

**Evaluación técnica de los estándares IBOC y DRM de radiodifusión digital para su  
implementación en la ciudad de Cali Colombia**

Lennin Yovanny Miranda de la Hoz

Asesor

Dra. Mónica Andrea Rico Martínez

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD  
Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTI  
Ingeniería de Telecomunicaciones

2024

## Resumen

En la actualidad en Colombia funciona el sistema de Radiodifusión análoga terrestre. Existen más de 1.700 emisoras en nuestro país; entre estas se encuentran las de carácter comercial, comunitarias y otras de interés público. El problema radica con el uso inadecuado del espectro radioeléctrico, la cantidad de emisoras en un rango tan pequeño, sumado a las solicitudes de licencias de radiodifusión para nuevas emisiones. Este estudio fue enfocado en la ciudad de Cali, donde se produce el fenómeno de la piratería o emisoras informales. Según el MINTIC más de 30 de ellas emiten su señal, causando gran interferencia al medio.

Mediante esta investigación se ofrece una alternativa al país, para cambiar la tecnología de radiodifusión análoga a digital. Pues esta última utiliza códigos binarios, el envío y recepción de paquetes; lo que permitiría un menor consumo del medio de transmisión, menos interferencia y mayor calidad del audio. Además, los sistemas basados en diseños digitales son más eficaces, precisos y versátiles. En ese sentido se evaluaron los estándares de radiodifusión digital IBOC y DRM, mediante la comparación de sus características técnicas y la simulación de estos en la ciudad de CALI en la banda de 88 a 108 MHz.

**Palabras clave:** Radiodifusión, emisoras, espectro, radioeléctrico, estándares.

## **Abstract**

Currently, the analog terrestrial broadcasting system operates in Colombia. There are more than 1,700 stations in our country; Among these are those of a commercial, community nature and others of public interest. The problem lies with the inadequate use of the radio spectrum, the number of stations in such a small range, added to the applications for broadcasting licenses for new broadcasts. This study was focused on the city of Cali, where the phenomenon of piracy or informal stations occurs. According to the MINTIC, more than 30 of them emit their signal, causing great interference to the environment.

Through this research, an alternative is offered to the country to change analogue to digital broadcasting technology. Well, the latter uses binary codes, the sending and receiving of packages, which would allow less consumption of the transmission medium, less interference and higher audio quality. Furthermore, systems based on digital designs are more efficient, precise and versatile. In this sense, the IBOC and DRM digital broadcasting standards were evaluated, by comparing their technical characteristics and simulating them in the city of CALI in the band from 88 to 108 MHZ.

***Keywords:*** Broadcasting, stations, spectrum, radio, standards.

## Tabla de Contenido

Introducción .....	15
Planteamiento del Problema .....	16
Objetivos .....	19
Objetivo General .....	19
Objetivos Específicos .....	19
Justificación .....	20
Marco Teórico y Conceptual .....	24
Sistemas de Radiodifusión Digital sonora .....	24
Sistema de Radiodifusión Sonora Digital DAB .....	24
Sistema de Radiodifusión Digital Sonora IBOC .....	26
Sistema de Radiodifusión Digital Sonora Radio Mondiale (DRM) .....	27
Modo DRM30 .....	27
Modo DRM+ .....	28
Sound Broadcasting ISDB-TsB .....	28
Marco Metodológico .....	31
Etapa 1: Planear .....	31
Objetivo 1: Planeación .....	31
Objetivo 2: Estudiar la Situación Actual de la Radiodifusión FM en Cali .....	31
Etapa 2: Hacer .....	31

Objetivo 3: Diseñar las Pruebas y Simulaciones a Realizar .....	31
Objetivo 4: Simular en Xirio los dos Estándares en la Ciudad de CALI .....	32
Etapa 3: Verificar .....	32
Objetivo 5: Simular la Coexistencia de los dos Estándares con la Radiodifusión Análoga en Cali.....	32
Objetivo 6: Evaluar los Resultados Mediante la Comparación de Estos .....	32
Etapa 4: Actuar.....	33
Análisis de la Infraestructura de Radiodifusión Analógica en Cali .....	34
Radiodifusión Sonora.....	34
Radiodifusión Sonora en Colombia .....	34
Radiodifusión en Amplitud Modulada (AM).....	34
Radiodifusión en Frecuencia Modulada (FM) .....	34
Radiodifusión Digital y Nuevas Tecnologías.....	35
Clasificación de la Radiodifusión en Colombia.....	35
Por la Gestión del Servicio .....	36
Directa.....	36
Por la Orientación de la Programación.....	36
Radiodifusión Sonora Comercial.....	36
Por la Tecnología de Transmisión.....	37
Por Área de Servicio.....	38

Situación Actual de las Emisoras en Colombia .....	38
Radiodifusión Sonora en Cali .....	40
Emisoras y Ubicación .....	42
Emisoras AM Cali .....	42
Emisoras FM Cali .....	43
Radiodifusión Sonora Digital.....	47
Estándar IBOC.....	47
Arquitectura de Red Estándar IBOC.....	53
Capacidad de Red del Estándar IBOC.....	54
Ventajas del Estándar de Radiodifusión IBOC.....	55
Estándar DRM .....	56
Modo DRM30.....	59
Modo DRM+.....	59
Arquitectura de Red Estándar DRM.....	60
Capacidad de Red del Estándar DRM .....	61
Ventajas del Sistema de Radiodifusión DRM .....	62
Diseño de Simulación del Sistema de Radiodifusión Digital DRM y el Sistema IBOC en la Ciudad de Cali.....	64
Diseño de la Simulación Sistema IBOC FM Híbrido .....	64
Equipo Transmisor Sistema IBOC en FM Híbrido .....	64

Configuración Xirio en Transmisión del Flexiva FLX - HD Radio (IBOC), FM Híbrido.	
.....	67
Configuración del Estudio de Cobertura (IBOC - FM Híbrido).....	67
Propiedades del Estudio de Cobertura (IBOC FM Híbrido).....	68
Propiedades de la Banda de Frecuencias (IBOC FM Híbrido).....	69
Configuración del Transmisor (IBOC FM Híbrido).....	69
Configuración de Parámetros de Transmisor (IBOC FM Híbrido). ....	70
Configuración de Parámetros de Recepción (IBOC FM Híbrido).....	72
Configuración de Parámetros de Cálculo (IBOC FM Híbrido) .....	73
Configuración de Área de Cálculo y Rangos (IBOC FM Híbrido). ....	74
Diseño de la Simulación Sistema DRM FM: .....	75
Configuración Xirio en Transmisión del Flexiva HP - DRM, FM Híbrido .....	79
Configuración del Estudio de Cobertura (DRM - FM).....	79
Propiedades del Estudio de Cobertura (DRM+ FM) .....	79
Propiedades de la Banda de Frecuencias (DRM+ FM) .....	80
Configuración del Transmisor (DRM+ FM) .....	81
Configuración de Parámetros de Transmisor (DRM+ FM).....	81
Configuración de Parámetros de Recepción (DRM+ FM) .....	83
Configuración de Parámetros de Cálculo (DRM+ FM).....	84
Configuración de Área de Cálculo y Rangos (DRM+ FM).....	85

Configuración de Estudio Multitransmisor de Coberturas e Interferencias .....	86
Configuración Estudio Multitransmisor Estándar IBOC.....	87
Configuración de Propiedades del Estudio de Cobertura Multitransmisor IBOC .....	87
Configuración de Parámetros de Cálculo de Señal y Área de Cálculo IBOC .....	88
Configuración de Parámetros de Interferencias IBOC .....	89
Configuración de Área de Cálculo y Rangos de Señal IBOC .....	89
Configuración de Propiedades del Estudio de Cobertura Multitransmisor DRM+ .....	90
Configuración de Parámetros de Cálculo de Señal y Área de Cálculo DRM.....	91
Configuración de Parámetros de Interferencias DRM+.....	92
Configuración de Área de Cálculo y Rangos de Señal .....	92
Simulación del Sistema de Radiodifusión de Audio Digital IBOC y DRM+ en la Ciudad de Cali	
94	
Software de Simulación XIRIO .....	94
Cobertura.....	95
RSSI .....	95
Interferencia de Cocanal.....	96
Interferencia de Canal Adyacente .....	97
Simulación del Estándar IBOC .....	97
Simulación Multitransmisor de Cálculo de Cobertura e Interferencias IBOC .....	102
Simulación de Interferencias IBOC .....	104

Simulación del Estándar DRM+ .....	107
Simulación Multitransmisor de Cálculo de Cobertura e Interferencias DRM+ .....	111
Simulación de Interferencias DRM+. .....	112
Análisis Comparativo de las Simulaciones Realizadas .....	116
Análisis de Cobertura de Señal Recibida IBOC vs DRM+.....	116
Análisis de Cobertura Mejor Servidor de Señal Transmitida IBOC vs DRM+ .....	119
Análisis de Interferencias de Señal Recibida IBOC vs DRM+.....	120
Análisis de Interferencia Mejor Servidor de Señal Transmitida IBOC vs DRM+ .....	123
Análisis Estadístico de Estudio Comparativo de Estándares IBOC vs DRM+.....	124
Varianza.....	124
Desviación Estándar .....	124
Análisis Estadístico IBOC .....	124
Análisis Estadístico DRM+ .....	127
Comparativa de Datos Estadística Estándares IBOC vs DRM+ .....	130
Conclusiones .....	134
Trabajo Futuro .....	138
Mejoras.....	138
Trabajo Futuro.....	138
Mantenimiento .....	139
Referencias Bibliográficas .....	140

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Clasificación de la Radiodifusión en Colombia</i> .....	35
<b>Figura 2</b> <i>Mapa de Distribución Emisoras en Colombia</i> .....	40
<b>Figura 3</b> <i>Mapa Topográfico Cali</i> .....	42
<b>Figura 4</b> <i>Distribución Geográfica de Emisoras en el Valle del Cauca</i> .....	45
<b>Figura 5</b> <i>Emisoras AM Cali</i> .....	45
<b>Figura 6</b> <i>Emisoras FM en Cali</i> .....	46
<b>Figura 7</b> <i>Espectro Forma de Onda Híbrida IBOC en AM</i> .....	50
<b>Figura 8</b> <i>IBOC en Modo FM Híbrido</i> .....	53
<b>Figura 9</b> <i>Diagrama en Bloques Transmisor DRM</i> .....	58
<b>Figura 10</b> <i>Modos Transmisión Estándar DRM</i> .....	59
<b>Figura 11</b> <i>Transmisor Flexiva FLX (IBOC-FM Híbrido)</i> .....	67
<b>Figura 12</b> <i>Creación de un Nuevo Estudio Para IBOC - FM Híbrido</i> .....	68
<b>Figura 13</b> <i>Propiedades del Estudio de Cobertura para IBOC - FM Híbrido</i> .....	68
<b>Figura 14</b> <i>Propiedades de la Banda de Frecuencias para IBOC - FM Híbrido</i> .....	69
<b>Figura 15</b> <i>Propiedades del Transmisor para IBOC - FM Híbrido</i> .....	70
<b>Figura 16</b> <i>Configuración de los Parámetros de Radio del Transmisor Flexiva FLX</i> .....	72
<b>Figura 17</b> <i>Configuración de Parámetros de Radio de Recepción para IBOC FM Híbrido</i> .....	73

<b>Figura 18</b> <i>Configuración de los Parámetros de Cálculo: Método de Cálculo y Cartografía (IBOC FM Híbrido)</i> .....	74
<b>Figura 19</b> <i>Rango de Señal para la Radiodifusión Sonora Digital con IBOC FM Híbrido</i> .....	75
<b>Figura 20</b> <i>Bandas de Uso Sistema DRM</i> .....	76
<b>Figura 21</b> <i>Transmisor Flexiva High Power DRM+</i> .....	78
<b>Figura 22</b> <i>Creación de un Nuevo Estudio para DRM+ FM</i> .....	79
<b>Figura 23</b> <i>Propiedades del Estudio de Cobertura DRM+ FM</i> .....	80
<b>Figura 24</b> <i>Propiedades de la Banda de Frecuencias para DRM+ FM</i> .....	80
<b>Figura 25</b> <i>Propiedades del Transmisor DRM+ FM</i> .....	81
<b>Figura 26</b> <i>Configuración de los Parámetros de Radio del Transmisor Flexiva HP</i> .....	83
<b>Figura 27</b> <i>Configuración de Parámetros de Radio de Recepción para DRM+ FM</i> .....	84
<b>Figura 28</b> <i>Configuración de los Parámetros de Cálculo: Método de Cálculo y Cartografía (DRM+ FM)</i> .....	85
<b>Figura 29</b> <i>Rango de Señal para la Radiodifusión Sonora Digital con DRM+ FM</i> .....	86
<b>Figura 30</b> <i>Integración de Estudios de Cobertura para Crear un Estudio de Cobertura Multitransmisor</i> .....	87
<b>Figura 31</b> <i>Creación de un Nuevo Estudio de Cobertura Multitransmisor para Radiodifusión Sonora IBOC - FM Híbrido</i> .....	87
<b>Figura 32</b> <i>Configuración de Propiedades del Estudio de Cobertura Multitransmisor: Nombre e Integración de Coberturas Simples IBOC</i> .....	88
<b>Figura 33</b> <i>Configuración de Parámetros de Cálculo de Señal y Área de Cálculo IBOC</i> .....	88

<b>Figura 34</b> <i>Configuración de Parámetros de Interferencias IBOC</i> .....	89
<b>Figura 35</b> <i>Configuración de Parámetros de Interferencias IBOC</i> .....	90
<b>Figura 36</b> <i>Configuración de Propiedades del Estudio de Cobertura Multitransmisor: Nombre e Integración de Coberturas Simples DRM+</i> .....	91
<b>Figura 37</b> <i>Configuración de Parámetros de Cálculo de Señal y Área de Cálculo</i> .....	91
<b>Figura 38</b> <i>Configuración de Parámetros de Interferencias DRM+</i> .....	92
<b>Figura 39</b> <i>Configuración de Parámetros de Interferencias</i> .....	93
<b>Figura 40</b> <i>Simulación Estándar IBOC en Cali</i> .....	98
<b>Figura 41</b> <i>Rango de Señal IBOC - FM</i> .....	99
<b>Figura 42</b> <i>Toma de Muestras y Datos de Cobertura IBOC</i> .....	100
<b>Figura 43</b> <i>Rango de Señal IBOC – FM</i> .....	102
<b>Figura 44</b> <i>Simulación Estándar IBOC en Cali</i> .....	103
<b>Figura 45</b> <i>Rango de Señal de Interferencias IBOC</i> .....	104
<b>Figura 46</b> <i>Toma de Muestras para Estudio De Interferencias IBOC</i> .....	105
<b>Figura 47</b> <i>Simulación Estándar DRM+ en Cali</i> .....	107
<b>Figura 48</b> <i>Rango de Señal DRM+ FM</i> .....	108
<b>Figura 49</b> <i>Toma de Muestras y Datos de Cobertura DRM+</i> .....	109
<b>Figura 50</b> <i>Rango de Señal DRM+ FM</i> .....	111
<b>Figura 51</b> <i>Simulación Estándar DRM+ en Cali</i> .....	112
<b>Figura 52</b> <i>Rango de Señal de Interferencias DRM+</i> .....	113

<b>Figura 53</b> <i>Toma de Muestras para Estudio de Interferencias DRM+</i> .....	114
<b>Figura 54</b> <i>Comparativa Estadística de Cobertura de Estándares IBOC vs DRM</i> .....	118
<b>Figura 55</b> <i>Transmisor Mejor Cobertura</i> .....	119
<b>Figura 56</b> <i>Interferencia Mejor Servidor</i> .....	123
<b>Figura 57</b> <i>Desviación Estándar del Estudio al Estándar IBOC</i> .....	126
<b>Figura 58</b> <i>Desviación Estándar del Estudio al Estándar IBOC</i> .....	129
<b>Figura 59</b> <i>Dashboard del Proyecto de Investigación – Comparativa de Estándares</i> .....	133

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Características Técnicas de Cada Sistema</i> .....	29
<b>Tabla 2</b> <i>Información de las Emisoras AM en Cali</i> .....	43
<b>Tabla 3</b> <i>Información de las Emisoras FM en Cali</i> .....	44
<b>Tabla 4</b> <i>Equipos de Radiodifusión Digital HD Radio en FM Híbrido</i> .....	65
<b>Tabla 5</b> <i>Características Técnicas Equipo Flexiva FLX</i> .....	66
<b>Tabla 6</b> <i>Equipos de Radiodifusión Digital DMR FM</i> .....	77
<b>Tabla 7</b> <i>Características Técnicas Equipo Flexiva High Power</i> .....	78
<b>Tabla 8</b> <i>Indicador de Potencia en Puntos de Referencias, Ciudad de Cali IBOC</i> .....	101
<b>Tabla 9</b> <i>Emisoras Poblaciones Aledañas o Posibles Señales Interferentes</i> .....	105
<b>Tabla 10</b> <i>Indicador de Potencia en Puntos de Referencias, Ciudad de Cali IBOC</i> .....	106
<b>Tabla 11</b> <i>Indicador de Potencia en Puntos de Referencias, Ciudad de Cali DRM+</i> .....	110
<b>Tabla 12</b> <i>Emisoras Poblaciones Aledañas o Posibles Señales Interferentes</i> .....	113
<b>Tabla 13</b> <i>Indicador de Potencia en Puntos de Referencias, Ciudad de Cali IBOC</i> .....	115
<b>Tabla 14</b> <i>Estudio Comparativo de Cobertura de Estándares IBOC vs DRM</i> .....	117
<b>Tabla 15</b> <i>Estudio Comparativo de Interferencia de Estándares IBOC vs DRM</i> .....	121
<b>Tabla 16</b> <i>Datos Estadísticos Estándar IBOC</i> .....	125
<b>Tabla 17</b> <i>Datos Estadísticos Estándar DRM+</i> .....	128
<b>Tabla 18</b> <i>Tabla Comparativa de Resultados de Funcionamiento IBOC vs DRM</i> .....	131

## Introducción

En este proyecto de investigación comprenderemos el propósito y los conceptos de la radiodifusión sonora análoga y digital, en el cual se deberá concebir la problemática real y mediante los conocimientos adquiridos en nuestra carrera ingenieril, tratar de descubrir causas y efectos, justificación y objetivos, para así poder brindar una solución parcial o total a dicha problemática, esta deberá ser solucionada con nuestra área disciplinar.

Luego, desarrollaremos la idea del proyecto aplicado, teniendo en cuenta que esta debe ser de nuestra área disciplinar ETR y que sea viable. Con el desarrollo de esta investigación podremos demostrar nuestros conocimientos ingenieriles.

Plantearemos el problema, los objetivos generales y específicos, donde desarrollaremos cuestionamientos tales como: ¿por qué? ¿Para qué?, donde? ¿Cuándo? ¿Como? Para dar solución a la problemática concebida usando nuestros conocimientos adquiridos en nuestra profesión.

Una vez tengamos circunscrito, el planteamiento y solución del problema, nos adentraremos en el marco conceptual y teórico, la metodología que utilizamos, en esta etapa también definiremos el cronograma de trabajo y los recursos necesarios para llevar a cabo para la implementación de la solución.

Diseñaremos la solución usando la herramienta XIRIO online, configurando parámetros necesarios para el funcionamiento de la simulación e implementación, con la finalidad de dar respuesta al problema identificado. Por último, se implementará la solución diseñada dando solución al problema planteado, ejecutando el proyecto con nuestro diseño de ingeniería.

## **Planteamiento del Problema**

La radiodifusión sonora es un servicio público de telecomunicaciones gestionado y regulado por el Estado, cuyo objetivo es satisfacer las necesidades de comunicación de los habitantes del país, con emisiones dirigidas al público general. A pesar de que muchos países, principalmente en Europa, han avanzado hacia el denominado apagón analógico, Colombia aún conserva la tecnología de radiodifusión sonora analógica. No obstante, es importante destacar que el país ha realizado importantes avances en la Televisión Digital Terrestre (TDT). Sin embargo, en lo que respecta a la radio digital, escasamente se han llevado a cabo estudios técnicos de viabilidad que permita su adopción y la implementación de un estándar específico para esta nueva tecnología.

Uno de los grandes desafíos que enfrenta el país es la toma de decisiones informadas sobre la adopción de un estándar de radio digital que contemple todos los aspectos técnicos necesarios para responder a las demandas y necesidades del contexto nacional. A continuación, se enumeran algunos de los factores clave a considerar en este proceso: Disponibilidad del espectro, modificación del marco regulatorio, inversión de la infraestructura, mercado de usuarios,

A lo largo de los años, la radio ha ganado un lugar prominente en Colombia, resultando en un dial con una gran diversidad de emisoras, tanto en frecuencia modulada (FM) como en amplitud modulada (AM). En la actualidad, En Colombia, el uso del espectro radioeléctrico enfrenta problemas significativos, con más de 1700 emisoras analógicas operando en un rango limitado de frecuencias, además de un creciente número de solicitudes para nuevas licencias. En Cali, por ejemplo, se identifica un fenómeno de emisoras informales, con más de 30 emisoras sin

regulación estatal en el Valle del Cauca. Este estudio se centra en analizar estos problemas y proponer soluciones para una transición efectiva hacia la radiodifusión digital.

La radiodifusión análoga ha sido el medio de comunicación tradicional y que llega a todos los rincones de Colombia. La radio, especialmente en horas pico cuando la mayoría de los vehículos están en movimiento en las principales ciudades, sigue siendo un medio de comunicación altamente influyente y una fuente considerable de ingresos debido a su elevado nivel de audiencia. Sin embargo, esta tecnología ya está entrando en etapa de obsolescencia de componentes y dispositivos en el mercado. El mundo está migrando a radiodifusión digital y Colombia debe seguir esta tendencia. Cada vez la demanda y las expectativas del usuario final son más altas: mayor calidad, funcionalidad y más información interactiva. Estas y muchas ventajas más son las que ofrece la radiodifusión digital, también cabe mencionar el mejor uso del espectro, mejor calidad del audio, reducción del consumo de energía, multimedia, entre otras.

