [página web]. [Consultado el 9, diciembre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://www.panoramaaudiovisual.com/2020/09/03/espana-podria-replantearse-la-implantacion-de-la-radio-digital-dab/>>.

QUÉ HA pasado con la radio digital – Parte II | radio NOTAS [Anónimo]. Radio NOTAS | Compartiendo Ideas [página web]. [Consultado el 9, diciembre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://radionotas.com/2019/05/17/que-ha-pasado-con-la-radio-digital-parte-ii/>>.

VERSIÓN BETA. Qué es la Radio Digital Terrestre [video]. YouTube. (30, mayo, 2017). [Consultado el 9, diciembre, 2022]. 18:10 min. Disponible en Internet: <<https://www.youtube.com/watch?v=2ODcJlsbN8Y>>.

CONOZCA LA Historia de la Radio en Colombia [Anónimo]. RTVC Sistema de Medios Públicos [página web]. [Consultado el 9, diciembre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://www.rtv.gov.co/noticia/conozca-la-historia-de-la-radio-en-colombia>>.

CAPÍTULO 1.1: qué es una radio en línea y cuáles son sus ventajas – Radios Libres [Anónimo]. Radios Libres – Formación y debate en torno a las tecnologías y la cultura libre con radios y medios comunitarios. [página web]. [Consultado el 9, diciembre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://radioslibres.net/que-es-una-radio-en-linea-y-ventajas/>>.

INFO DE la radio [Anónimo]. Info de la radio [página web]. [Consultado el 9, diciembre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://radiofisherton.com.ar/>>.

RIAÑO, Alejandro Riaño y SIGALOTTI, Marianna. Colombia y la transformación digital en 2021. Caracol Radio [página web]. [Consultado el 9, diciembre, 2022]. Disponible en Internet: <https://caracol.com.co/radio/2021/12/31/podcast/1640981831_741509.html>.

Repositorio Institucional Areandina [página web]. [Consultado el 9, diciembre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://digitk.areandina.edu.co/bitstream/handle/areandina/1417/Radio%20Difusión%20Básica.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.

EMISORAS EN vivo transmitiendo desde Bogotá [Anónimo]. Últimas noticias y servicios de Colombia - Colombia.com [página web]. [Consultado el 9, diciembre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://www.colombia.com/radio/emisoras-bogota-c1>>.

VENTAJAS Y desventajas de la Amplitud Modulada (AM) y la Frecuencia [Anónimo]. 1Library.Co - plataforma para compartir documentos [página web]. [Consultado el 9, diciembre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://1library.co/article/ventajas-desventajas-ampli-tud-modulada-am-frecuencia.go3l1okq>>.

2022, EL año del nuevo impulso a la radio desde el Gobierno [Anónimo]. GORKA ZUMETA - Consultor y Formador [página web]. [Consultado el 9, diciembre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://www.gorkazumeta.com/2020/11/2022-el-ano-del-nuevo-impulso-la-radio.html>>.

COLOMBIA TIENE 1.705 emisoras registradas y mayoría son comunitarias [Anónimo]. Diario La República [página web]. [Consultado el 9, diciembre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://www.larepublica.co/ocio/colombia-tiene-1-705-emisoras-registradas-y-la-mayoria-son-iniciativas-comunitarias-3302240>>.

EMISORAS DE radio en Bogotá, Colombia / Radio stations in Bogotá, Colombia World Radio Map [Anónimo]. World Radio Map [página web]. [Consultado el 9, diciembre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://worldradiomap.com/co/bogota>>.

EMISORAS DE Bogotá D.C. en Vivo [Anónimo]. www.emisorascolombianas.co [página web]. [Consultado el 9, diciembre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://www.emisorascolombianas.co/radio/bogota-dc>>.

MINTIC COLOMBIA - Plan Técnico Nacional [Anónimo]. MINTIC Colombia [página web]. [Consultado el 9, diciembre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://www.mintic.gov.co/portal/inicio/Micrositios/Sector-de-Radiodifusion-Sonora/Plan-Tecnico-Nacional/>>.

ONDAS AM y FM [Anónimo]. educar - Educ.ar [página web]. [Consultado el 9, diciembre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://www.educ.ar/recursos/15279/ondas-am-y-fm>>.

FRECUENCIA MODULADA - Memoria Chilena, Biblioteca Nacional de Chile [Anónimo]. Memoria Chilena: Portal [página web]. [Consultado el 9, diciembre, 2022]. Disponible en Internet: <<http://www.memoriachilena.gob.cl/602/w3-article-95376.html>>.

BOGOTÁ Y sus localidades | Secretaría de Cultura, Recreación y Deporte [Anónimo]. Secretaría de Cultura, Recreación y Deporte [página web]. [Consultado el 9, diciembre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/es/bogotanitos/bogodatos/bogota-y-sus-localidades>>.

CITYNOTICIAS. Hay más de 7 millones de habitantes en Bogotá, según cifras del censo. El Tiempo [página web]. (4, julio, 2019). [Consultado el 9, diciembre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://www.eltiempo.com/bogota/numero-de-habitantes-de-bogota-segun-el-censo-del-dane-384540>>.

COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TÉCNICOS DE TELECOMUNICACIÓN - 91.536.37.87 [página web]. [Consultado el 9, diciembre, 2022]. Disponible en Internet: <https://www2.coitt.es/res/revistas/Antena166_06a_Reportaje_FM_digital.pdf>.

STACKPATH [Anónimo]. StackPath [página web]. [Consultado el 9, diciembre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://gatesair.com/products/transmit-radio/dab-transmitters/maxiva-op-series>>.

INICIO - Abralía Systems. Conectamos Tecnología [Anónimo]. Inicio - Abralía Systems. Conectamos Tecnología [página web]. [Consultado el 9, diciembre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://www.abralia.eu/>>.

DAB+ DIGITAL radio transmitters - Radio/TV transmitter superstore [Anónimo]. Radio/TV transmitter superstore [página web]. [Consultado el 9, diciembre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://www.pcs-electronics.com/es/categoria-producto/dab-digital-radio-transmitters/>>.

ESTUDIOS > Cobertura > Parámetros de Radio del Transmisor [Anónimo]. Bienvenido a XIRIO ONLINE [página web]. [Consultado el 9, diciembre, 2022]. Disponible en Internet: <https://www.xirio-online.com/web/help/es/tx_radio_params.htm>.

IBOC WHITE Papers - HD Radio [Anónimo]. HD Radio [página web]. [Consultado el 9, diciembre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://hdradio.com/broadcasters/engineering-support/iboc-white-papers/>>.