Cabe anotar que para llevar a cabo esta transición y se genere de manera exitosa, se debe tener en cuenta los siguientes desafíos:

La transición conllevará a costos de infraestructura; por ende, se requiere una inversión significativa para actualizar los equipos.

La implementación de nuevos estándares y normativas que regulen la radiodifusión digital.

Oyentes y empresas fabricantes podrían tener impactos sociales y económicos debido a la transición.

Es obligatorio una transición paulatina y medida, para la coexistencia de las 2 tecnologías.

Teniendo en cuenta este contexto, generamos la siguiente pregunta: ¿Cómo se evalúa un análisis comparativo de los estándares de radiodifusión digital IBOC y DRM en la ciudad de CALI en la banda de 88 a 108 MHZ?

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Evaluar los estándares de radiodifusión digital IBOC y DRM, mediante la comparación de sus características técnicas y la simulación de estos en la ciudad de CALI en la banda de 88 a 108 MHZ.

### **Objetivos Específicos**

Recopilar la información técnica de los dos estándares.

Estudiar la situación actual de la radiodifusión análoga FM en Cali.

Diseñar las pruebas y simulaciones a realizar.

Simular en Xirio los dos estándares en la ciudad de CALI.

Simular la coexistencia de los dos estándares con la radiodifusión análoga en Cali.

Realizar un análisis comparativo de las simulaciones realizadas.

## Justificación

En el Valle del Cauca existen más de 30 emisoras que no tienen ningún tipo de control por parte del estado. Es necesario mencionar algunos de los perjuicios que acarrear las emisoras ilegales en Colombia:

Funcionan clandestinamente

Interfieren la señal de otros medios

Emiten contenido sin control

Uso del espectro radioeléctrico en cualquier área geográfica

No tributan impuestos

Competencia desleal

Incumplimientos a la normatividad vigente

No pagan permisos ni derechos de autor

“La radio autorizada tiene una responsabilidad de orden legal y social que va desde respetar la fuente hasta el Código del Menor. En cambio, la radio ilegal viola normas básicas debido a que muchas veces la hacen personas sin formación, que, en algunos casos, sacan lo que primero aparece en redes sociales y se convierten en replicadores de noticias falsas. En pocas palabras, generan un problema de credibilidad para los medios formales”, dice Leo Quintero, director del informativo de Caracol Radio en Cali. (El País, 2018).

Por otro lado, se tiene evidencias que la señal de muchas de estas emisoras ilegales se filtra en las frecuencias de medios que sí están autorizados. Por ejemplo, la emisora “Tú” interrumpe la señal de Blu Radio; La Esquina en la emisora de Univalle; Mágica y La Martina se filtran en la Javeriana Estéreo.

El ANE usa un Sistema Nacional de Monitoreo Remoto del espectro radioeléctrico, el cual está conformado por 27 estaciones distribuidas en todo el país. Estas estaciones llevan a cabo actividades de control del espectro radioeléctrico, tales como: Verificación de ocupación de bandas de frecuencias; revisión de características técnicas como frecuencia, ancho de banda, modulación e intensidad de campo, detección de emisiones no autorizadas, estudio de interferencias perjudiciales y radiolocalización utilizando tecnologías de última generación.

Tomado de: (Página oficial de la Agencia Nacional del Espectro, ANE. 2023)

Según el ANE durante el año 2018, en el Valle del Cauca fueron decomisados más de 100 equipos que captaban la señal y la emitían, 27 emisoras que operaban ilegalmente fueron cerradas por la Fiscalía y gracias al código penal y la ley 1341 de 2009, los dueños de estas estaciones radiales les imputaron sanciones administrativas y penales.

A pesar del gran esfuerzo del MINTIC por acabar con esta problemática, la gran demanda de solicitudes de nuevas licencias de radiodifusión y el déficit de bandas para licenciarlas; comentan algunos dueños de estas estaciones que no encuentran otra opción que emitir de manera ilegal su señal.

Con estos antecedentes de interferencias, emisoras ilegales y la necesidad de ampliar la capacidad del espectro para nuevas emisiones; La transición de la radiodifusión digital analógica a digital toma gran relevancia desde varios puntos de vista: Es esencial en la eficiencia del uso de los recursos, el desarrollo tecnológico, la calidad de los servicios de radiodifusión, la sociedad y la cultura en general del país.

Esta migración aparte de los desafíos técnicos que conlleva; impacta directamente la cotidianidad de las personas y el avance como sociedad. Por ende, se planteó un estudio técnico,

consciente y objetivo, comparando 2 estándares usados a nivel mundial, enfocados en una muestra: la ciudad de Cali.

A continuación, las ventajas que respaldan este estudio de transición:

La calidad del sonido es superior a la analógica, mejora la experiencia auditiva al usuario final.

Fomenta la innovación tecnológica en la industria de la radiodifusión digital.

Impacta positivamente a la generación de empleo, fabricantes, profesionales en el campo de las telecomunicaciones.

Acceso a contenido multimedia, servicios interactivos como información del programa, datos complementarios o de emergencias, clima, noticias, nombre de canciones y letras, videos, comerciales, etc.

Optimización y uso más eficiente del espectro radioeléctrico.

Ahorro de energía.

Funcionalidad de enviar de 4 a 6 programas por el mismo canal, según el estándar.

Ofrece una transmisión libre de interferencias.

Permite sintonizar de forma más rápida las emisoras.

Teniendo en cuenta el planteamiento del problema, se diseñó un estudio de simulación basado en herramientas ofimáticas que permitieron la gestión, planificación e implementación de emisiones al espectro radioeléctrico.

Por ejemplo, Radio Mobile es un software de distribución libre que permite diseñar redes de Telecomunicaciones compuestas por estaciones de radio y predecir el comportamiento del sistema mediante la simulación de los radioenlaces que se establezcan en el mismo. También ofrece la posibilidad de realizar estudios de cobertura en la red. Para ello el programa precisa

datos digitales de elevación del terreno donde se ubica la red que se combinan con las características técnicas de los transceptores (potencia de transmisión, sensibilidad del receptor, características de las antenas, pérdidas, etc.)

En este caso se usó la herramienta Xirio, desarrollada por Aptica. Es un software web libre que facilita la planeación, planificación y cartografía digital, aplicada al diseño de tecnologías inalámbricas como la radiodifusión. Posee diferentes características y componentes que permiten el cálculo, simulación, diseño y planeación de redes o infraestructuras de emisión radioeléctrica, con resultados muy eficientes respecto a otras herramientas; facilita el hallazgo e implementación de diversos métodos de propagación aplicados principalmente en entornos urbanos y rurales. El propósito de utilizar esta herramienta para la simulación de dos tecnologías de radiodifusión digital es que se pudo analizar las características de la implementación, evidenciar por medio del simulador su funcionamiento y establecimos las ventajas y conclusiones respecto a este análisis.

Las prácticas desarrolladas en la herramienta de simulación sirvieron de guía para el estudio, comprensión y simulación de la radiodifusión digital sonora en la ciudad de Cali.

## **Marco Teórico y Conceptual**

### **Sistemas de Radiodifusión Digital sonora**

Desde la década de los 80 se materializan grandes avances en el área de las telecomunicaciones. La digitalización de las redes y de los contenidos representa un campo donde surgen avances innovadores, con mejoras significativas frente a las tecnologías precedentes que se reflejan en calidad en el tratamiento de la información, nuevos y mejores servicios, sumado a los conceptos actuales de globalización. La radiodifusión sonora no escapa a estas transformaciones, y es así como en Europa se inicia la conceptualización y estudio de un estándar que permita la introducción de las ventajas digitales en la radio; el proyecto Eureka 147 se concreta a través de una evolución permanente liderada por la industria privada con el apoyo de estados europeos. Así mismo, la industria norteamericana no quiere quedarse atrás, y responde con la introducción de su propio modelo que recibe el nombre de IBOC. A continuación, se presentan los 4 estándares tecnológicos. (Sistemas de Radiodifusión sonora, Gutiérrez. J, 2014).

### **Sistema de Radiodifusión Sonora Digital DAB**

El sistema de radiodifusión DAB surge como resultado del proyecto EUREKA-147 desarrollado en la Unión Europea. Tenía como objetivo el desarrollo de un nuevo sistema de radio digital que ofrezca alta calidad de sonido, similar a la ofrecida por el Compact Disc (CD), así como la posibilidad de incluir canales de datos con capacidad suficiente como para ofrecer aplicaciones multimedia y servicios de valor añadido. A su vez, mediante la utilización de técnicas digitales para compresión y transmisión de la señal, el sistema DAB obtiene diferentes mejoras, estas son: Alta calidad de sonido (comparable a la del CD) mediante la compresión digital de audio según el estándar MPEG Layer II. El

sistema DAB Introduce diseño de un diplexor para un receptor. Canales de datos de alta capacidad, cuyo “bit-rate” puede ser fijado según las necesidades de las aplicaciones o de los servicios ofrecidos. Una recepción muy robusta, tanto en receptores fijos, portátiles como móviles, gracias a la utilización de la modulación COFDM, es menos sensible al efecto Doppler. Radiodifusión con redes de frecuencia única (SFN), ya que el sistema COFDM lo permite. Mejora en el aprovechamiento del espectro. Así, por ejemplo, con un ancho de banda de 1,7MHz, en el que se pueden emitir 4 programas de FM, se ofrecen normalmente 5 ó 6 canales de audio estéreo con canales de datos asociados de baja velocidad (PAD), y varios canales de datos no asociados de alta velocidad (NPAD). (El sistema DAB, Universidad de Sevilla, 2006).

DAB (Digital Audio Broadcasting) Es la técnica que utiliza un sistema de compresión de audio muy eficiente llamada MPEG audio capa II (MP2), consta de 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).

## **Sistema de Radiodifusión Digital Sonora IBOC**

(IBOC - In-Band ONChannel) En los últimos años varias empresas de los EE.UU., en colaboración con la FCC (Federal Communications Commission), han realizado pruebas de laboratorio y de campo para la estandarización de un sistema de radiodifusión sonora digital en la banda de ondas métricas. El sistema IBOC FM (In-Band ONChannel) permite la utilización de los sistemas híbridos (Simulcast), que tiene capacidad para transmitir las señal analógica y digital en el ancho de banda atribuido a los actuales sistemas de frecuencia modulada. Los servicios soportados por el sistema pueden resumirse: Main Program Service (MPS). Corresponde al programa de audio, tanto digital como analógico. Incluye una determinada capacidad de datos para transmitir información relacionada con el programa (PSD). Station Identification Service (SIS). Corresponde a la transmisión de datos necesarios para el control e identificación de la estación. Facilita al usuario la selección de la estación de radio y sus servicios soportados (nombre, localización, identificador, etc.).

El sistema IBOC FM «por canal dentro de banda» (in-band ONChannel, IBOC) puede funcionar en los modos «híbrido», «híbrido ampliado» y «totalmente digital». En el modo híbrido la señal digital se transmite en bandas laterales primarias a ambos lados de la señal analógica. En el modo híbrido ampliado la señal digital se transmite en bandas laterales primarias a ambos lados de la señal analógica, ampliando la banda utilizada por la señal digital en detrimento de la señal analógica. En el modo totalmente digital todo el ancho de banda se utiliza para la transmisión de las señales digitales por lo que aporta capacidades mejoradas de funcionamiento. Modo Híbrido (Simulcast) La señal digital es transmitida en sendas bandas laterales a ambos lados de la señal analógica. (La FM Digital IBOC, Del AMO. L, 2006).

Entre las ventajas de IBOC tenemos: Las transmisiones de FM tienen una calidad de audio igual a la de un disco compacto. Las transmisiones de AM tienen una calidad de audio igual a la del FM estéreo analógico actual. El sistema ofrece una variedad de servicios de datos referentes al programa de audio (nombre del artista, título de la canción, etc.) o que contengan información totalmente independiente a la programación de audio (alerta del clima, tráfico, noticias, etc.). Capacidad de 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. Permite sintonizar de forma más rápida las emisoras.

### **Sistema de Radiodifusión Digital Sonora 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)

**Sound Broadcasting ISDB-TsB**

Es parte del conjunto de normas ISDB-T, la cual es empleada también para televisión digital terrestre. A diferencia de los otros sistemas, no ha sido concebida con la idea de reemplazar a la radio analógica, sino más bien ser utilizada como un servicio complementario. Utiliza 1 o 3 segmentos, por lo que es compatible con el servicio 1Seg de ISDB-T. En el país desarrollador de este sistema se realizan pruebas desde el 2003, patrocinadas por Digital Radio Promotion Association (DRP). Dado que Japón no busca competir con los otros sistemas en cuanto a radio digital se refiere, el sistema no ha sido difundido en otros países para este propósito. La transición de ISDB-TSB si bien el sistema se ha difundido en otros países diferentes al desarrollador Japón, esto ha sido por el servicio de televisión, no así el servicio de radio digital. Dado que el sistema opera entre las frecuencias 90 a 108 MHz. Un punto en contra de este sistema y un obstáculo es que no permite el modo híbrido de transmisión analógica/digital, lo cual implicaría migrar el sistema en su totalidad a digital y no parcialmente como si lo permiten otros sistemas. (Escuela superior Politécnica de Chimborazo, 2021).

A continuación, se presenta tabla 1 comparativa con 4 estándares de radiodifusión digital:

**Tabla 1***Características Técnicas de Cada Sistema*

<b>Parámetros</b>	<b>DAB</b>	<b>DAB+</b>	<b>DMB</b>	<b>IBOC AM</b>	<b>IBOC FM</b>	<b>DRM/DRM+</b>	<b>ISDB-TSB</b>
Origen	Europa	Europa	Europa	Estados Unidos	Estados Unidos	Europa	Japón
Estándar	Abierto	Abierto	Abierto	Propietario	Propietario	Abierto	Abierto
Frecuencias en las que trabaja el sistema	Banda III (174 a 240 MHz) y Banda L (1452 a 1492 MHz) y Banda UHF	Banda III (174-240 MHz)	230 MHz (banda III) y banda L	AM (1710 kHz)	FM (88 a 108 MHz)	AM (535 a 1710 kHz) y FM (88 a 108 MHz)	VHF I (90 a 108 MHz) y UHF IV (470 a 585 MHz) y V (585 a 770 MHz)
Capacidad de datos	En 1.5 MHz (6 programas de 192 kbps)	128, 40,32 kbps	En 1.5 MHz (vídeo) y hasta 13 canales de audio	5 kbps, 12 kbps	96 kbps	4.5, 5, 9, 10, 18, 20 kHz	430 (1 segmento), 1,3 (3 segmentos)
Modulación	COFDM QPSK	COFDM	COFDM	COFDM 1068 portadoras	COFDM	COFDM 16 QAM, 64 QAM	COFDM, DQPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM
Codificación de audio	MPEG-1 Layer II y MPEG-2 Layer II	MPEG Layer II y MPEG-4	MPEG-4 HEAAC V2	MPEG-2 AAC PAC	MPEG-2 AAC PAC	MPEG-1 Layer II, AAC, AC3	MPEG-2 AAC

<b>Parámetros</b>	<b>DAB</b>	<b>DAB+</b>	<b>DMB</b>	<b>IBOC AM</b>	<b>IBOC FM</b>	<b>DRM/DRM+</b>	<b>ISDB-TSB</b>
Servicio de audio	Calidad de CD, mono-estéreo	Estéreo-surround	Estéreo-surround	Calidad de FM, mono-estéreo	Calidad de FM, mono-estéreo	Calidad de FM, mono-estéreo	Calidad de CD, mono-estéreo
Capacidad híbrida de transmisión	No	No	No	Sí	Sí	Sí	No
Multiservicios	Hasta 6 canales de 192 kbps	28 canales a 40 kbps y un canal a 32 kbps	Servicio de video y audio de 13 y 8 de datos	Hasta 2, uno de datos	Hasta 4, audio, datos a tasas ajustables	Hasta 4, audio, datos a tasas ajustables	Hasta 2 canales de audio con tasas ajustables
Receptores disponibles en el mercado	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
En funcionamiento	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

*Fuente.* Escuela superior Politécnica de Chimborazo

## **Marco Metodológico**

Usamos como estrategia metodológica, el ciclo PHVA: Planear, Hacer, Verificar y Actuar; el cual se utiliza para resolver un problema, mejorar procesos o implementar cambios como es el caso.

### **Etapa 1: Planear**

En esta etapa se desarrolló la Planeación del proyecto, se diligenció el formato de la propuesta de proyecto de investigación como opción de grado.

Teniendo en cuenta los objetivos planteados, desarrollamos las siguientes actividades:

#### ***Objetivo 1: Planeación***

Este Objetivo Comprende las Siguietes Actividades:

Investigar y documentar información del estándar DRM.

Investigar y documentar información del estándar IBOC.

#### ***Objetivo 2: Estudiar la Situación Actual de la Radiodifusión FM en Cali***

Este objetivo comprende las siguientes actividades:

Buscar y documentar las emisoras que transmiten en FM en Cali.

Realizar una tabla que compile la situación actual de radiodifusión FM en Cali.

### **Etapa 2: Hacer**

Establecemos las acciones para la implementación del proyecto.

#### ***Objetivo 3: Diseñar las Pruebas y Simulaciones a Realizar***

Este objetivo comprende las siguientes actividades:

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.

***Objetivo 4: Simular en Xirio los dos Estándares en la Ciudad de CALI***

Este objetivo comprende las siguientes actividades:

Realizar la simulación, para las estaciones de radio que trabajan en FM, de acuerdo con los sistemas de radiodifusión digital DRM e IBOC.

Simular los estándares de radiodifusión sonora digital IBOC y DRM en la banda FM, en la ciudad de Cali.

**Etapa 3: Verificar**

Analizar y verificar las muestras de las simulaciones.

***Objetivo 5: Simular la Coexistencia de los dos Estándares con la Radiodifusión Análoga en Cali***

Este objetivo comprende las siguientes actividades:

Realizar la simulación, para las estaciones de radio que trabajan en FM, en conjunto con los sistemas de radiodifusión digital DRM e IBOC.

Verificar datos y mediciones de interferencias y demás características de radiodifusión sonora digital IBOC y DRM en la banda FM, en la ciudad de Cali.

***Objetivo 6: Evaluar los Resultados Mediante la Comparación de Estos***

Este objetivo comprende las siguientes actividades:

Realizar un análisis comparativo de las simulaciones realizadas.

Determinar cuál de los estándares, presenta una mejor respuesta a las radiodifusiones en frecuencia modulada en la ciudad de Cali.

Realizar la comparación de los dos estándares de radiodifusión sonora digital IBOC y DRM, desde un punto de vista tecnológico, para poder definir si es viable la utilización de alguna de estas dos tecnologías en la ciudad de Cali.

**Etapa 4: Actuar**

Implementación del proyecto, documentar cambios y resultados obtenidos. 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.

## **Análisis de la Infraestructura de Radiodifusión Analógica en Cali**

### **Radiodifusión Sonora**

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. (Resolución 2614 de 2022).

### **Radiodifusión Sonora en Colombia**

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. (Resolución 2614 de 2022, Mintic).

La Resolución 2614 de 2022 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:

### **Radiodifusión en Amplitud Modulada (AM)**

Sucede cuando la señal portadora es modulada en amplitud para la transmisión de la señal. (Resolución 2614 de 2022, Mintic).

### **Radiodifusión en Frecuencia Modulada (FM)**

Sucede cuando la señal portadora es modulada en frecuencia o en fase para la transmisión de la señal. (Resolución 2614 de 2022, Mintic).

## Radiodifusión Digital y Nuevas Tecnologías

Cuando la transmisión a través de medios digitales terrestre o por 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 en la modalidad de AM y FM. (Resolución 2614 de 2022, Mintic).

## Clasificación de la Radiodifusión en Colombia

La radiodifusión sonora en Colombia se clasifica de acuerdo con la gestión del servicio y con la orientación de la programación (Resolución 2614 de 2022, Mintic), figura 1 y se describe a continuación:

### Figura 1

#### *Clasificación de la Radiodifusión en Colombia*



*Fuente.* Tomada de (Mintic, 2023)

### ***Por la Gestión del Servicio***

**Directa.** El Estado prestará el Servicio Público de Radiodifusión Sonora en gestión directa por conducto de entidades públicas autorizadas a través de licencia otorgada directamente por el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.

**Indirecta.** El Estado prestará el Servicio Público de Radiodifusión Sonora en gestión indirecta a través de personas naturales colombianas o jurídicas legalmente constituidas en Colombia, de naturaleza privada, por concesión otorgada por el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, mediante contrato o licencia, previa la realización de un proceso de selección objetiva. (Resolución 2614 de 2022, Mintic).

### ***Por la Orientación de la Programación***

**Radiodifusión Sonora Comercial.** La programación de este servicio está destinada a satisfacer los hábitos y gustos del oyente, sin excluir el propósito educativo, recreativo, cultural, científico e informativo que orienta el Servicio Público de Radiodifusión Sonora en general. Este servicio se presta con ánimo de lucro y gestión indirecta del Estado.

**Radiodifusión Sonora de Interés Público.** La programación deberá estar orientada a satisfacer necesidades de comunicación del Estado con los ciudadanos y las comunidades en general, la defensa de los derechos constitucionales, la protección del patrimonio cultural y natural de la Nación, en búsqueda del bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población. Este servicio se presta sin ánimo de lucro y bajo la gestión directa del Estado.

**Radiodifusión Sonora Comunitario.** La programación deberá estar orientada a generar espacios de expresión, información, educación, comunicación, promoción cultural, formación, debate y concertación que conduzcan al encuentro entre las diferentes identidades sociales y expresiones culturales de la comunidad, dentro de un ámbito de integración y solidaridad

ciudadana y, en especial, a la promoción de la democracia, la participación y los derechos fundamentales de los colombianos que aseguren una convivencia pacífica. Este servicio se presta sin ánimo de lucro y bajo la gestión indirecta del Estado.

**Radiodifusión Sonora Comunitario Étnico.** La programación deberá estar orientada a satisfacer necesidades de comunicación de los distintos grupos étnicos debidamente reconocidos por el Ministerio del Interior, y a reconocer y reafirmar la conciencia de identidad de los mismos, de forma tal que se promuevan sus expresiones ancestrales con el propósito de preserven sus valores culturales, sociales, religiosos, espirituales, económicos, así como sus tradiciones, instituciones y procesos organizativos como mecanismos de integración y convivencia para fomentar la paz y reconciliación entre estos y los demás miembros de la sociedad, así como la protección de la cultura y defensa de los derechos constitucionales y democráticos, a fin de procurar el bienestar general y el mejoramiento de calidad de vida de dicha población. Este servicio se presta sin ánimo de lucro y bajo la gestión indirecta del Estado. (Resolución 2614 de 2022, Mintic).

#### *Por la Tecnología de Transmisión*

**Radiodifusión en Amplitud Modulada (A.M.).** Cuando la portadora principal se modula en amplitud para la emisión de la señal.

**Radiodifusión en Frecuencia Modulada (F.M.).** Cuando la portadora principal se modula en frecuencia o en fase para la emisión de la señal.

**Radiodifusión Digital y Nuevas Tecnologías.** Cuando la transmisión se realice a través de medios digitales terrestres o por satélite, así como las que resulten de nuevos desarrollos tecnológicos aplicables al Servicio Público de Radiodifusión Sonora, incluidas aquellas que

permiten el uso compartido de las bandas de frecuencias atribuidas al servicio radioeléctrico de Radiodifusión Sonora en la modalidad de A.M. y F.M. (Resolución 2614 de 2022, Mintic).

### ***Por Área de Servicio***

**De Servicio Zonal.** Son las estaciones Clase A, B o C, de conformidad con la potencia de operación y otros parámetros técnicos esenciales establecidos en el respectivo PTNRS, y están destinadas a cubrir áreas que contienen varios municipios o distritos.

**De Servicio Zonal Restringido.** Son las estaciones Clase D, de conformidad con la potencia de operación y otros parámetros técnicos esenciales establecidos en el respectivo PTNRS, y están destinadas a cubrir un municipio, distrito o áreas no municipalizadas de acuerdo con la División Político-Administrativa del DANE, para el cual se otorga la concesión, sin perjuicio que la señal pueda ser captada en las áreas rurales y/o urbanas de municipios colindantes para el cual se otorga la concesión.

**De Servicio Local Restringido.** Son las estaciones Clase D, con área de servicio definida a través de un polígono en ciudades capitales, área rural de un municipio o área no municipalizada. De conformidad con la potencia de operación y otros parámetros técnicos esenciales establecidos en el respectivo PTNRS, están destinadas a focalizar la cobertura sobre el área de servicio establecida.

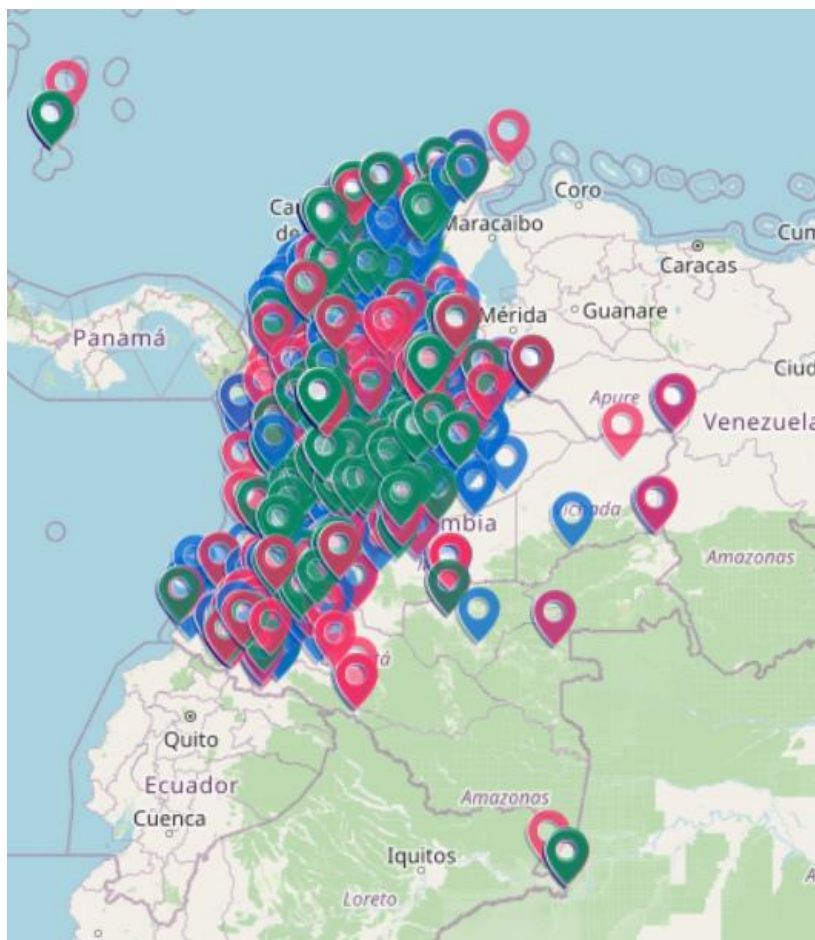
### **Situación Actual de las Emisoras en Colombia**

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 1405 emisoras FM y 326 emisoras AM, de las cuales 616 son emisoras comerciales, 775 comunitarias, y 340 de interés público (Mintic, 2024).

Según el MINTIC existe tendencia al aumento, ya que para el año 2017 Colombia contaba con 1598 emisoras, 352 de Amplitud Modulada y 1246 de Frecuencia Modulada. (López, J, 2017), mientras que para el año 2021 habían 1.652 y para el año 2022 se incrementó a 1718 estaciones radiales. En la actualidad cuenta con 1731 emisoras en el territorio nacional. Esto quiere decir que el incremento es del 8.3% respecto al año 2017.

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 2 muestra el mapa de distribución de las emisoras de radio analógica a nivel nacional de la página oficial de MINTIC. Allí se puede observar 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. También se muestran las emisoras del archipiélago colombiano. (Emisoras de Colombia. Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 2024).

**Figura 2***Mapa de Distribución Emisoras en Colombia*

*Fuente.* Tomada de (Mintic, 11 agosto 2024)

**Radiodifusión Sonora en Cali**

Ubicada en Colombia, Sur América, el Valle del Cauca es una de las regiones más ricas y de mayor desarrollo de la República de Colombia. Está ubicado en el suroccidente del país y tiene costas sobre el Océano Pacífico, en una extensión de 200 kilómetros, donde se encuentra ubicado el puerto de Buenaventura, el más importante del país, por el inmenso movimiento de carga importación y exportación que por allí se registra.

Está ubicado en el suroccidente del país y tiene costas sobre el Océano Pacífico, en una extensión de 200 kilómetros, donde se encuentra ubicado el puerto de Buenaventura, el más importante del país, por el inmenso movimiento de carga importación y exportación que por allí se registra. (Datos de Cali y Valle del Cauca, Gov.co. 2021).

en la propagación de la señal y la elección de la frecuencia de transmisión.

Latitud: al norte: Cerro de Tatama 5° 00' 30". Al Sur La Balsa: 3° 05' 35"

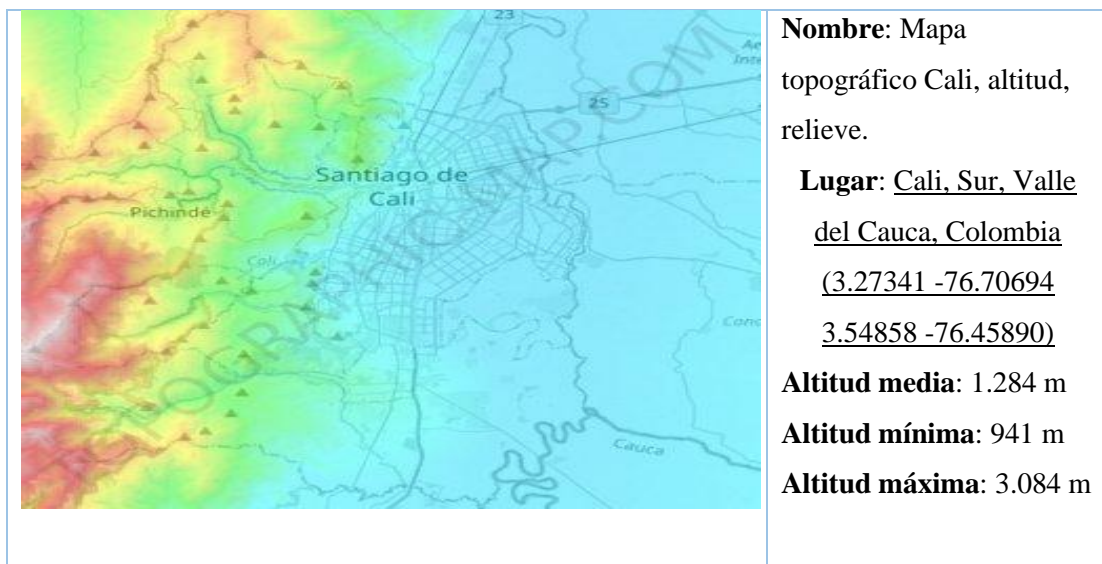
Longitud: Al Este. Páramo de Barragán. 75° 41' 32", al oeste Bocas del Naya 77° 00' 33"

Altitud: Farallones de Cali: 4.080 m Sobre el nivel del Mar.

Limites: **Norte:** Municipio de Yumbo; **Sur:** Municipio de Jamundí; **Oriente:** Municipios de Palmira, Candelaria y el Departamento del Cauca; **Occidente:** Municipios de Dagua y Buenaventura. (Datos de Cali y Valle del Cauca, Gov.co. 2021).

### Figura 3

#### Mapa Topográfico Cali



Fuente. Mapa topográfico Cali. Recuperado de: <https://es-co.topographic-map.com/map-w4trnx/Cali/>

La ciudad de Cali tiene un clima tropical húmedo, con una temperatura promedio de 24°C y una humedad relativa del 70%. Estas condiciones pueden afectar la calidad de la señal de radio, especialmente durante la época de lluvias. Por lo tanto, se debe considerar el impacto de las condiciones climáticas en la propagación de la señal y la elección de la frecuencia de transmisión.

#### ***Emisoras y Ubicación***

En la ciudad de Cali, de acuerdo con MINTIC, se encuentran 37 emisoras, de las cuales 19 son de AM y 18 FM, 33 comerciales, 2 Comunitarias y 2 de Interés Público.

#### ***Emisoras AM Cali***

A continuación, se describe la tabla 2 con la potencia de la antena transmisora, frecuencia y ubicación, tomados de la ANE y MINTIC.

**Tabla 2***Información de las Emisoras AM en Cali*

Clase	Frecuencia (kHz)	Ubicación		PRA (kW)
		Longitud/Latitud		
A	700	76° 28' 18,63" W	3° 23' 44,32" N	10
A	1030	76° 28' 18,63" W	3° 23' 44,32" N	10
A	820	76° 28' 58,31" W	3° 24' 51,61" N	50
A	620	76° 28' 56,60" W	3° 21' 37,90" N	30
C	1350	76° 28' 18,63" W	3° 23' 44,32" N	5
A	980	76° 28' 58,31" W	3° 24' 51,61" N	50
C	1260	76° 28' 56,60" W	3° 21' 37,90" N	5
B	1160	76° 28' 18,63" W	3° 23' 44,32" N	10
B	1110	76° 28' 18,63" W	3° 23' 44,32" N	10
A	900	76° 30' 46,60" W	3° 21' 26,60" N	10,1
B	660	76° 28' 13,20" W	3° 18' 52,80" N	10
B	940	76° 28' 18,63" W	3° 23' 44,32" N	10
B	1080	76° 29' 41,37" W	3° 25' 23,20" N	10
C	1500	76° 28' 18,63" W	3° 23' 44,32" N	10
B	1230	76° 28' 18,63" W	3° 23' 44,32" N	10
C	1550	76° 28' 1,00" W	3° 23' 2,00" N	5
C	1290	76° 28' 18,63" W	3° 23' 44,32" N	10
B	1200	76° 28' 18,63" W	3° 23' 44,32" N	10
A	780	76° 30' 46,60" W	3° 21' 26,60" N	10,1

*Fuente.* ANE

***Emisoras FM Cali***

A continuación, se describe la tabla 3 con la potencia de la antena transmisora, frecuencia y ubicación, tomados de la ANE y MINTIC.

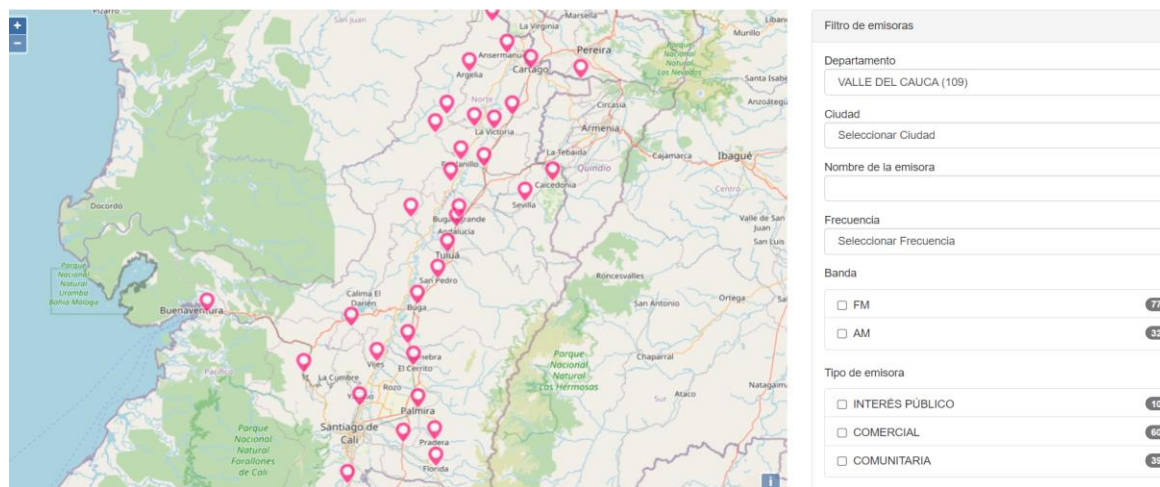
**Tabla 3***Información de las Emisoras FM en Cali*

<b>Clase</b>	<b>Frecuencia (MHz)</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>PRA (kW)</b>
A	88.5	76° 32' 41,00" W	3° 28' 3,10" N	22
A	90.5	76° 33' 55,35" W	3° 25' 59,46" N	15
A	91.5	76° 33' 59,10" W	3° 25' 56,30" N	15
A	92.5	76° 33' 58,58" W	3° 25' 56,91" N	15
D	93.8	76° 33' 39,57" W	3° 22' 46,61" N	0,02
A	95.5	76° 33' 55,35" W	3° 25' 59,47" N	15
D	96.0	76° 28' 47,20" W	3° 25' 17,23" N	0,015
A	96.5	76° 33' 53,10" W	3° 26' 9,30" N	15
A	97.5	76° 33' 57,76" W	3° 25' 57,39" N	50
A	98.5	76° 33' 58,57" W	3° 25' 56,90" N	15
D	99.5	76° 33' 24,91" W	3° 25' 58,96" N	0,1
A	101.5	76° 33' 52,00" W	3° 26' 9,00" N	15
A	102.0	76° 33' 58,58" W	3° 25' 56,91" N	15
C	104.0	76° 33' 56,30" W	3° 25' 59,90" N	5
A	104.5	76° 34' 0,30" W	3° 25' 57,10" N	30
B	105.3	76° 32' 44,96" W	3° 28' 0,88" N	10
A	106.5	76° 33' 56,96" W	3° 25' 57,21" N	15
A	107.5	76° 31' 57,90" W	3° 20' 53,08" N	10,1

*Fuente. ANE*

**Figura 4**

*Distribución Geográfica de Emisoras en el Valle del Cauca*



Fuente. Tomada de (Mintic, 10 diciembre 2023)

**Figura 5**

*Emisoras AM Cali*

Frecuencia (kHz)	Código	Nombre	Cadena	Estilo	Potencia (Watio)	Año de inicio
580	HJHP	RADIO NACIONAL de Colombia	RTVC Sistema de Medios Públicos	Noticias, radio hablada, cultura, música	50.000	1940
620	HJEL	COMUNIDAD Colmundo	Colmundo Radio S.A.	Noticias y deportes	30.000	1989
660	HJEZ	Radio Auténtica	Cadena Radial Auténtica	Religiosa protestante	10.000	1984
700	HJCX	W RADIO W Radio	Caracol Radio	Noticias, radio hablada, música	30.000	2004
780	HJZG	La Voz de Dios	Todelar / Iglesia amamos su Presencia	Religiosa protestante	10.000	2020
820	HJED	CARACOL Caracol Radio	Caracol Radio	Noticias, radio hablada	50.000	1956
900	HJEY	La Voz de Cali	Todelar	Noticias y música	10.000	1953
940	HJGB	Radio Calima	Todelar	Noticias y música	10.000	
980	HJES	RCN Radio	RCN Radio	Noticias, radio hablada	50.000	1948
1030	HJDT	Antena 2	RCN Radio	Deportes	30.000	1988
1080	HJFJ	crv Vida AM	CRV Radio	Religiosa protestante		2018
1110	HJEW	Radio Reloj	Sistema Radial de Colombia	Noticias y música	10.000	2019
1200	HJNF	RADIO RED Radio Red	RCN Radio	Música, noticias y deportes	10.000	2013
1230	HJLK	Radio Calidad	RCN Radio	Noticias y música	10.000	1972
1260	HJET	Radio María	Familia Mundial de Radio María	Religiosa católica	5.000	1996
1290	HJMC	Radio Viva	Organización Solarte	Noticias y música	5.000	
1350	HJEN	Radio Armonía	Iglesia Cristiana Amor y Fe	Religiosa protestante	5.000	
1470	HJNT	Radio Huellas	Sistema Huellas	Religiosa protestante	5.000	
1500	HJLJ	SONORA 1500 CALI Sonora AM	Red Sonora	Noticias y música	5.000	2000

Fuente. Tomada (Wikipedia diciembre de 2023)

Figura 6

## Emisoras FM en Cali

Frecuencia (MHz)	Código	Nombre	Cadena	Estilo	RDS	Potencia (vatios)	Año de inicio	Eslogan
88.5	HJSA	 Clásica 88.5 FM	Fundación Carvajal	Clásica y cultural	SI	22.000	1978	Con el tiempo, lo bueno se hace clásico
89.1	HJB65	 La Máxima	Red Sonora	Salsa	SI		2010	Pura Salsa
89.5	HJB52	 Radio Tiempo	Organización Radial Olímpica	Pop latino	SI	0.01	2012	Todo el tiempo
90.5	HJAF	 Caracol Radio	Caracol Radio	Noticias, radio hablada	SI	15.000	2020	Más compañía
91.1	HJQ55	La Primerísima	Sistema Radial de Colombia	Crossover	SI	5.000	2019	La emisora que se tomó a Cali
91.5	HJSU	 Blu Radio	Caracol Televisión	Noticias, radio hablada, pop y rock anglo	SI	15.000	2012	Más que radio
92.5	HJXR	 La Mega	RCN Radio	Reggaeton, pop latino, pop anglo	SI	15.000	1993	Te pegó al cielo
93.1	HJB57	 Tropicana	Caracol Radio	Mixta	SI	5.000	2013	¡La más bacana!
94.5	HJKU	 Radiónica	RTVC Sistema de Medios Públicos	Rock, pop, techno y electrónica	SI	10.000	2007	Otras músicas, otras historias
95.5	HJMQ	 W Radio	Caracol Radio	Noticias, radio hablada, música	SI	15.000	2010	Más piel, más W
96.5	HJSQ	 La X	Todelar	Pop, rock, electrónica y hip-hop anglo	SI	15.000	1994	Más música
96.9	HJK46	Radio Planeta	Radio Planeta S.A.	Crossover	SI	5.000	2002	Tú mundo Radio Planeta
97.5	HJLU	 El Sol	RCN Radio	Salsa	SI	0.5	2017	Acóstate que te conviene
98.0	HJQ53	 RCN Radio	RCN Radio	Noticias, radio hablada	SI	5.000	2023	73 años creciendo contigo
98.5	HJDE	 La FM	RCN Radio	Noticias, música, deportes y entretenimiento	SI	15.000	2010	La radio de los clásicos
99.1	HJB67	 Boom FM	Red Sonora	Pop latino, pop anglo	SI	1.000	1998	Siempre Boom
99.5	HJU67	Click Latino	Call Producción / Fundación Funvivre	Crossover	SI		2019	¡Me gusta más!
100.5	HJCT5	 Radio Uno	RCN Radio	Popular, vallenato y tropical	SI	5.000	2006	Le de Uno
101.5	HJVT	 Mix	Organización Radial Olímpica	Urbano	SI	15.000	2022	El sonido de la calle
102.0	HKE58	 Radio Policía Nacional	Policía Nacional de Colombia	Crossover (Interés público)	SI	15.000	1997	Siempre en sintonía
102.5	HJWQ	 Candela Estéreo	Radiópolis	Mixta	SI	1.000	2022	Solo éxitos
104.0	HJK41	 Los 40	Caracol Radio	Reggaeton, pop anglo	SI	15.000	2023	Todos los éxitos
104.5	HJUL	 Olímpica Stereo	Organización Radial Olímpica	Mixta	SI	30.000	1980	¡Se meió!
105.3	HJC37	 Univalle Estéreo	Universidad del Valle	Música, noticias, universitaria	SI	10.000	1995	Cómo tú le Querías
105.5	HJQ46	 Bésame	Caracol Radio	Pop, baladas	SI	15.000	2013	Radio apasionada
107.5	HJC42	 Javeriana Estéreo	Pontificia Universidad Javeriana	Música, universitaria, religiosa católica y cultural	SI	15.000	1992	Sólo éxitos
107.9	HJA38	Mágica	Independiente	Crossover	NO	22.000	2006	La emisora de todos

Fuente. Tomada de (Wikipedia diciembre de 2023)

## **Radiodifusión Sonora Digital**

En la radiodifusión sonora 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).

Una de las variables para tener en cuentas en la radiodifusión sonora digital, es el control de la sonoridad del audio, el cual se ha convertido en un tema importante de analizar. Con respecto a esto, (Sang Woon et al., 2015) indica que el volumen se refiere a la fuerza percibida de una pieza de audio (música, discurso, efectos de sonido, etc.) que depende de varios parámetros tales como contenidos de frecuencia, duración y nivel entre otras cosas. Se sabe que la medición de audio en la radiodifusión normalmente se basa en la medición de picos (PPM); por lo tanto, los medidores de pico de audio actuales no reflejan el volumen. Es así como se establece una solución la cual se fundamenta en cambiar el modelo de medición para mezclar a un nivel de sonoridad común a través de la normalización de esta.

### ***Estándar IBOC***

In-band on-channel (IBOC) es un método híbrido de transmisión de señales de transmisión de radio digital y de radio analógica simultáneamente en la misma frecuencia. El nombre hace referencia a las nuevas señales digitales que se transmiten en la misma banda de AM o FM (en banda) y se asocian con un canal de radio existente. Al utilizar subportadoras o bandas laterales digitales adicionales, la información digital se "multiplexa" en las señales existentes, evitando así la reasignación de las bandas de transmisión.

IBOC se basa en áreas no utilizadas del espectro existente para enviar sus señales. Esto es particularmente útil en el estilo FM de América del Norte, donde los canales están muy espaciados a 200 kHz, pero usan solo alrededor de 50 kHz de ese ancho de banda para la señal de audio. En la mayoría de los países, la separación entre canales de FM puede ser tan cercana como 100 kHz, y en AM es de solo 10 kHz, Si bien todos estos ofrecen algo de espacio para transmisiones digitales adicionales, la mayor parte de la atención en IBOC está en la banda FM en los sistemas norteamericanos; en Europa y muchos otros países, se asignaron bandas completamente nuevas para sistemas totalmente digitales.

Los estándares de radio digital generalmente permiten multiplexar múltiples canales de programas en un solo flujo digital. En la FM norteamericana, esto normalmente permite dos o tres señales de alta fidelidad en un canal, o una señal de alta fidelidad y varios canales adicionales a niveles de fidelidad media que son de mucha más calidad que la AM. Para una capacidad aún mayor, algunas subportadoras existentes se pueden sacar del aire para hacer que el ancho de banda adicional esté disponible en la banda base de modulación. En FM, por ejemplo, esto podría significar eliminar el estéreo de la señal analógica, confiar en la versión digital de esa señal para proporcionar estéreo donde esté disponible y dejar espacio para otro canal digital.

Debido a la falta de ancho de banda disponible en AM, IBOC es incompatible con el estéreo analógico, aunque hoy en día rara vez se usa, y los canales adicionales están limitados a voz altamente comprimida, como el tráfico y el clima.

Eventualmente, las estaciones pueden pasar del modo híbrido digital/analógico a totalmente digital, eliminando el audio monofónico de banda base.

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.

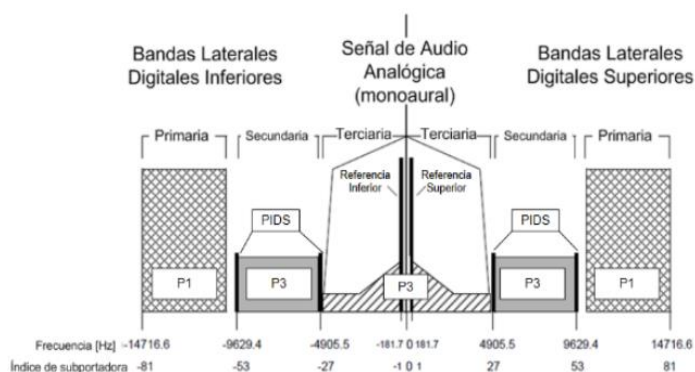
El sistema IBOC también es conocido como HD Radio, el cual viene siendo su nombre comercial y tiene una particularidad, permite a las emisoras de radio seguir transmitiendo su programación en la frecuencia asignada, es decir, permite enviar la información analógica y la señal digital por el mismo canal 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 sólo 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 7, se observa la forma del espectro de la onda híbrida, en banda dentro del canal de una señal de amplitud modulada.

### Figura 7

#### *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).

En el modo híbrido (ver figura 8), la señal digital se transmite por las bandas laterales primarias ubicadas a ambos lados de la señal analógica. 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 decepcionar el 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 la 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).

## Figura 8

### *IBOC en Modo FM Híbrido*



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

**Arquitectura de Red Estándar IBOC.** Piense en ello como si las estaciones de radio estuvieran transmitiendo en formato MP3, pero en lugar de enviar audio estéreo a través de dos canales, todo está en un canal. En otras palabras: todavía podemos sintonizar nuestra vieja frecuencia favorita.

Para decodificar la transmisión IBOC en audio analógico regular que nuestro automóvil reconocerá, todos los receptores deben tener suficiente memoria para registrar y almacenar información sobre cada símbolo.

El formato IBOC usa una frecuencia para cada estación, que puede ser compartida por múltiples frecuencias en la misma área. Esto significa que todas las estaciones dentro de una ciudad comparten el mismo ancho de banda y, por lo tanto, es posible que los oyentes escuchen cada estación en sus canales "locales". Las dos o tres estaciones con las señales más fuertes se escucharán claramente y, en la mayoría de los casos, los auriculares no son necesarios. Esto se debe a que hay una cantidad suficiente de información en cada transmisión para permitir que se cree una mezcla estéreo de calidad analógica en un receptor doméstico.

La tecnología IBOC utiliza los últimos avances en procesamiento de señales digitales y ha hecho posible crear un sistema de radio híbrido analógico/digital donde ambos tipos de señales (analógicas y digitales) coexisten en la misma banda de radiofrecuencia.

**Capacidad de Red del Estándar IBOC.** Hay tres componentes principales en el sistema IBOC:

El primero es un tipo de modulación de amplitud en cuadratura avanzada o QAM. Esto se utiliza para codificar la señal digital en los canales analógicos AM y FM tradicionales.

El segundo componente es la multiplexación en el dominio del tiempo para producir una señal estéreo a partir de CD de música codificados en formato DAB.

El tercer componente es un tipo digital de radiodifusión FM estéreo. Se crea un flujo de bits de audio digital y se graba en un CD, luego se lee en la sección de codificación digital del multiplexor estéreo digital. El flujo de bits se divide en ocho flujos de datos digitales con hasta 96 kbit/s. Los flujos de datos digitales de 96 kbit se convierten en cuatro flujos de datos de 56 kbit utilizando tecnología de compresión avanzada desarrollada específicamente para esta aplicación. Estos flujos de 56 kbit por segundo se modulan en subportadoras separadas 12 kHz. (IBOC Technology, 2022).

En cuanto a los modos de operación IBOC, hay tres modos de funcionamiento: modo de un solo canal, modo multicanal, modo de transmisión simultánea analógica/digital. Los modos de canal único y multicanal son para estaciones de AM y FM, respectivamente, mientras que el modo de transmisión simultánea es utilizado por estaciones de AM que desean transmitir una señal digital en el mismo canal. El mismo multiplexor estéreo digital o codificador DSX se usa para todas las estaciones IBOC, pero con diferentes configuraciones, como se describe a continuación. Debido a que el codificador DSX es un equipo estándar, sus costos de compra son

bajos. Esta es una consideración importante ya que agrega procesamiento digital a un sistema transmisor de FM más antiguo. El procesamiento digital puede agotar rápidamente la fuente de alimentación de un transmisor y dejarlo inoperable.

**Ventajas del Estándar de Radiodifusión IBOC.** Transmisión digital en la misma frecuencia que las transmisiones analógicas: la nueva señal digital es transmitida como una banda lateral de la señal analógica actual; el uso de la misma frecuencia permite que los radioescuchas no tengan que memorizar una nueva frecuencia de sus estaciones favoritas.

Calidad de FM estéreo para las estaciones de AM, con alta resistencia contra interferencias por ruidos.

Las transmisiones de FM tienen una calidad de audio igual a la de un disco compacto.

Las transmisiones de AM tienen una calidad de audio igual a la del FM estéreo analógico actual.

El sistema ofrece una variedad de servicios de datos referentes al programa de audio (nombre del artista, título de la canción, etc.) o que contengan información totalmente independiente a la programación de audio (alerta del clima, tráfico, noticias, etc.).

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.

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.

### ***Estándar DRM***

El DRM es un estándar abierto desarrollado por ETSI para la transmisión de audio digital en banda estrecha. Está desarrollado para reemplazar la transmisión FM analógica. Transmite audio en onda corta y onda media. Admite varios anchos de banda que van desde 4,5 KHz, 5 KHz, 9 KHz, 10 KHz, 18 KHz y 20 KHz en cuatro modos diferentes. Estos diferentes anchos de banda brindan soporte para diferentes velocidades de bits, a saber. El ancho de banda de 9 a 10 KHz admite velocidades de bits de 8 a 20 Kbps, el ancho de banda de 2 a 4 KHz admite de 2 a 4 kbps y el de 18 a 20 KHz admite de 20 a 80 Kbps. DRM proporciona una calidad de sonido cercana a FM. Además del audio, los datos se pueden mostrar en el receptor DRM. Las especificaciones DRM admiten técnicas de codificación de audio muy eficientes, a saber. Meltzer Moser MPEG-4, HE AAC V2, HVXC (Codificación de excitación vectorial armónica), CELP (Predicción lineal excitada por código), etc. DRM (Digital Radio Mondiale) admite páginas HTML, transmisión de datos, etc. (RF Wireless World, 2012).

El sistema DRM es un sistema de radiodifusión de sonido digital flexible para uso en las bandas de radiodifusión terrestre por debajo de 30 MHz. Es importante reconocer que el receptor de radio de consumo del futuro cercano deberá ser capaz de decodificar cualquiera o todas las transmisiones terrestres, es decir, en banda digital estrecha (para <30 MHz RF), banda digital más ancha (para >30 MHz RF) y analógico para las bandas LF, MF, HF y VHF/FM. El sistema DRM será un componente importante dentro del receptor. Es poco probable que un receptor de radio de consumo diseñado para recibir transmisiones terrestres con capacidad digital excluya la capacidad analógica.

En el receptor de radio del consumidor, el sistema DRM brindará la capacidad de recibir radio digital (sonido, datos relacionados con programas, otros datos e imágenes fijas) en todas las

bandas de transmisión por debajo de 30 MHz. Puede funcionar de manera independiente, pero, como se indicó anteriormente, es más probable que forme parte de un receptor más completo, como la mayoría de los receptores actuales que incluyen capacidad de recepción analógica de banda AM y FM.

El sistema DRM está diseñado para usarse en canales de 9 o 10 kHz o en múltiplos de estos anchos de banda de canal. Las diferencias en detalle sobre cuánto del flujo de bits disponible para estos canales se usa para audio, para protección y corrección de errores, y para datos dependen de la banda asignada (LF, MF o HF) y del uso previsto (por ejemplo, onda terrestre, onda ionosférica de corta distancia u onda ionosférica de larga distancia). (ITU-R BS.1514, 2001, pp-2-3).

En otras palabras, existen compensaciones modales disponibles para que el sistema pueda satisfacer las diversas necesidades de las emisoras de todo el mundo. Como se indica en la siguiente sección, cuando existen procedimientos regulatorios para usar canales de mayor ancho de banda que 9/10 kHz, la calidad de audio del sistema DRM y la capacidad total de transmisión de bits se pueden mejorar considerablemente.

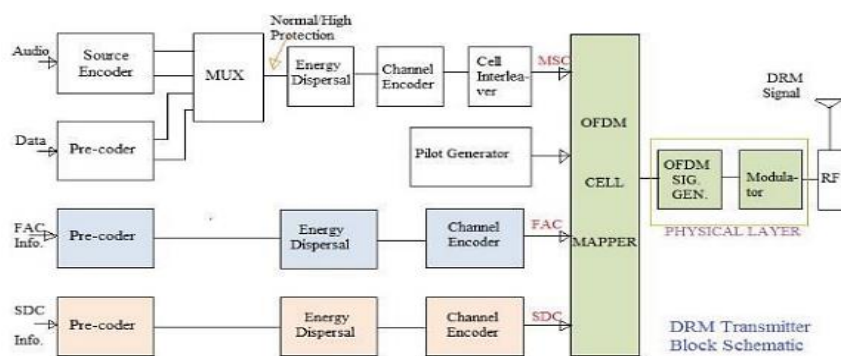
El sistema DRM emplea codificación de audio avanzada (AAC), complementada con replicación de banda espectral (SBR) como su codificación digital principal. SBR mejora la calidad de audio percibida mediante una técnica de mejora de frecuencia de banda base más alta utilizando información de las frecuencias más bajas como señales OFDM/QAM, las cuales se usan para la codificación y modulación del canal, junto con el intercalado de tiempo y la corrección de errores de reenvío (FEC) usando codificación multinivel (MLC) basada en un código convolucional.

Los símbolos de referencia piloto se utilizan para derivar información de ecualización de canales en el receptor. La combinación de estas técnicas da como resultado un sonido de mayor calidad con una recepción más robusta dentro del área de cobertura prevista en comparación con la AM utilizada actualmente.

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 sonora analógica. (Sistema Digital Radio Mondiale (DRM). Facultad de Ingeniería – UNAM).

## Figura 9

*Diagrama en Bloques Transmisor DRM*



Fuente. Tomada de (Rf-wireless-world, 2012)

**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+.** Como se presenta en la figura 10, 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).

### Figura 10

#### *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)

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. Ésta combina la codificación convolucional y la modulación OFDM para generar un alto nivel de protección contra errores. De igual forma, para modular cada subportadora 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).

**Arquitectura de Red Estándar DRM.** El estándar DRM ha estado utilizando últimamente los términos DRM para AM, en lugar de DRM30, y DRM para bandas FM, en lugar de DRM+, para enfatizar que DRM es un estándar unitario (no dos), como podría percibirse a veces, disfrutando de las mismas características y ventajas, independientemente de la banda en la que se utilice. DRM es más eficiente desde el punto de vista espectral que la AM y FM analógicas, lo que permite que más estaciones, con una mayor calidad de sonido, ingresen al ancho de banda analógico existente, pueden transmitir hasta 3 programas y un canal de datos en lugar de un solo programa analógico de AM o FM. La transmisión de radio DRM se realiza utilizando tecnología digital avanzada. En el lado del transmisor, primero el audio y los datos se procesan usando un codificador/multiplexor, mediante una interfaz de distribución múltiple (MDI)/protocolo de distribución y comunicación (DCP). Los datos se modulan a señales COFDM y se transmiten usando un transmisor DRM AM/FM dedicado. En el lado del receptor, la unidad vuelve a convertir las señales de radio en datos MDI/DCP utilizando el demodulador. Los datos se decodifican de nuevo a audio y datos utilizando el demultiplexor que se puede controlar mediante la interfaz de control y estado del receptor (RSCI).

Según las especificaciones, el DRM Modo E o DRM para FM se puede utilizar para transmisiones de radio por encima de 30 MHz hasta 230 MHz (VHF en las bandas I, II y III). Además, DRM Modo E o DRM para FM ofrece la flexibilidad de actualizar los transmisores FM analógicos existentes a DRM y también permite la transmisión simultánea analógica/DRM. Los transmisores DRM pueden consumir entre un 50 % y un 90 % menos de energía que los transmisores analógicos y es por eso que DRM es ecológico y muy eficiente energéticamente.

DRM utiliza la tecnología Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex (COFDM) para la transmisión de radio, que resuelve el problema de desvanecimiento (común en la radio analógica) y con la ayuda de una potencia de procesamiento informática económica pero eficiente: DRM utiliza técnicas modernas de compresión de audio que permiten un uso más eficiente de ancho de banda disponible, a expensas de los recursos de procesamiento. Las transmisiones DRM utilizan el último formato de codificación de audio xHE-AAC. Dado que DRM proporciona una mejor transmisión de radio y una calidad de audio superior.

DRM significa muy buen audio, pero también proporciona muchas aplicaciones multimedia útiles, como mensajes de texto DRM, texto avanzado Journaline con interactividad del oyente e información georreferenciada, presentaciones de diapositivas, actualizaciones de tráfico a través de TPEG/TMC, logotipos de servicios a través de SPI, (Acharjee, D, 2014).

**Capacidad de Red del Estándar DRM.** DRM en AM ha sido ampliamente probado y se usa para transmisiones actuales. Las partes interesadas indias, por ejemplo, llevaron a cabo una demostración exhaustiva de DRM en FM tanto en Delhi como en Jaipur en el año 2021.

Durante la prueba se confirmó que agregar transmisiones DRM a la banda FM es totalmente compatible y no interfiere con los servicios FM analógicos en curso. Además, DRM como un estándar de radio digital puro demostró su capacidad para transmitir de manera eficiente

múltiples señales DRM una al lado de la otra desde un solo transmisor (configuración de transmisor multi-DRM, que no debe confundirse con la solución múltiplex que ofrece DAB+), y para operar en configuraciones flexibles junto con una señal FM analógica del mismo transmisor (configuración de transmisor de transmisión simultánea).

La recepción de servicios DRM en la banda FM se demostró en varios receptores de consumidores de varios tipos, en receptores de automóviles y en teléfonos móviles. Se demostró que los modelos de receptores existentes, que ya son compatibles con DRM en las bandas AM, tal como lo adoptó la India, pueden admitir DRM en todas las bandas mediante una simple actualización de firmware sin modificaciones de hardware.

Cuando DRM se diseñó originalmente, estaba claro que los modos más robustos ofrecían una capacidad insuficiente para el formato de codificación de audio de última generación MPEG-4 HE-AAC (Codificación de audio avanzada de alta eficiencia). Sin embargo, con el desarrollo del último MPEG-4 xHE-AAC, que es una implementación de MPEG Unified Speech and Audio Coding, se actualizó el estándar DRM y se reemplazaron los dos formatos de codificación solo de voz, CELP y HVXC.

**Ventajas del Sistema de Radiodifusión DRM.** 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.

## **Diseño de Simulación del Sistema de Radiodifusión Digital DRM y el Sistema IBOC en la Ciudad de Cali**

En este capítulo se esboza el diseño de la simulación en Xirio, de los sistemas de radiodifusión digital seleccionados.

### **Diseño de la Simulación Sistema IBOC FM Híbrido**

Antes de iniciar se hace necesario seleccionar los equipos transmisores adecuados para realizar la simulación en Xirio de los dos sistemas IBOC y DRM.

#### ***Equipo Transmisor Sistema IBOC en FM Híbrido***

En la actualidad existen equipos de radiodifusión digital en FM, descritos en la Tabla 4. Que trabajan con el sistema en banda dentro del canal (IBOC), también conocido como HD Radio.

**Tabla 4***Equipos de Radiodifusión Digital HD Radio en FM Híbrido*

<b>Equipo</b>	<b>Empresa</b>	<b>Fabricación</b>	<b>Características</b>
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 watios, 1 kW y 2,5 kW, utilizando la tecnología HD Radio para FM digital.
Flexiva FLX	GatesAir	Norteamericana	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.* <sup>a</sup>Continental Lensa S. A (2022, web). <sup>b</sup>Nautel (2022, web). <sup>c</sup>GatesAir 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 5.

**Tabla 5***Características Técnicas Equipo Flexiva FLX*

<b>Frecuencia</b>	Banda de 88 MHz a 108 MHz
Modulación	La modulación de amplitud en cuadratura y modulación por desplazamiento de fase
Antena	Antena Dipolo omnidireccional - Rango de frecuencia: 88-108 MHz - Ganancia: 3,7 dBi (dipolo)
Característica antena	- 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.* Recomendaciones regulatorias para un esquema de radiodifusión. (2023)

Este tipo de transmisor usa 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 11 representa el equipo de radio Flexiva FLX.

## Figura 11

*Transmisor Flexiva FLX (IBOC-FM Híbrido)*



*Fuente.* Tomada de (GatesAir, 2021)

### **Configuración Xirio en Transmisión del Flexiva FLX - HD Radio (IBOC), FM Híbrido.**

*Configuración del Estudio de Cobertura (IBOC - FM Híbrido).* Para cada emisora se crea un estudio de cobertura que posteriormente se añadirá al estudio de cobertura multitransmisor. En Xirio online se selecciona “Cobertura” en tipo de estudio. Luego, en servicio o tecnología, para Categoría se selecciona “Radiodifusión Sonora”, en Subcategoría “HD RADIO (IBOC)” y en Servicio “HD RADIO (IBOC) FM Híbrido”, como se muestra en la figura 12.

## Figura 12

### Creación de un Nuevo Estudio Para IBOC - FM Híbrido

**Crear nuevo estudio**

**Seleccione un tipo de estudio**

<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="radio"/> Enlace</li> <li><input checked="" type="radio"/> Cobertura</li> <li><input type="radio"/> Cobertura de interior</li> <li><input type="radio"/> Cobertura multitransmisor</li> <li><input type="radio"/> Red de transporte</li> </ul>	<p><b>Estudio de cobertura:</b></p> <p>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.</p> <p><a href="#">Leer más</a></p>
---	--

**Seleccione un servicio o tecnología**

Categoría:	Radiodifusión Sonora
Subcategoría:	HD RADIO (IBOC)
Servicio:	HD RADIO (IBOC) - FM Híbrido

Fuente. Adaptado de (Xirio-online, 2024)

**Propiedades del Estudio de Cobertura (IBOC FM Híbrido).** Se nombra cada emisora.

En este caso se coloca la ciudad en estudio (Cali) y el dial de la emisora para identificarla en el mapa de coberturas, como se verá más adelante. También se escoge el tipo de servicio y la banda HD banda Radio híbrido, según la figura 13.

## Figura 13

### Propiedades del Estudio de Cobertura para IBOC - FM Híbrido

**Propiedades del estudio de Cobertura**

**Estudio**

<b>Nombre:</b>	CALI_IBOC_FM_Hibrido - Emisora 88.5
<b>Grupo:</b>	<input type="text"/>
<b>Servicio:</b>	HD RADIO (IBOC) - FM Híbrido
<b>Banda:</b>	BANDA FM IBOC HIBRIDO ↑
<b>Descripción:</b>	Estudio de cobertura...
<b>Fecha de última puesta en servicio/apagado:</b>	<input type="text"/> 31
<b>Estado:</b>	<input type="text"/>

Fuente. Adaptado de (Xirio-online, 2024)

**Propiedades de la Banda de Frecuencias (IBOC FM Híbrido).** Se Configura los parámetros de la banda de frecuencias para FM de 88 a 108 MHz, se escoge el ancho del canal de 100 KHz, la primera frecuencia portadora o primera emisora en la ciudad de Cali es 88.5 según se describe en la tabla 3. Figura 14.

**Figura 14**

*Propiedades de la Banda de Frecuencias para IBOC - FM Híbrido*


**Propiedades de la Banda de Frecuencias**

**Banda** ☆

**Nombre:** BANDA FM IBOC HIBRIDO

**Descripción 1:** RADIODIFUSION

**Descripción 2:** IBOC FM

**Color:** 

---

**Parámetros de la banda**

**Ancho de canal / Separación entre portadoras:** 100 KHz

**Ordinal del primer canal:** 1

**Tramo inferior:**

**Frecuencia inicial:** 88 MHz

**Frecuencia final:** 108 MHz

**Frecuencia primera portadora:** 88.5 MHz

**Tramo superior:**

**Frecuencia inicial:** 0 MHz

**Frecuencia final:** 0 MHz

**Frecuencia primera portadora:** 0 MHz



*Fuente.* Adaptado de (Xirio-online, 2024)

**Configuración del Transmisor (IBOC FM Híbrido).** Se configura el nombre y las coordenadas del transmisor Flexiva FLX. Las coordenadas que definen la ubicación del transmisor de cada emisora se obtienen de la tabla 3, según la ciudad donde se realiza la simulación. En la figura 15 se muestra la configuración del nombre y de las coordenadas.

## Figura 15

### *Propiedades del Transmisor para IBOC - FM Híbrido*

**Propiedades del transmisor**

Transmisor	
Nombre:	FLX FLEXIVA 88.5
Emplazamiento	
Emplazamiento:	<input type="text"/> 
Coordenadas	
Latitud:	03°28'03.10"N
Longitud:	076°32'41.00"W

*Fuente.* Adaptado de (Xirio-online, 2024)

***Configuración de Parámetros de Transmisor (IBOC FM Híbrido).*** Se configuran los parámetros que hacen parte del modo de transmisión, de tal manera que se ajusten a un ambiente real, así:

La antena para utilizar es un dipolo omnidireccional, que permite transmitir en todas las direcciones y que viene fabricada para trabajar en toda la gama de frecuencia modulada.

La antena debe ser capaz de adaptarse a diversas necesidades de cobertura, rurales, urbanas, montañosas o áreas sombreadas.

La antena se encuentra instalada a una altura de 30 metros, es un promedio, y se ubica 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 altura al nivel de la azotea (equivalente a la altura de la torre del sistema transmisor sobre el edificio 30m).

La orientación de la antena trata del apuntamiento horizontal 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 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 frecuencia que se va a utilizar depende del canal o dial de cada emisora, como muestra la figura 17, en este caso para el canal 1, la frecuencia corresponde a 88.5 MHz, la cual pertenece a la gama de VHF y hace parte de las ondas electromagnéticas utilizadas en las transmisiones de FM comercial. Cada emisora FM tiene asignada una frecuencia.

La polarización de la 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  $-45^\circ$ .

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 30 m, ya que la altura de la torre es también de 30 metros.

La potencia que se va a utilizar es de 40 KW, correspondiente a la mitad de la potencia máxima que podría generar el equipo de radio Flexiva FLX.

En la figura 16 se presenta la configuración de los parámetros de radio, que hace parte de las propiedades del transmisor Flexiva FLX.

**Figura 16**

*Configuración de los Parámetros de Radio del Transmisor Flexiva FLX*

**Parámetros de radio**

**Antena:** ANTENA OMNI DIPOLO

**Altura antena:** 30 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
88.500 MHz	1

**Polarización:** Cruzada

---

**Feeder:** Cable Eliax 3/8"

**Longitud del feeder:** 30 m

**Pérdidas del feeder:** 1.51 dB

**Pérdidas pasivos:** 0 dB

---

**Potencia:** 40 KW

*Fuente.* Adaptado de (Xirio-online, 2024)

***Configuración de Parámetros de Recepción (IBOC FM Híbrido).*** En la configuración de los parámetros de recepción, se deben considerar 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 la recepción hace referencia a la elevación donde se encuentra el receptor. Generalmente se encuentran en vehículos, por lo que 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 de potencia de señal recibida se ubica en -100 dBW.

En la figura 17 se presenta la configuración resultante de los parámetros de radio de recepción.

### Figura 17

*Configuración de Parámetros de Radio de Recepción para IBOC FM Híbrido*

**Parámetros de radio**

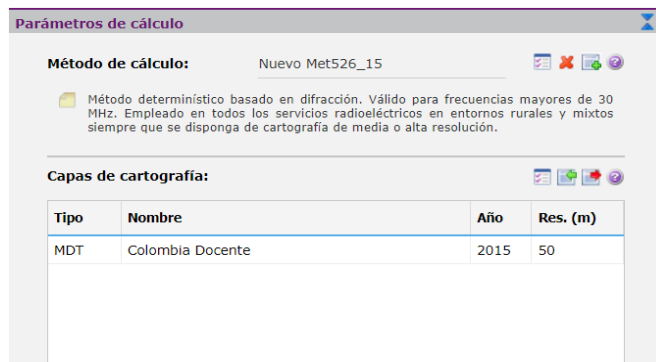
<b>Antena:</b>	Half-wave Dipole	   
<b>Altura antena:</b>	2	m
<b>Polarización:</b>	Circular	▼
<b>Feeder:</b>		 
<b>Longitud del feeder:</b>	0	m
<b>Pérdidas del feeder:</b>	0.00	dB 
<b>Pérdidas pasivos:</b>	0	dB
<b>Umbral recepción:</b>	<input type="radio"/> Campo <input checked="" type="radio"/> Potencia	
	-100	dBW ▼

*Fuente.* Adaptado de (Xirio-online, 2024)

**Configuración de Parámetros de Cálculo (IBOC FM Híbrido).** El método de propagación es “Nuevo Met526\_15”. La cartografía es Colombia docente, que viene predeterminada en el programa, como se muestra en la figura 18.

## Figura 18

*Configuración de los Parámetros de Cálculo: Método de Cálculo y Cartografía (IBOC FM Híbrido)*



*Fuente.* Adaptado de (Xirio-online, 2024)

**Configuración de Área de Cálculo y Rangos (IBOC FM Híbrido).** Para FM híbrido se transmiten tanto la señal analógica como la señal digital. La configuración del área de cobertura y el cálculo de rangos se define así:

El color verde indica el máximo nivel de recepción. Se encuentra entre -70 dBW e infinito.

El color amarillo indica el nivel de señal intermedia, que está comprendida entre -70 dBW y -90 dBW.

El nivel bajo de recepción, señalado por el color rojo, comprende el rango entre -90 dBW y -110 dBW.

Por último, se observa el umbral de recepción entre -110 dBW y -120 dBW señal nula. Esta zona se encuentra más alejada del transmisor o se ubica detrás de algún tipo de obstáculo natural o artificial. Se detalla los rangos en la figura 19.

## Figura 19

*Rango de Señal para la Radiodifusión Sonora Digital con IBOC FM Híbrido*

**Rango de Señal**



Color	Rango	Descripción
	[-120.00 , -110.00) dBW	Señal Nula
	[-110.00 , -90.00) dBW	Señal Baja
	[-90.00 , -70.00) dBW	Señal Buena
	[-70.00 , Infinity) dBW	Señal Excelente

*Fuente.* Adaptado de (Xirio-online, 2024)

### Diseño de la Simulación Sistema DRM FM:

el sistema DRM está formado por varios modos de operación que pueden ser divididos en dos grupos. Figura 20.

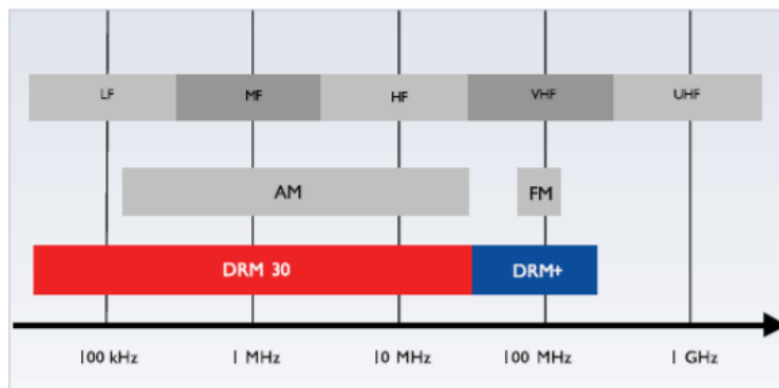
- DRM30: Denominados como modos de transmisión A, B, C, y D, son aquellos que fueron diseñados específicamente para la radiodifusión en las bandas de AM, utilizando frecuencias por debajo de los 30 MHz.

- Modos DRM+: El modo E está diseñado para permitir la radiodifusión en las bandas de 30 MHz a 174 MHz, donde se incluye la banda de FM, dentro de la banda de Frecuencias Muy Altas (VHF, Very High Frequency). Además de la característica de poder ajustarse a los requerimientos espectrales actuales, DRM también tiene la ventaja de ser un sistema abierto, ya que todos los organismos interesados tienen acceso libre a todos los estándares técnicos para diseñar y fabricar nuevos equipos, esto con el objetivo de ser un mecanismo importante para asegurar la constante mejora del sistema y la rápida reducción en los precios de los equipos

diseñados. *Comparación de Tecnologías de Radio Digital para su Aplicación en México*, UNAM (2007).

## Figura 20

### *Bandas de Uso Sistema DRM*



*Fuente.* Tomada de (UNAM, 2007)

Teniendo en cuenta las características en frecuencias del sistema DRM, debemos utilizar DRM+ para la realizar las pruebas de simulación que corresponde a la banda FM + de 30Mhz hasta 174 MHz.

**Tabla 6***Equipos de Radiodifusión Digital DMR FM*

<b>Equipo</b>	<b>Empresa</b>	<b>Fabricación</b>	<b>Características</b>
Flexiva HP High Power	GatesAir	Norteamericana	Digital Ready: amplificación innovadora de RF en modo de operación cuádruple: FM, FM + HD Radio™, HD Radio only o <b>DRM+</b>
DRM30 OPUS	Digidia		Es un producto adecuado y compacto para transmitir una señal DRM en las bandas de 26 MHz. a 250 W de potencia típico de DRM (Contiene el Excitador DRM integrado).

*Fuente.* Gateair. *FlexivaHP*, (2024).

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 High Power (ver Tabla 4), por su capacidad de transmitir la señal analógica y la señal digital en el mismo canal, (Modo híbrido).

El transmisor Flexiva HP es un amplificador de potencia de estado sólido de VHF que puede ser usado en 4 modos de operación en la banda FM: HD Radio y DRM+. Flexiva es el transmisor de FM más eficiente disponible, combinando la arquitectura PowerSmart, la tecnología LDMOS de 50 volts brinda un incremento dramático en la densidad de potencia, bajos costos de operación, y reducidos costos de posesión sobre la vida útil del transmisor de acuerdo con las características técnicas indicadas en la Tabla 7.

**Tabla 7***Características Técnicas Equipo Flexiva High Power*

<b>Frecuencia</b>	Banda de 88 MHz a 108 MHz
<b>Modulación</b>	OFDM - Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal
<b>Antena</b>	Antena Dipolo omnidireccional - Rango de frecuencia: 87.5 - 108 MHz - Ganancia: 3,7 dBi (dipolo)
<b>Característica antena</b>	- Ancho de banda: 50 MHz - Máx. potencia: 80 kW - Impedancia: 50 ohmios
<b>Potencia</b>	Hasta 80 kW
<b>Alimentación</b>	Fuentes de alimentación de alta eficiencia (96%), auto rango, hot pluggables

Fuente. Gateair. *FlexivaHP*, (2024)

**Figura 21***Transmisor Flexiva High Power DRM+*

Fuente. Tomada de (GatesAir, 2024)

## Configuración Xirio en Transmisión del Flexiva HP - DRM, FM Híbrido

**Configuración del Estudio de Cobertura (DRM - FM).** Para cada emisora se crea un estudio de cobertura que posteriormente se añadirá al estudio de cobertura multitransmisor. En Xirio online se selecciona “Cobertura” en tipo de estudio. Luego, en servicio o tecnología, para Categoría se selecciona “Radiodifusión Sonora”, en Subcategoría “DRM” y en Servicio “DRM+ 30 MHz - FM”, como se muestra en la figura 22.

### Figura 22

*Creación de un Nuevo Estudio para DRM+ FM*

**Crear nuevo estudio**

**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:	DRM
Servicio:	DRM más de 30 MHz

*Fuente.* Adaptado de (Xirio-online, 2024)

**Propiedades del Estudio de Cobertura (DRM+ FM).** Se Nombra cada emisora. En este caso se coloca la ciudad en estudio (Cali) y el dial de la emisora para identificarla en el mapa de coberturas, como se verá más adelante. También se escoge el tipo de servicio y la banda DRM+ 30 MHz - FM, según la figura 23.

## Figura 23

### *Propiedades del Estudio de Cobertura DRM+ FM*

**Propiedades del estudio de Cobertura**

**Estudio**

Nombre: CALI\_DRM+\_FM - Emisora 88.5

Grupo: [dropdown arrow]

Servicio: DRM más de 30 MHz

Banda: BANDA FM DRM+ ↑

Descripción: Estudio de cobertura...

Fecha de última puesta en servicio/apagado: 31

Estado: [text field]

*Fuente.* Adaptado de (Xirio-online, 2024)

**Propiedades de la Banda de Frecuencias (DRM+ FM).** Se Configura los parámetros de la banda de frecuencias para DRM+ entre 30 y 174 MHz, la cual se encuentra en el rango para FM de 88 a 108 MHz, se escoge el ancho del canal de 100 KHz, la primera frecuencia portadora o primera emisora en la ciudad de Cali es 88.5 según se describe en la tabla 3. Figura 24.

## Figura 24

### *Propiedades de la Banda de Frecuencias para DRM+ FM*

**Propiedades de la Banda de Frecuencias**

**Banda ☆**

Nombre: BANDA FM DRM+

Descripción 1: DRM+ mas de 30 MHz para FM

Descripción 2: [text area]

Color: [color swatch]

---

**Parámetros de la banda**

Ancho de canal / Separación entre portadoras: 100 KHz

Ordinal del primer canal: 1

Frecuencia inicial: 30 MHz

Frecuencia final: 174 MHz

Frecuencia primera portadora: 88.5 MHz

Canales prohibidos: [text field]

Canales prioritarios: [text field]

Introduzca una lista de canales separados por comas y/o intervalos de canales (Ejemplo: 2, 2', 5-7, 12'-21').

*Fuente.* Adaptado de (Xirio-online, 2024)

**Configuración del Transmisor (DRM+ FM).** Se configura el nombre y las coordenadas del transmisor Flexiva HP. Las coordenadas que definen la ubicación del transmisor de cada emisora se obtienen de la tabla 3, según la ciudad donde se realiza la simulación. En la figura 25 se muestra la configuración del nombre y de las coordenadas.

**Figura 25**

*Propiedades del Transmisor DRM+ FM*

*Fuente.* Adaptado de (Xirio-online, 2024)

**Configuración de Parámetros de Transmisor (DRM+ FM).** Se configuran los parámetros que hacen parte del modo de transmisión, de tal manera que se ajusten a un ambiente real, así:

La antena para utilizar es un dipolo omnidireccional, que permite transmitir en todas las direcciones y que viene fabricada para trabajar en toda la gama de frecuencia modulada.

La antena debe ser capaz de adaptarse a diversas necesidades de cobertura, rurales, urbanas, montañosas o áreas sombreadas.

La antena se encuentra instalada a una altura de 30 metros, es un promedio, y se ubica 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 altura al nivel de la azotea (equivalente a la altura de la torre del sistema transmisor sobre el edificio 30m).

La orientación de la antena trata del apuntamiento horizontal medido en grados. Para este caso se selecciona  $100^\circ$  y su inclinación mecánica es de  $2^\circ$ , buscando siempre lograr un mayor alcance de la señal transmitida por la antena

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 frecuencia que se va a utilizar depende del canal o dial de cada emisora, como muestra la figura 17, en este caso para el canal 1, la frecuencia corresponde a 88.5 MHz, la cual pertenece a la gama de VHF y hace parte de las ondas electromagnéticas utilizadas en las transmisiones de FM comercial. Cada emisora FM tiene asignada una frecuencia.

La polarización de la 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  $-45^\circ$ .

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 30 m, ya que la altura de la torre es también de 30 metros.

La potencia que se va a utilizar es de 40 KW, correspondiente a la mitad de la potencia máxima que podría generar el equipo de radio Flexiva FLX.

En la figura 26 se presenta la configuración de los parámetros de radio, que hace parte de las propiedades del transmisor Flexiva FLX.

**Figura 26***Configuración de los Parámetros de Radio del Transmisor Flexiva HP*

**Parámetros de radio**

**Antena:** ANTENA OMNI DIPOLO

**Altura antena:** 30 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
88.500 MHz	1

**Polarización:** Cruzada

---

**Feeder:** Cable Eliax 3/8"

**Longitud del feeder:** 30 m

**Pérdidas del feeder:** 1.51 dB

**Pérdidas pasivos:** 0 dB

---

**Potencia:** 40 KW

*Fuente.* Adaptado de (Xirio-online, 2024)

**Configuración de Parámetros de Recepción (DRM+ FM).** En la configuración de los parámetros de recepción, se deben considerar los siguientes aspectos:

La antena que se va a utilizar es una telescópica para DRM+ FM, la cual viene instalada en todos los receptores de radio.

La altura de la antena en la recepción hace referencia a la elevación donde se encuentra el receptor. Generalmente se encuentran en vehículos, por lo que 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 de potencia de señal recibida se ubica en -100 dBW.

En la figura 27 se presenta la configuración resultante de los parámetros de radio de recepción.

### Figura 27

*Configuración de Parámetros de Radio de Recepción para DRM+ FM*

**Parámetros de radio**

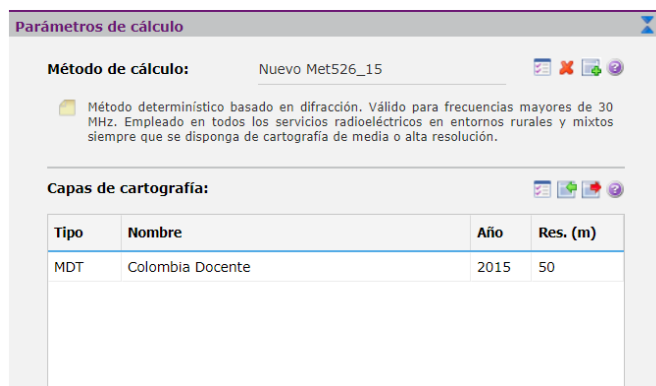
<b>Antena:</b>	Half-wave Dipole	   
<b>Altura antena:</b>	2	m
<b>Polarización:</b>	Circular	▼
<b>Feeder:</b>		 
<b>Longitud del feeder:</b>	0	m
<b>Pérdidas del feeder:</b>	0.00	dB 
<b>Pérdidas pasivos:</b>	0	dB
<b>Umbral recepción:</b>	<input type="radio"/> Campo <input checked="" type="radio"/> Potencia	
	-100	dBW ▼

*Fuente.* Adaptado de (Xirio-online, 2024)

**Configuración de Parámetros de Cálculo (DRM+ FM).** El método de propagación es “Nuevo Met526\_15”. La cartografía es Colombia docente, que viene predeterminada en el programa, como se muestra en la figura 28.

## Figura 28

### Configuración de los Parámetros de Cálculo: Método de Cálculo y Cartografía (DRM+ FM)



Fuente. Adaptado de (Xirio-online, 2024)

**Configuración de Área de Cálculo y Rangos (DRM+ FM).** Para DRM FM se transmiten tanto la señal analógica como la señal digital. La configuración del área de cobertura y el cálculo de rangos se define así:

El color verde indica el máximo nivel de recepción. Se encuentra entre -70 dBW e infinito.

El color amarillo indica el nivel de señal intermedia, que está comprendida entre -70 dBW y -90 dBW.

El nivel bajo de recepción, señalado por el color rojo, comprende el rango entre -90 dBW y -110 dBW.

Por último, se observa el umbral de recepción entre -110 dBW y -120 dBW señal nula. Esta zona se encuentra más alejada del transmisor o se ubica detrás de algún tipo de obstáculo natural o artificial. Se detalla los rangos en la figura 29.

## Figura 29

### *Rango de Señal para la Radiodifusión Sonora Digital con DRM+ FM*

**Rango de Señal**



Color	Rango	Descripción
■	[-120.00 , -110.00) dBW	Señal Nula
■	[-110.00 , -90.00) dBW	Señal Baja
■	[-90.00 , -70.00) dBW	Señal Buena
■	[-70.00 , Infinity) dBW	Señal Excelente

*Fuente.* Adaptado de (Xirio-online, 2024)

## Configuración de Estudio Multitransmisor de Coberturas e Interferencias

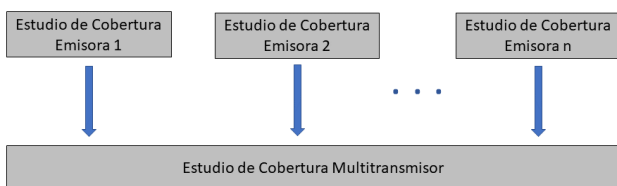
Las simulaciones de radiodifusión sonora digital se realizan en Xirio Online, considerando la información cartográfica y la información de las emisoras en FM, como frecuencia, potencia, altura y ubicación de las antenas en la ciudad de Cali Colombia.

Se realizará un análisis de cobertura multitransmisor que consiste en una combinación de estudios de coberturas simples. Con este tipo de cobertura se puede realizar varios tipos de cálculos como cobertura radioeléctrica que alcanza una red de estaciones, estadísticas de superficies y población cubiertas y cálculo de interferencias, de acuerdo con la información caracterizada del presente documento.

Se parte de estudios de cobertura simples que se integran al estudio de cobertura multitransmisor. En la figura 30 se presenta una descripción gráfica de la integración de estudios de cobertura.

### Figura 30

*Integración de Estudios de Cobertura para Crear un Estudio de Cobertura Multitransmisor*



*Fuente. Autor*

### Configuración Estudio Multitransmisor Estándar IBOC

En la figura 31 se muestra el proceso de creación de un nuevo estudio de cobertura multitransmisor para radiodifusión sonora IBOC - FM Híbrido.

### Figura 31

*Creación de un Nuevo Estudio de Cobertura Multitransmisor para Radiodifusión Sonora IBOC - FM Híbrido*

**Crear nuevo estudio**

**Seleccione un tipo de estudio**

<input type="radio"/> Enlace	<b>Estudio de cobertura multitransmisor:</b> Este estudio permite determinar la cobertura radioeléctrica que alcanza una red de estaciones. Consiste en una combinación de estudios de coberturas simples. <a href="#">Leer más</a>
<input type="radio"/> Cobertura	
<input type="radio"/> Cobertura de interior	
<input checked="" type="radio"/> Cobertura multitransmisor	
<input type="radio"/> Red de transporte	

---

**Seleccione un servicio o tecnología**

Categoría:	Radiodifusión Sonora	▼
Subcategoría:	HD RADIO (IBOC)	▼
Servicio:	HD RADIO (IBOC) - FM Híbrido	▼

*Fuente. Adaptado de (Xirio-online, 2024)*

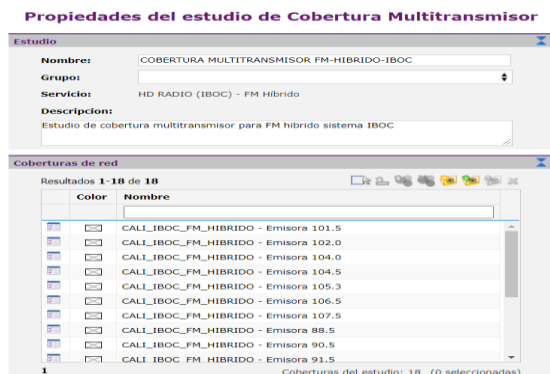
### Configuración de Propiedades del Estudio de Cobertura Multitransmisor IBOC.

En Xirio, una vez se selecciona un estudio de cobertura multitransmisor, se procede a asignar un nombre al estudio y a añadir estudios de cobertura simples ya creados o nuevos

estudios. En cobertura de red, se seleccionan todas las 18 emisoras de la ciudad de Cali creadas previamente en el estándar IBOC, como se muestra en la figura 32.

### Figura 32

*Configuración de Propiedades del Estudio de Cobertura Multitransmisor: Nombre e Integración de Coberturas Simples IBOC*

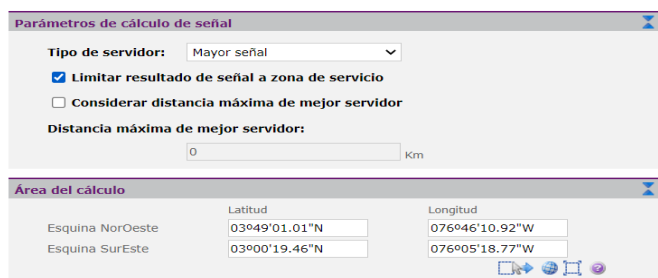


*Fuente.* Adaptado de (Xirio-online, 2024)

**Configuración de Parámetros de Cálculo de Señal y Área de Cálculo IBOC.** Se selecciona tipo de servidor de mayor señal y se limita el resultado de señal a la zona de servicio, también se selecciona el área de cálculo según las coordenadas designadas el mapa cartográfico de XIRIO, como se muestra en la figura 33.

### Figura 33

*Configuración de Parámetros de Cálculo de Señal y Área de Cálculo IBOC*



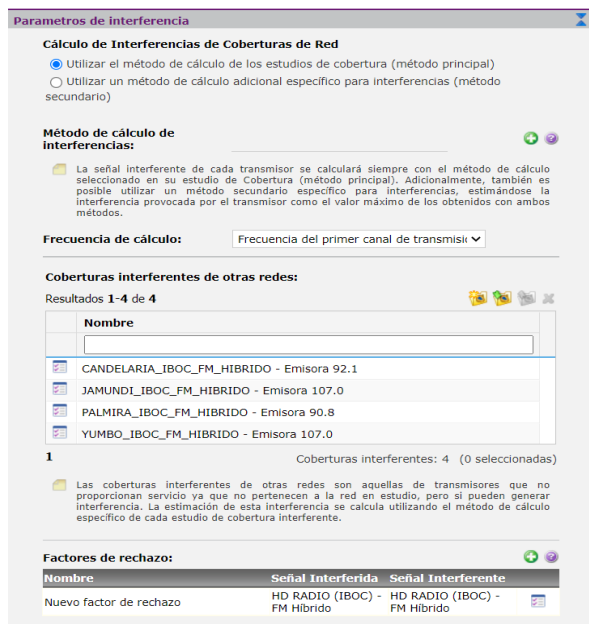
*Fuente.* Adaptado de (Xirio-online, 2024)

**Configuración de Parámetros de Interferencias IBOC.** Se utiliza el método de cálculo de los estudios de cobertura y se seleccionan las emisoras o coberturas interferentes de otras redes, en este caso seleccionamos las emisoras creadas de municipios aledaños a la ciudad de Cali como son: Candelaria, Jamundí, Palmira y Yumbo, como se muestra en la figura 34. Esto con el fin de hacer un uso óptimo del espectro, permitir

valorar las posibles causas de señales interferentes de las emisoras en estudio, verificar nivel de ruido o interferencias que puedan causar degradación de la señal o evite la recepción total o parcial de señales.

### Figura 34

#### *Configuración de Parámetros de Interferencias IBOC*



*Fuente.* Adaptado de (Xirio-online, 2024)

**Configuración de Área de Cálculo y Rangos de Señal IBOC.** Para IBOC FM se transmiten tanto la señal analógica como la señal digital. La configuración de rangos de la relación de señal a ruido o interferencias se define así:

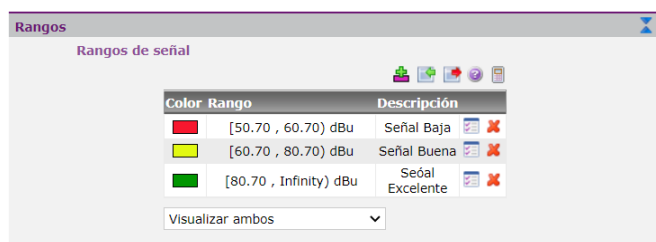
El color verde indica el máximo nivel sin interferencias. Se encuentra entre 80.70 dBu e infinito.

El color amarillo indica el nivel de señal intermedia, que está comprendida entre 60.70 dBu y 80.70 dBu.

El nivel bajo o de mayor interferencia, señalado por el color rojo, comprende el rango entre 50.70 dBu y 60.70 dBu. Se detalla los rangos en la figura 35.

### Figura 35

#### *Configuración de Parámetros de Interferencias IBOC*



Color	Rango	Descripción
Red	[50.70 , 60.70) dBu	Señal Baja
Yellow	[60.70 , 80.70) dBu	Señal Buena
Green	[80.70 , Infinity) dBu	Señal Excelente

Visualizar ambos

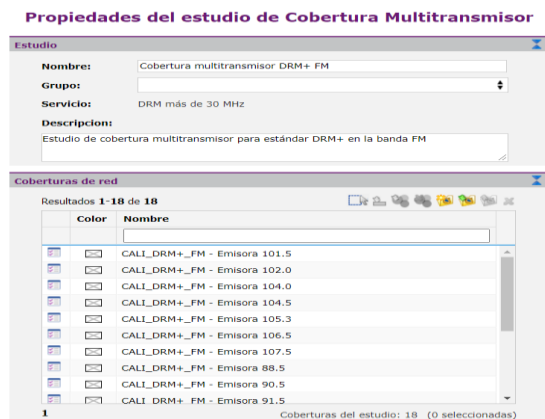
*Fuente.* Adaptado de (Xirio-online, 2024)

#### *Configuración de Propiedades del Estudio de Cobertura Multitransmisor DRM+*

En Xirio, una vez se selecciona un estudio de cobertura multitransmisor, se procede a asignar un nombre al estudio y a añadir estudios de cobertura simples ya creados o nuevos estudios. En cobertura de red, se seleccionan todas las 18 emisoras de la ciudad de Cali creadas previamente en el estándar DRM+, como se muestra en la figura 36.

## Figura 36

*Configuración de Propiedades del Estudio de Cobertura Multitransmisor: Nombre e Integración de Coberturas Simples DRM+*

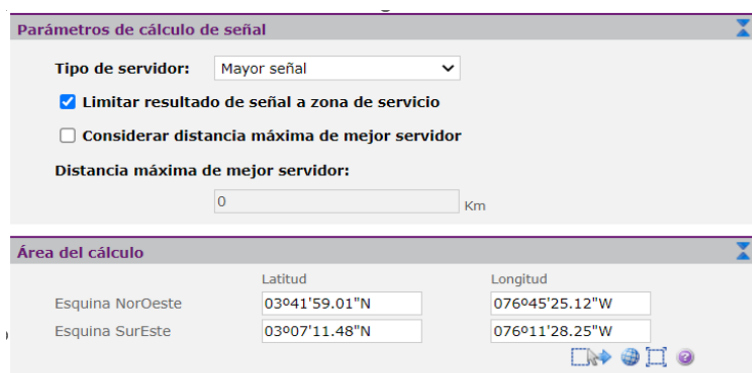


*Fuente.* Adaptado de (Xirio-online, 2024)

**Configuración de Parámetros de Cálculo de Señal y Área de Cálculo DRM.** Se selecciona tipo de servidor de mayor señal y se limita el resultado de señal a la zona de servicio, también se selecciona el área de cálculo según las coordenadas designadas en el mapa cartográfico de XIRIO, como se muestra en la figura 37.

## Figura 37

*Configuración de Parámetros de Cálculo de Señal y Área de Cálculo*



*Fuente.* Adaptado de (Xirio-online, 2024)

**Configuración de Parámetros de Interferencias DRM+.** Se utiliza el método de cálculo de los estudios de cobertura y se seleccionan las emisoras o coberturas interferentes de otras redes, en este caso seleccionamos las emisoras creadas de municipios aledaños a la ciudad de Cali como son: Candelaria, Jamundí, Palmira y Yumbo, como se muestra en la figura 38.

**Figura 38**

*Configuración de Parámetros de Interferencias DRM+*

**Parametros de interferencia**

**Cálculo de Interferencias de Coberturas de Red**

Utilizar el método de cálculo de los estudios de cobertura (método principal)  
 Utilizar un método de cálculo adicional específico para interferencias (método secundario)

**Método de cálculo de interferencias:**

La señal interferente de cada transmisor se calculará siempre con el método de cálculo seleccionado en su estudio de Cobertura (método principal). Adicionalmente, también es posible utilizar un método secundario específico para interferencias, estimándose la interferencia provocada por el transmisor como el valor máximo de los obtenidos con ambos métodos.

**Frecuencia de cálculo:** Frecuencia del primer canal de transmisi...

**Coberturas interferentes de otras redes:**

Resultados 1-4 de 4

Nombre
CALI_DRM+_FM - Emisora 107.0 - JAMUNDI
CALI_DRM+_FM - Emisora 107.0 - YUMBO
CALI_DRM+_FM - Emisora 90.8 - PALMIRA
CALI_DRM+_FM - Emisora 92.1 - CANDELARIA

1 Coberturas interferentes: 4 (0 seleccionadas)

Las coberturas interferentes de otras redes son aquellas de transmisores que no proporcionan servicio ya que no pertenecen a la red en estudio, pero si pueden generar interferencia. La estimación de esta interferencia se calcula utilizando el método de cálculo específico de cada estudio de cobertura interferente.

**Factores de rechazo:**

Nombre	Señal Interferida	Señal Interferente
Nuevo factor de rechazo	DRM más de 30 MHz	DRM más de 30 MHz

*Fuente.* Adaptado de (Xirio-online, 2024)

**Configuración de Área de Cálculo y Rangos de Señal.** Para IBOC FM se transmiten tanto la señal analógica como la señal digital. La configuración de rangos de la relación de señal a ruido o interferencias se define así:

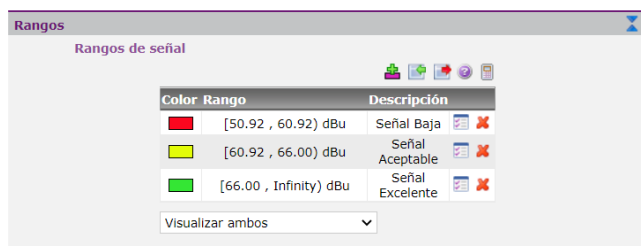
El color verde indica el máximo nivel sin interferencias. Se encuentra entre 66 dBu e infinito.

El color amarillo indica el nivel de señal intermedia, que está comprendida entre 60.92 dBu y 66 dBu.

El nivel bajo o de mayor interferencia, señalado por el color rojo, comprende el rango entre 50.92 dBu y 60.92 dBu. Se detalla los rangos en la figura 39.

### Figura 39

#### *Configuración de Parámetros de Interferencias*



Color	Rango	Descripción
Red	[50.92 , 60.92) dBu	Señal Baja
Yellow	[60.92 , 66.00) dBu	Señal Aceptable
Green	[66.00 , Infinity) dBu	Señal Excelente

*Fuente.* Adaptado de (Xirio-online, 2024)

## **Simulación del Sistema de Radiodifusión de Audio Digital IBOC y DRM+ en la Ciudad de Cali**

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

### **Software de Simulación XIRIO**

El software Xirio es una herramienta online de simulación de uso profesional que permite realizar cálculos de cobertura radioeléctrica en entornos urbanos, empleando cartografía de alta resolución con ayuda del visor de Google Maps. La herramienta genera modelos del terreno en 3D que recrean el relieve del terreno objeto del estudio donde se desplegarán las redes de comunicación.

El acceso a la herramienta Xirio Online, se realiza a través del enlace Web:

<http://www.xirio-online.com/>. Xirio Online, se usará el módulo Planningtool

**Planningtool** Es la opción de planificación de cobertura radioeléctrica que permite realizar el estudio de simulación de diferentes estándares de comunicaciones inalámbricas.

La plataforma Xirio Online, tiene disponibles las siguientes cuatro (4) clases de estudios de simulación (Xirio Online, 2024):

Enlace

Red de Transporte

Cobertura

Cobertura Multitransmisor

En el presente proyecto se realizarán estudios de cobertura y cobertura multitransmisor. Asimismo, se realizarán cálculos de cobertura radioeléctrica, cálculos de estadísticas de

cobertura y cálculos de interferencia en el caso de la simulación IBOC y DRM, debido a que operaría en la misma frecuencia de la radio análoga. A continuación, se define cada una de ellas.

### **Cobertura**

En el contexto de las normas de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU, por sus siglas en inglés), el alcance y la cobertura se refieren a dos conceptos diferentes relacionados con la propagación de señales de radio.

El alcance se refiere a la distancia máxima a la que una señal de radio puede ser recibida con una calidad de señal suficiente para su uso previsto. El alcance depende de varios factores, incluyendo la potencia de la señal transmitida, la frecuencia de la señal, el tipo de antena utilizada y las condiciones del medio ambiente. La ITU define diferentes tipos de alcance, incluyendo el alcance de línea de vista, el alcance efectivo y el alcance de difracción.

La cobertura se refiere a la extensión geográfica de un área en la que una señal de radio puede ser recibida con una calidad de señal suficiente para su uso previsto. La cobertura depende del alcance de la señal, así como de otros factores como la topografía del terreno, la densidad de población y la presencia de obstáculos que puedan bloquear la señal.

### **RSSI**

El termino RSSI (Received Signal Strength Indicator) que traduce, Indicador de fuerza 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. La escala tiende a cero y se representa en 0 RSSI, dBm o dBW estos valores típicamente se encuentran en la escala de valores negativos. dBm o dBW es la unidad de medida decibelios – mili vatios, utilizada para indicar un nivel de potencia absoluta, que expresa en decibelios con referencia a 1 mili vatio

Este indicador expresa intensidad mas no calidad de la señal recibida, la siguiente escala interpreta los datos obtenidos en un estudio de cobertura, aunque estos datos suelen variar según el fabricante y no son un estándar para todos los sistemas, solo sirven como datos de referencias.

(Escala de medidas en Telecomunicaciones: los decibelios, Antonio Melgarano, 2002)

0: Señal ideal, esto en la práctica es muy difícil de lograr.

-40 a -60: Señal idónea, con las tasas de transferencias muy estables.

-60 a -80: Enlace bueno o aceptable, puede sufrir problemas con viento o lluvia.

-80 a -100: Señal mínima para establecer conexión, puede ocurrir intermitencia.

-100 a infinito: Perdida total de la comunicación.

En resumen, el alcance se refiere a la distancia máxima a la que se puede recibir una señal de radio con calidad suficiente, mientras que la cobertura se refiere a la extensión geográfica en la que la señal es recibida con calidad suficiente. Ambos conceptos son importantes en la planificación y el diseño de sistemas de radiodifusión y telecomunicaciones.

La interferencia de cocanal y de canal adyacente son dos tipos de interferencias que pueden ocurrir en sistemas de radiodifusión digital en frecuencia modulada (FM) utilizando el estándar IBOC y DRM.

### **Interferencia de Cocanal**

La interferencia de cocanal ocurre cuando una señal de radio digital y una señal de radio analógica ocupan la misma frecuencia central. Esto puede causar interferencia y degradación de la calidad de la señal analógica, lo que resulta en una recepción deficiente. Para reducir la interferencia de cocanal, el estándar IBOC utiliza una técnica de supresión de banda lateral que reduce la amplitud de las bandas laterales de la señal digital, lo que disminuye la interferencia con la señal analógica.

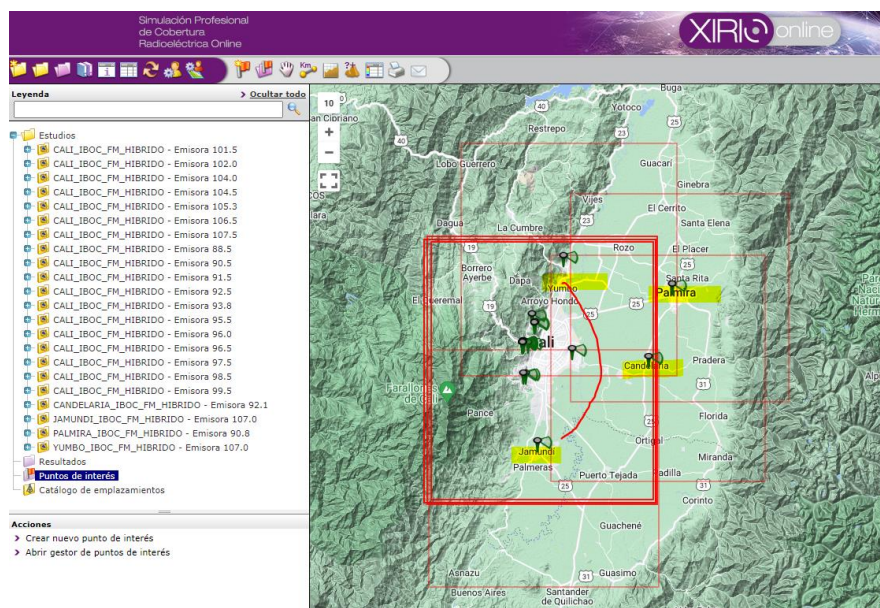
## **Interferencia de Canal Adyacente**

La interferencia de canal adyacente ocurre cuando una señal de radio digital en un canal ocupado se extiende a canales adyacentes y causa interferencia con otras señales. El estándar IBOC utiliza técnicas de filtrado digital para limitar la energía de la señal digital en los canales adyacentes y evitar la interferencia con otras señales de radio en esos canales. Mientras el sistema DRM+ coloca la señal DRM al lado de la señal FM y para no causar interferencias en las transmisiones analógicas existentes, se utiliza la máscara establecida por la ETSI para evitar generar interferencias a los canales adyacentes.

En resumen, tanto la interferencia de cocanal como la interferencia de canal adyacente pueden ocurrir en sistemas de radiodifusión digital en FM utilizando el estándar IBOC y DRM. Para reducir la interferencia, el estándar IBOC utiliza técnicas de supresión de banda lateral y filtrado digital y DRM máscara espectral para limitar la energía de la señal digital en los canales adyacentes y evitar la interferencia con otras señales de radio.

## **Simulación del Estándar IBOC**

En la figura 40 se describe la simulación utilizando el estándar de radiodifusión digital IBOC previamente configurado para la ciudad de Cali. Se seleccionó los parámetros de transmisión, recepción, zona de cobertura y rangos de señal.

**Figura 40***Simulación Estándar IBOC en Cali*

*Fuente.* Adaptado de (Xirio-online, 2024).

Se observan 18 emisoras en la ciudad de Cali, desde el dial 88.5 hasta 107.5 en la banda FM. También se configuran 4 emisoras adicionales con los mismos parámetros, para simular posibles interferencias de emisiones de los corregimientos aledaños a la ciudad de Cali como son: Yumbo, Palmira, Candelaria y Jamundí, estas últimas sombreadas en amarillo.

Se puede apreciar en la figura 41, se reflejan 3 colores de 4 posibles, estos representan o definen la intensidad de la señal que recibe un receptor en un punto determinado del rango de cobertura, dichos rangos fueron establecidos en la configuración inicial, donde:

Color verde representa una excelente recepción, que va de -70 dBW hasta infinito,

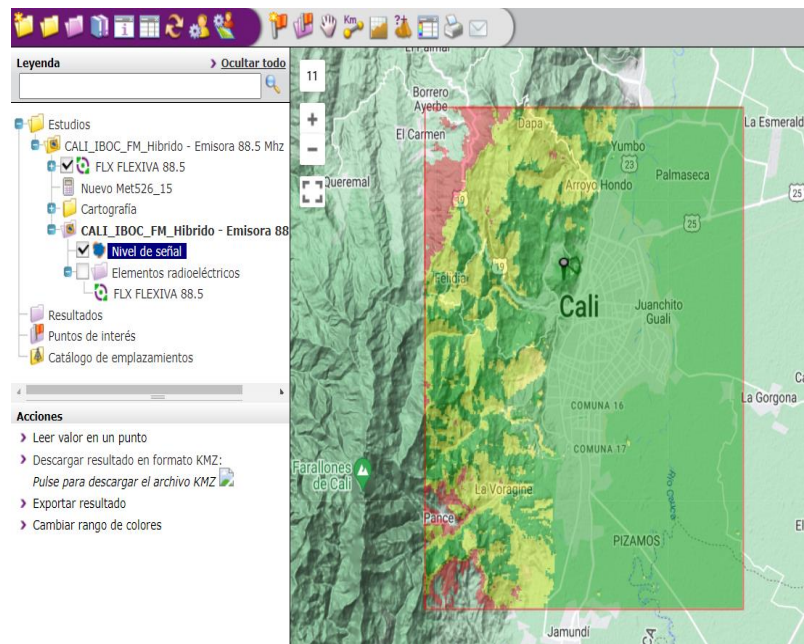
Color amarillo indica una señal aceptable de recepción que va de -70 dBW hasta -90 dBW.

Color rojo describe una señal baja que va desde -90 dBW (umbral) hasta -110 dBW

Color negro indica la carencia de señal, al situarse por debajo del umbral establecido. -  
110 dBW a -120 dBW.

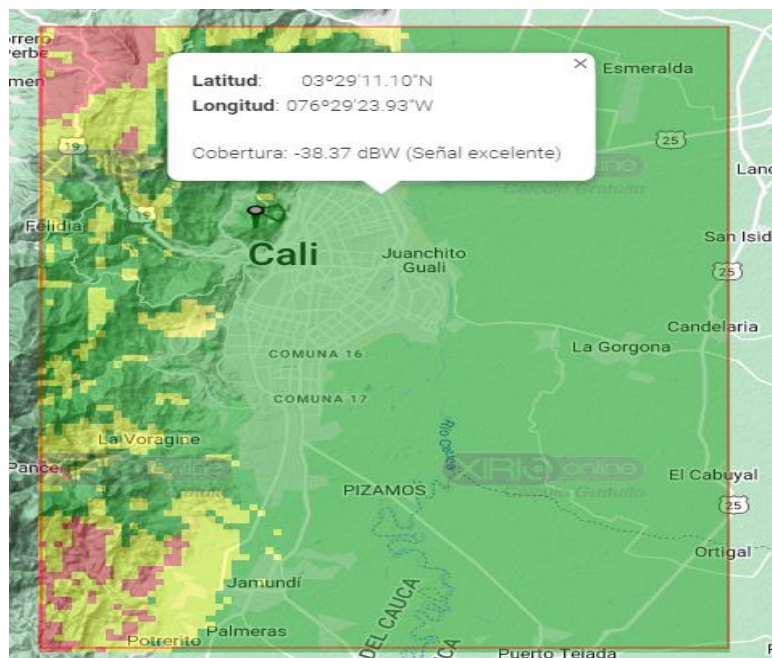
## Figura 41

### *Rango de Señal IBOC - FM*



*Fuente.* Adaptado de (Xirio-online, 2024)

Se toman 22 puntos de referencias en el área de cálculo y cobertura, para capturar los datos de coordenadas y el nivel de recepción en potencia, como se muestra en la figura 42.

**Figura 42***Toma de Muestras y Datos de Cobertura IBOC*

*Fuente.* Adaptado de (Xirio-online, 2024)

La Tabla 8 presenta una lista de 22 puntos de referencia en la ciudad de Cali, junto con sus coordenadas geográficas, nombres respectivos y la potencia de señal recibida en dBW.

**Tabla 8***Indicador de Potencia en Puntos de Referencias, Ciudad de Cali IBOC*

<b>Coordenadas</b>	<b>Punto de referencia</b>	<b>Potencia RSSI (dBW)</b>
"03°29'05.92"N - 076°31'23.55"W	Parque de la Flora	-30.74 dBW (Excelente)
"03°28'43.09"N - 076°29'43.09"W	Comuna 5	-44.66 dBW (Excelente)
"03°28'16.82"N - 076°30'41.12"W	Comuna 4	-32.33 dBW (Excelente)
"03°26'55.39"N - 076°28'18.99"W	Juanchito Gualí	-47.19 dBW (Excelente)
"03°26'56.01"N - 076°30'03.43"W	Comuna 8	-35.42 dBW (Excelente)
"03°26'34.79"N - 076°32'14.23"W	Loma de la Cruz	-29.91 dBW (Excelente)
"03°25'09.29"N - 076°31'38.59"W	Comuna 10	-36.07 dBW (Excelente)
"03°24'44.61"N - 076°27'54.89"W	Manuela Beltrán	-47.15 dBW (Excelente)
"03°23'38.37"N - 076°31'06.87"W	Comuna 16	-45.77 dBW (Excelente)
"03°22'12.24"N - 076°33'33.60"W	Bajo Jordán	-72.01 dBW (Buena)
"03°22'06.45"N - 076°30'59.45"W	Comuna 17	-44.85 dBW (Excelente)
"03°24'19.70"N - 076°29'40.12"W	Las Gemelas	-39.87 dBW (Excelente)
"03°23'00.12"N - 076°31'06.87"W	El Caney	-43.87 dBW (Excelente)
"03°18'54.74"N - 076°32'28.36"W	Casablanca	-58.52 dBW (Excelente)
"03°27'42.81"N - 076°28'52.69"W	Alfonso López	-37.99 dBW (Excelente)
"03°27'19.36"N - 076°33'21.20"W	Terron Colorado	-36.73 dBW (Excelente)
"03°26'52.68"N - 076°30'58.83"W	Santa Lucia	-32.62 dBW (Excelente)
"03°32'08.50"N - 076°23'14.11"W	Aeropuerto Alfonso B	-48.17 dBW (Excelente)
"03°32'53.68"N - 076°29'44.29"W	Yumbo	-51.87 dBW (Excelente)
"03°32'22.26"N - 076°17'52.55"W	Palmira	-54.94 dBW (Excelente)
"03°13'19.75"N - 076°24'55.25"W	Puerto Tejada	-60.80 dBW (Excelente)
"03°15'55.23"N - 076°32'35.02"W	Jamundí	-69.85 dBW (Excelente)
<b>Promedio Cobertura IBOC</b>		<b>-45.52 dBW (Excelente)</b>

*Fuente. Autor*

La tabla anterior describe el posible escenario de transmisión de radiodifusión digital del estándar IBOC híbrido en la banda FM. Se destaca un excelente cubrimiento prácticamente en toda la ciudad de Cali y los municipios circundantes. Se observa que los niveles de recepción son

óptimos en lugares como el Parque Flora y Loma de la Cruz. Sin embargo, solo se logró alcanzar un nivel aceptable o bueno en el área de Bajo Jordán, lo cual se atribuye a su proximidad con la cordillera Farallones de Cali, una región caracterizada por su topografía boscosa y montañosa. La implementación de este estándar aseguraría una cobertura total de la ciudad de Cali.

### ***Simulación Multitransmisor de Cálculo de Cobertura e Interferencias IBOC***

Se puede apreciar en la figura 43 todos los transmisores en este estudio multitransmisor, se reflejan 3 colores, estos representan o definen la intensidad de la señal que recibe un receptor en un punto determinado del rango de cobertura, dichos rangos fueron establecidos en la configuración inicial, donde:

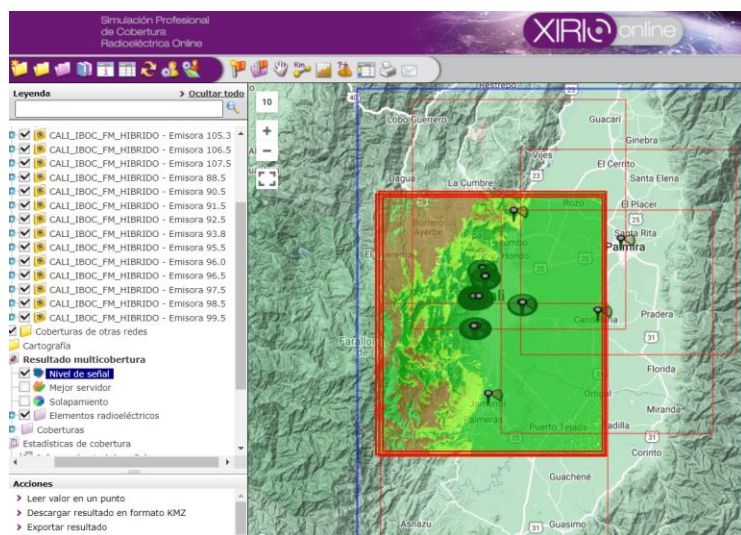
Color verde representa una excelente recepción

Color amarillo indica una señal aceptable de recepción.

Color rojo describe una señal baja.

### **Figura 43**

#### ***Rango de Señal IBOC – FM***



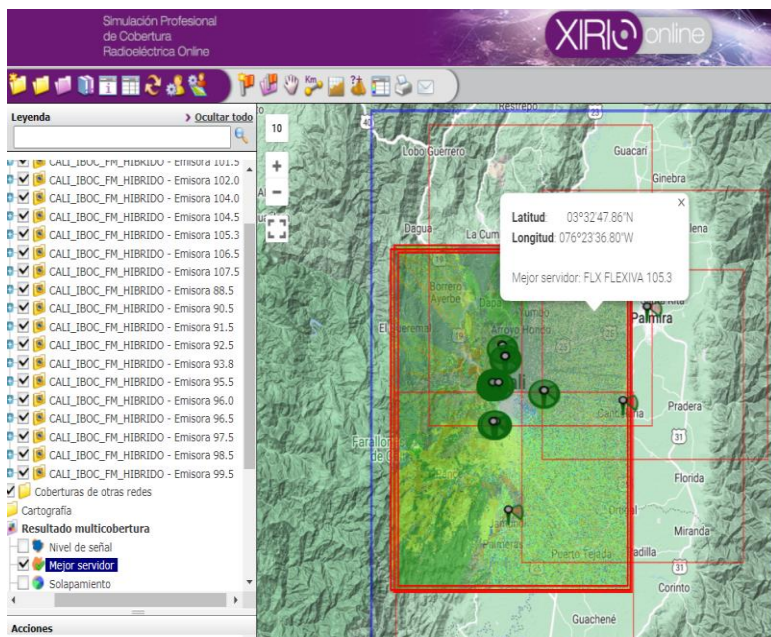
*Fuente.* Adaptado de (Xirio-online, 2024)

En la ciudad de Cali se identifican un total de 18 emisoras en el rango de frecuencia del dial 88.5 hasta 107.5, operando bajo el estándar IBOC en la banda FM. Además, se configuran cuatro emisoras adicionales con parámetros similares para simular posibles interferencias provenientes de emisiones de los corregimientos aledaños, tales como Yumbo, Palmira, Candelaria y Jamundí.

Se establecen los valores de potencia de recepción para todas las emisoras en un punto de referencia común, lo que permite evaluar la cantidad de servidores, identificar el servidor óptimo, así como sus coordenadas y el nivel de recepción asociado. En la Figura 44, se destaca que el servidor FLX 105.3 ofrece la mejor cobertura en dicho punto de referencia.

#### Figura 44

##### *Simulación Estándar IBOC en Cali*



*Fuente.* Adaptado de (Xirio-online, 2024)

**Simulación de Interferencias IBOC.** Los rangos para recepciones de IBOC FM híbrido, se definen a continuación, figura 45.

El color verde indica un nivel de señal RSS excelente, ya que dicho rango oscila entre 80.70 dBu e infinito.

El color amarillo describe una señal RSS que se ubica en un nivel intermedio, que va de 80.70 dBu a 60.70 dBu

Una señal con una calidad baja está comprendida entre 60.70 dBu y 50.70 dBu, siendo 50.70 dBu el umbral.

### Figura 45

#### *Rango de Señal de Interferencias IBOC*

Color	Rango	Descripción
Red	[50.70 , 60.70) dBu	Señal Baja
Yellow	[60.70 , 80.70) dBu	Señal Buena
Green	[80.70 , Infinity) dBu	Señal Excelente

Visualizar ambos

*Fuente.* Adaptado de (Xirio-online, 2024)

La Tabla 9 presenta una lista de 4 emisoras que simulan posibles interferencias de emisiones de los corregimientos aledaños a la ciudad de Cali como son: Yumbo, Palmira, Candelaria y Jamundí.

**Tabla 9**

*Emisoras Poblaciones Aledañas o Posibles Señales Interferentes*

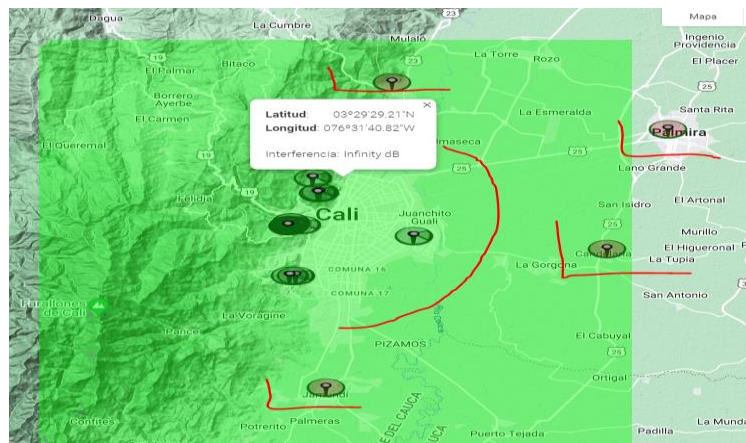
Ubicación	Frecuencia (MHz)	Longitud	Latitud	Emisora
YUMBO	107.0	76° 29' 41,16" W	3° 35' 1,09" N	Yumbo Stereo
PALMIRA	90.8	76° 18' 20,76" W	3° 32' 2,5" N	Urbana Stereo
CANDELARIA	92.1	76° 20' 49,56" W	3° 24' 28,85" N	Radio Buena
JAMUNDI	107.0	76° 32' 24,86" W	3° 15' 42,62" N	Universo Stereo

*Fuente.* El autor

Se toman 22 puntos de referencias en el área de cálculo y cobertura, para capturar los datos de coordenadas y el nivel de interferencias, como se muestra en la figura 46.

**Figura 46**

*Toma de Muestras para Estudio De Interferencias IBOC*



*Fuente.* Adaptado de (Xirio-online, 2024)

La Tabla 10 presenta una lista de 22 puntos de referencia en la ciudad de Cali, junto con sus coordenadas geográficas, nombres respectivos y la potencia de señal de interferencia recibida en dBu.

**Tabla 10***Indicador de Potencia en Puntos de Referencias, Ciudad de Cali IBOC*

<b>Coordenadas</b>	<b>Punto de referencia</b>	<b>Potencia RSSI (dB)</b>
"03°29'05.92"N - 076°31'23.55"W	Parque de la Flora	Infinity dB (Excelente)
"03°28'43.09"N - 076°29'43.09"W	Comuna 5	Infinity dB (Excelente)
"03°28'16.82"N - 076°30'41.12"W	Comuna 4	Infinity dB (Excelente)
"03°26'55.39"N - 076°28'18.99"W	Juanchito Gualí	Infinity dB (Excelente)
"03°26'56.01"N - 076°30'03.43"W	Comuna 8	Infinity dB (Excelente)
"03°26'34.79"N - 076°32'14.23"W	Loma de la Cruz	Infinity dB (Excelente)
"03°25'09.29"N - 076°31'38.59"W	Comuna 10	Infinity dB (Excelente)
"03°24'44.61"N - 076°27'54.89"W	Manuela Beltrán	Infinity dB (Excelente)
"03°23'38.37"N - 076°31'06.87"W	Comuna 16	Infinity dB (Excelente)
"03°22'12.24"N - 076°33'33.60"W	Bajo Jordán	Infinity dB (Excelente)
"03°22'06.45"N - 076°30'59.45"W	Comuna 17	Infinity dB (Excelente)
"03°24'19.70"N - 076°29'40.12"W	Las Gemelas	Infinity dB (Excelente)
"03°23'00.12"N - 076°31'06.87"W	El Caney	Infinity dB (Excelente)
"03°18'54.74"N - 076°32'28.36"W	Casablanca	Infinity dB (Excelente)
"03°27'42.81"N - 076°28'52.69"W	Alfonso López	Infinity dB (Excelente)
"03°27'19.36"N - 076°33'21.20"W	Terron Colorado	Infinity dB (Excelente)
"03°26'52.68"N - 076°30'58.83"W	Santa Lucia	Infinity dB (Excelente)
"03°32'08.50"N - 076°23'14.11"W	Aeropuerto Alfonso B	Infinity dB (Excelente)
"03°32'53.68"N - 076°29'44.29"W	Yumbo	Infinity dB (Excelente)
"03°32'22.26"N - 076°17'52.55"W	Palmira	Infinity dB (Excelente)
"03°13'19.75"N - 076°24'55.25"W	Puerto Tejada	Infinity dB (Excelente)
"03°15'55.23"N - 076°32'35.02"W	Jamundí	Infinity dB (Excelente)
<b>Promedio Cobertura IBOC</b>		<b>dBW (Excelente)</b>

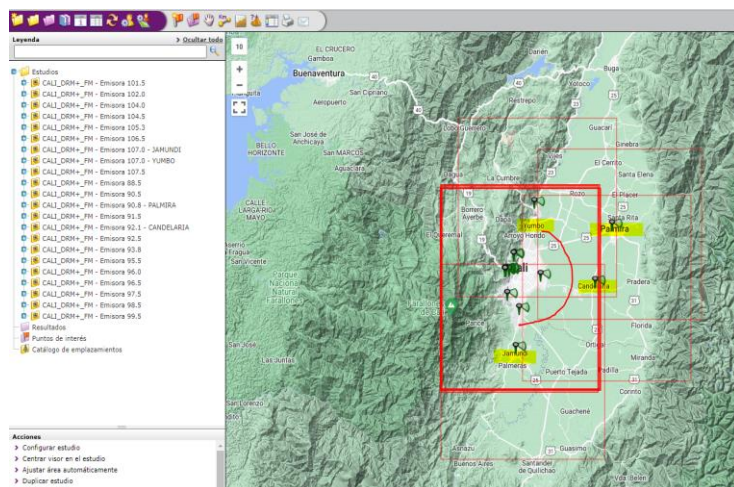
*Fuente.* El autor

## Simulación del Estándar DRM+

En la figura 47 se describe la simulación utilizando el estándar de radiodifusión digital DRM previamente configurado para la ciudad de Cali. Se seleccionó los parámetros de transmisión, recepción, zona de cobertura y rangos de señal.

**Figura 47**

*Simulación Estándar DRM+ en Cali*



*Fuente.* Adaptado de (Xirio-online, 2024)

Se observan 18 emisoras en la ciudad de Cali, desde el dial 88.5 hasta 107.5 en la banda FM. También se configuran 4 emisoras adicionales con los mismos parámetros, para simular posibles interferencias de emisiones de los corregimientos aledaños a la ciudad de Cali como son: Yumbo, Palmira, Candelaria y Jamundí, estas últimas sombreadas en amarillo.

Se puede apreciar en la figura 48, que se reflejan 3 colores de 4 posibles, estos representan o definen la intensidad de la señal que recibe un receptor en un punto determinado del rango de cobertura, dichos rangos fueron establecidos en la configuración inicial, donde:

Color verde representa una excelente recepción, que va de -70 dBW hasta infinito.

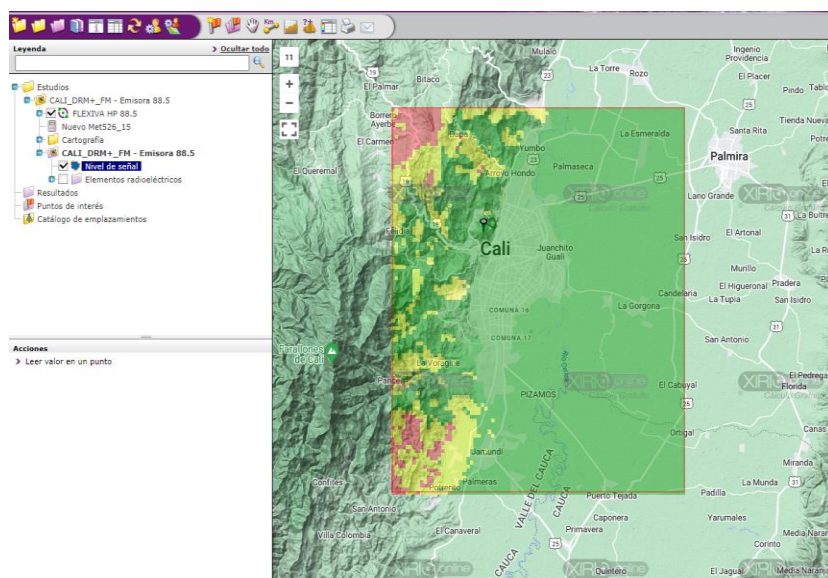
Color amarillo indica una señal aceptable de recepción que va de -70 dBW hasta -90 dBW.

Color rojo describe una señal baja que va desde -90 dBW (umbral) hasta -110 dBW.

Color negro indica la carencia de señal, al situarse por debajo del umbral establecido. -110 dBW a -120 dBW.

## Figura 48

### *Rango de Señal DRM+ FM*

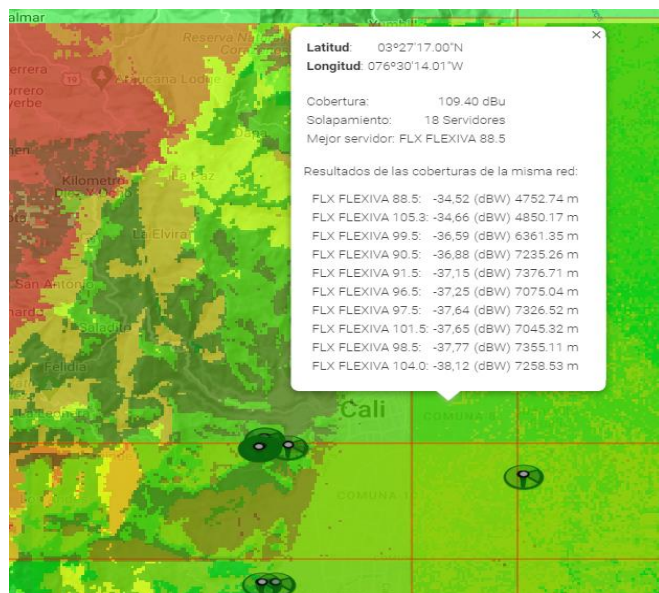


*Fuente.* Adaptado de (Xirio-online, 2024)

Se toman puntos de referencias en el área de cálculo y cobertura, para capturar los datos de coordenadas y el nivel de recepción en potencia, como se muestra en la figura 49.

## Figura 49

### Toma de Muestras y Datos de Cobertura DRM+



Fuente. Adaptado de (Xirio-online, 2024)

La Tabla 11 presenta una lista de 22 puntos de referencia en la ciudad de Cali, junto con sus coordenadas geográficas, nombres respectivos y la potencia de señal recibida en dBW DRM+.

**Tabla 11***Indicador de Potencia en Puntos de Referencias, Ciudad de Cali DRM+*

<b>Coordenadas</b>	<b>Punto de referencia</b>	<b>Potencia RSSI (dBW)</b>
"03°29'05.92"N - 076°31'23.55"W	Parque de la Flora	-32.42 dBW (Excelente)
"03°28'43.09"N - 076°29'43.09"W	Comuna 5	-37.24 dBW (Excelente)
"03°28'16.82"N - 076°30'41.12"W	Comuna 4	-34.25 dBW (Excelente)
"03°26'55.39"N - 076°28'18.99"W	Juanchito Gualí	-41.01 dBW (Excelente)
"03°26'56.01"N - 076°30'03.43"W	Comuna 8	-37.07 dBW (Excelente)
"03°26'34.79"N - 076°32'14.23"W	Loma de la Cruz	-31.40 dBW (Excelente)
"03°25'09.29"N - 076°31'38.59"W	Comuna 10	-37.16 dBW (Excelente)
"03°24'44.61"N - 076°27'54.89"W	Manuela Beltrán	-42.86 dBW (Excelente)
"03°23'38.37"N - 076°31'06.87"W	Comuna 16	-40.89 dBW (Excelente)
"03°22'12.24"N - 076°33'33.60"W	Bajo Jordán	-67.50 dBW (Excelente)
"03°22'06.45"N - 076°30'59.45"W	Comuna 17	-43.70 dBW (Excelente)
"03°24'19.70"N - 076°29'40.12"W	Las Gemelas	-45.40 dBW (Excelente)
"03°23'00.12"N - 076°31'06.87"W	El Caney	-45.46 dBW (Excelente)
"03°18'54.74"N - 076°32'28.36"W	Casablanca	-59.11 dBW (Excelente)
"03°27'42.81"N - 076°28'52.69"W	Alfonso López	-44.53 dBW (Excelente)
"03°27'19.36"N - 076°33'21.20"W	Terron Colorado	-40.45 dBW (Excelente)
"03°26'52.68"N - 076°30'58.83"W	Santa Lucia	-34.28 dBW (Excelente)
"03°32'08.50"N - 076°23'14.11"W	Aeropuerto Alfonso B	-60.42 dBW (Excelente)
"03°32'53.68"N - 076°29'44.29"W	Yumbo	-47.69 dBW (Excelente)
"03°32'22.26"N - 076°17'52.55"W	Palmira	-60.19 dBW (Excelente)
"03°13'19.75"N - 076°24'55.25"W	Puerto Tejada	-60.68 dBW (Excelente)
"03°15'55.23"N - 076°32'35.02"W	Jamundí	-70.04 dBW (Excelente)
<b>Promedio Cobertura IBOC</b>		-46.40 dBW (Excelente)

*Fuente. Autor*

La tabla anterior describe el posible escenario de transmisión de radiodifusión digital del estándar DRM+ en la banda FM. Se observa un excelente cubrimiento prácticamente en toda la ciudad de Cali y municipios aledaños, vemos como en parque Flora y Loma de la Cruz se tienen

los mejores niveles de recepción. Todos los valores se encuentran en el rango de señal Excelente. Jamundí obtuvo el nivel más alto de potencia de señal recibida con  $-70.04$  dBW debido a su ubicación, este es un corregimiento en las afueras de la ciudad de Cali. Con este estándar se garantizaría cobertura total de la ciudad de Cali.

### ***Simulación Multitransmisor de Cálculo de Cobertura e Interferencias DRM+***

Se puede apreciar en la figura 50 todos los transmisores en este estudio multitransmisor, se reflejan 3 colores, estos representan o definen la intensidad de la señal que recibe un receptor en un punto determinado del rango de cobertura, dichos rangos fueron establecidos en la configuración inicial, donde:

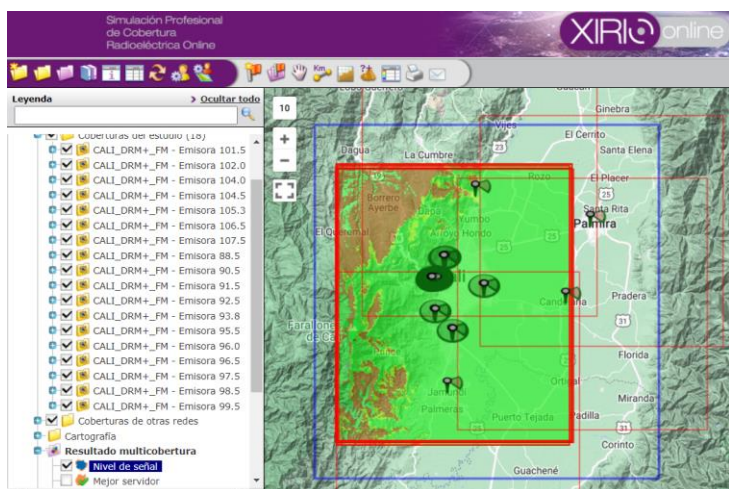
Color verde representa una excelente recepción

Color amarillo indica una señal aceptable de recepción.

Color rojo describe una señal baja.

### **Figura 50**

#### ***Rango de Señal DRM+ FM***



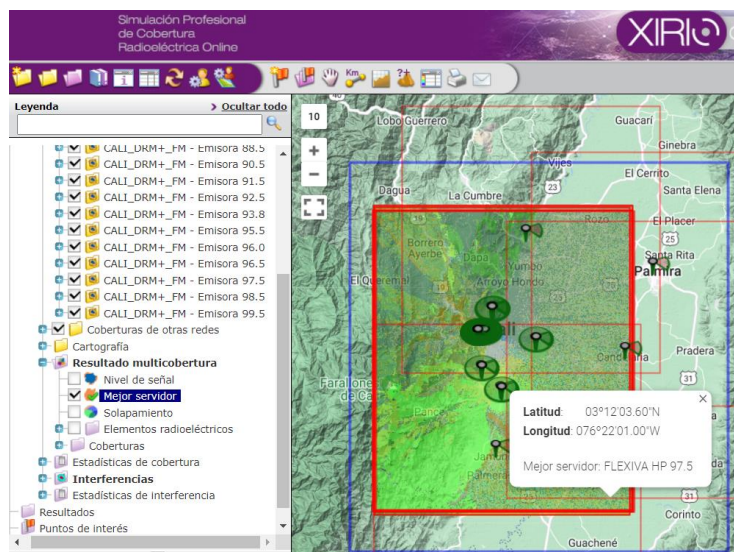
*Fuente.* Adaptado de (Xirio-online, 2024)

Se observan 18 emisoras en la ciudad de Cali, desde el dial 88.5 hasta 107.5 IBOC en la banda FM. También se configuran 4 emisoras adicionales con los mismos parámetros, para simular posibles interferencias de emisiones de los corregimientos aledaños a la ciudad de Cali como son: Yumbo, Palmira, Candelaria y Jamundí.

Se definen los valores de recepción en potencia de todas las emisoras en un mismo punto de referencia y refleja la cantidad de servidores, cual es el mejor servidor, las coordenadas y el nivel de recepción. En la figura 51 el servidor Flexiva HP 97.5 tiene la mejor cobertura en ese punto de referencia.

### Figura 51

#### *Simulación Estándar DRM+ en Cali*



*Fuente.* Adaptado de (Xirio-online, 2024)

**Simulación de Interferencias DRM+.** Los rangos para recepciones de DRM+ en banda FM, se definen a continuación, figura 52.

El color verde indica un nivel de señal RSS excelente, ya que dicho rango oscila entre 66.00 dBu e infinito.

El color amarillo describe una señal RSS que se ubica en un nivel intermedio, que va de 66.00 dBu a 60.92 dBu

Una señal con una calidad baja está comprendida entre 60.92 dBu y 50.92 dBu, siendo 50.70 dBu el umbral.

## Figura 52

### Rango de Señal de Interferencias DRM+

Color	Rango	Descripción
Red	[50.92 , 60.92) dBu	Señal Baja
Yellow	[60.92 , 66.00) dBu	Señal Aceptable
Green	[66.00 , Infinity) dBu	Señal Excelente

Fuente. Adaptado de (Xirio-online, 2024)

La Tabla 12 presenta una lista de 4 emisoras que simulan posibles interferencias de emisiones de los corregimientos aledaños a la ciudad de Cali como son: Yumbo, Palmira, Candelaria y Jamundí.

## Tabla 12

### Emisoras Poblaciones Aledañas o Posibles Señales Interferentes

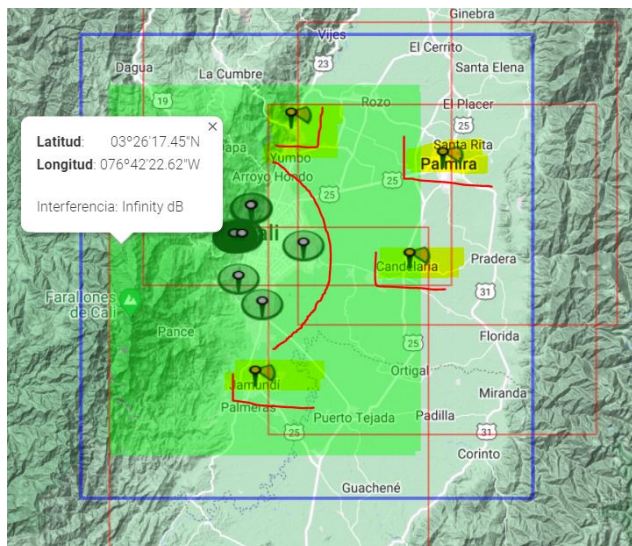
Ubicación	Frecuencia (MHz)	Longitud	Latitud	Emisora
YUMBO	107.0	76° 29' 41,16" W	3° 35' 1,09" N	Yumbo Stereo
PALMIRA	90.8	76° 18' 20,76" W	3° 32' 2,5" N	Urbana Stereo
CANDELARIA	92.1	76° 20' 49,56" W	3° 24' 28,85" N	Radio Buena
JAMUNDI	107.0	76° 32' 24,86" W	3° 15' 42,62" N	Universo Stereo

Fuente. Autor

Se toman 22 puntos de referencias en el área de cálculo y cobertura, para capturar los datos de coordenadas y el nivel de interferencias, como se muestra en la figura 53.

### Figura 53

#### *Toma de Muestras para Estudio de Interferencias DRM+*



*Fuente.* Adaptado de (Xirio-online, 2024)

La Tabla 13 presenta una lista de 22 puntos de referencia en la ciudad de Cali, junto con sus coordenadas geográficas, nombres respectivos y la potencia de señal de interferencia recibida en dB.

**Tabla 13***Indicador de Potencia en Puntos de Referencias, Ciudad de Cali IBOC*

<b>Coordenadas</b>	<b>Punto de referencia</b>	<b>Potencia RSSI (dB)</b>
"03°29'05.92"N - 076°31'23.55"W	Parque de la Flora	Infinity dB (Excelente)
"03°28'43.09"N - 076°29'43.09"W	Comuna 5	Infinity dB (Excelente)
"03°28'16.82"N - 076°30'41.12"W	Comuna 4	Infinity dB (Excelente)
"03°26'55.39"N - 076°28'18.99"W	Juanchito Gualí	Infinity dB (Excelente)
"03°26'56.01"N - 076°30'03.43"W	Comuna 8	Infinity dB (Excelente)
"03°26'34.79"N - 076°32'14.23"W	Loma de la Cruz	Infinity dB (Excelente)
"03°25'09.29"N - 076°31'38.59"W	Comuna 10	Infinity dB (Excelente)
"03°24'44.61"N - 076°27'54.89"W	Manuela Beltrán	Infinity dB (Excelente)
"03°23'38.37"N - 076°31'06.87"W	Comuna 16	Infinity dB (Excelente)
"03°22'12.24"N - 076°33'33.60"W	Bajo Jordán	Infinity dB (Excelente)
"03°22'06.45"N - 076°30'59.45"W	Comuna 17	Infinity dB (Excelente)
"03°24'19.70"N - 076°29'40.12"W	Las Gemelas	Infinity dB (Excelente)
"03°23'00.12"N - 076°31'06.87"W	El Caney	Infinity dB (Excelente)
"03°18'54.74"N - 076°32'28.36"W	Casablanca	Infinity dB (Excelente)
"03°27'42.81"N - 076°28'52.69"W	Alfonso López	Infinity dB (Excelente)
"03°27'19.36"N - 076°33'21.20"W	Terron Colorado	Infinity dB (Excelente)
"03°26'52.68"N - 076°30'58.83"W	Santa Lucia	Infinity dB (Excelente)
"03°32'08.50"N - 076°23'14.11"W	Aeropuerto Alfonso B	Infinity dB (Excelente)
"03°32'53.68"N - 076°29'44.29"W	Yumbo	Infinity dB (Excelente)
"03°32'22.26"N - 076°17'52.55"W	Palmira	Infinity dB (Excelente)
"03°13'19.75"N - 076°24'55.25"W	Puerto Tejada	Infinity dB (Excelente)
"03°15'55.23"N - 076°32'35.02"W	Jamundí	Infinity dB (Excelente)
<b>Promedio Cobertura IBOC</b>		<b>dBW (Excelente)</b>

*Fuente. Autor*

### **Análisis Comparativo de las Simulaciones Realizadas**

En este capítulo se analizan los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas de los dos estándares de radiodifusión sonora digital IBOC y DRM en la ciudad de Cali.

#### **Análisis de Cobertura de Señal Recibida IBOC vs DRM+**

Este proyecto se diseñó teniendo en cuenta las condiciones actuales de las emisoras de la ciudad de Cali, exponiéndolas a posibles interferencias y condiciones geográficas reales. Los resultados obtenidos de las simulaciones, en el estudio de coberturas, multi coberturas e interferencias de los estándares de radiodifusión sonora digital IBOC y DRM.

La tabla 14 representa los valores obtenidos de la simulación de los 2 estándares, aplicados en distintos puntos de referencia de la ciudad de Cali. La primera columna indica las coordenadas de cada punto en estudio, la segunda el nombre o localidad de ese punto de referencia y las 2 últimas columnas indican el nivel de señal recibida por el receptor en dBW de los 2 estándares, indicando así el análisis comparativo del estudio de cobertura.

**Tabla 14***Estudio Comparativo de Cobertura de Estándares IBOC vs DRM*

Coordenadas	Puntos de Referencias	IBOC dBW	DRM dBW
"03°29'05.92"N - 076°31'23.55"W	Parque de la Flora	30.74	32.42
"03°28'43.09"N - 076°29'43.09"W	Comuna 5	44.66	37.24
"03°28'16.82"N - 076°30'41.12"W	Comuna 4	32.33	34.25
"03°26'55.39"N - 076°28'18.99"W	Juanchito Gualí	47.19	41.01
"03°26'56.01"N - 076°30'03.43"W	Comuna 8	35.42	37.07
"03°26'34.79"N - 076°32'14.23"W	Loma de la Cruz	29.91	31.40
"03°25'09.29"N - 076°31'38.59"W	Comuna 10	36.07	37.16
"03°24'44.61"N - 076°27'54.89"W	Manuela Beltrán	47.15	42.86
"03°23'38.37"N - 076°31'06.87"W	Comuna 16	45.77	40.89
"03°22'12.24"N - 076°33'33.60"W	Bajo Jordán	72.01	67.50
"03°22'06.45"N - 076°30'59.45"W	Comuna 17	44.85	43.70
"03°24'19.70"N - 076°29'40.12"W	Las Gemelas	39.87	45.4
"03°23'00.12"N - 076°31'06.87"W	El Caney	43.87	45.46
"03°18'54.74"N - 076°32'28.36"W	Casablanca	58.52	59.11
"03°27'42.81"N - 076°28'52.69"W	Alfonso López	37.99	44.53
"03°27'19.36"N - 076°33'21.20"W	Terron Colorado	36.73	40.45
"03°26'52.68"N - 076°30'58.83"W	Santa Lucia	32.62	34.28
"03°32'08.50"N - 076°23'14.11"W	Aeropuerto Alfonso B	48.17	60.42
"03°32'53.68"N - 076°29'44.29"W	Yumbo	51.87	47.69
"03°32'22.26"N - 076°17'52.55"W	Palmira	54.94	60.19
"03°13'19.75"N - 076°24'55.25"W	Puerto Tejada	60.80	60.68
"03°15'55.23"N - 076°32'35.02"W	Jamundí	69.85	70.04
<b>PROMEDIO COBERTURA</b>		<b>45.52</b>	<b>46.080</b>

*Fuente. Autor*

La tabla anterior describe el posible escenario de recepción del sistema de radiodifusión digital de los estándares IBOC y DRM+ en la banda FM. Se observa un excelente cubrimiento prácticamente en toda la ciudad de Cali y municipios aledaños, vemos como en parque Flora y Loma de la Cruz se tienen los mejores niveles de recepción. Todos los valores se encuentran en

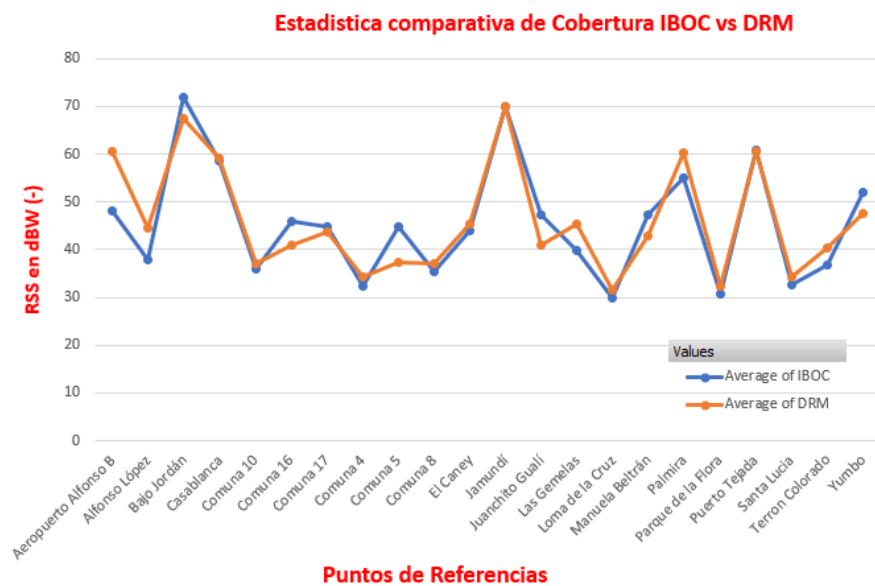
el rango de señal Excelente. Jamundí obtuvo el nivel más bajo de potencia de señal recibida con -70.04 y -69.85 dBW según estándar debido a su ubicación, este es un corregimiento en las afueras de la ciudad de Cali.

Según el promedio de cobertura obtenido, podemos inferir que con muy poco margen de diferencia el sistema IBOC obtuvo la mejor media -45.52 dB, pero con los 2 estándares se garantizaría cobertura total de la ciudad de Cali y con un nivel de señal excelente en toda el área en estudio.

En la figura 54 se puede apreciar más claramente los resultados de esta comparativa y la similitud estadística del nivel de cobertura de los estándares IBC y DRM+.

### Figura 54

#### Comparativa Estadística de Cobertura de Estándares IBOC vs DRM



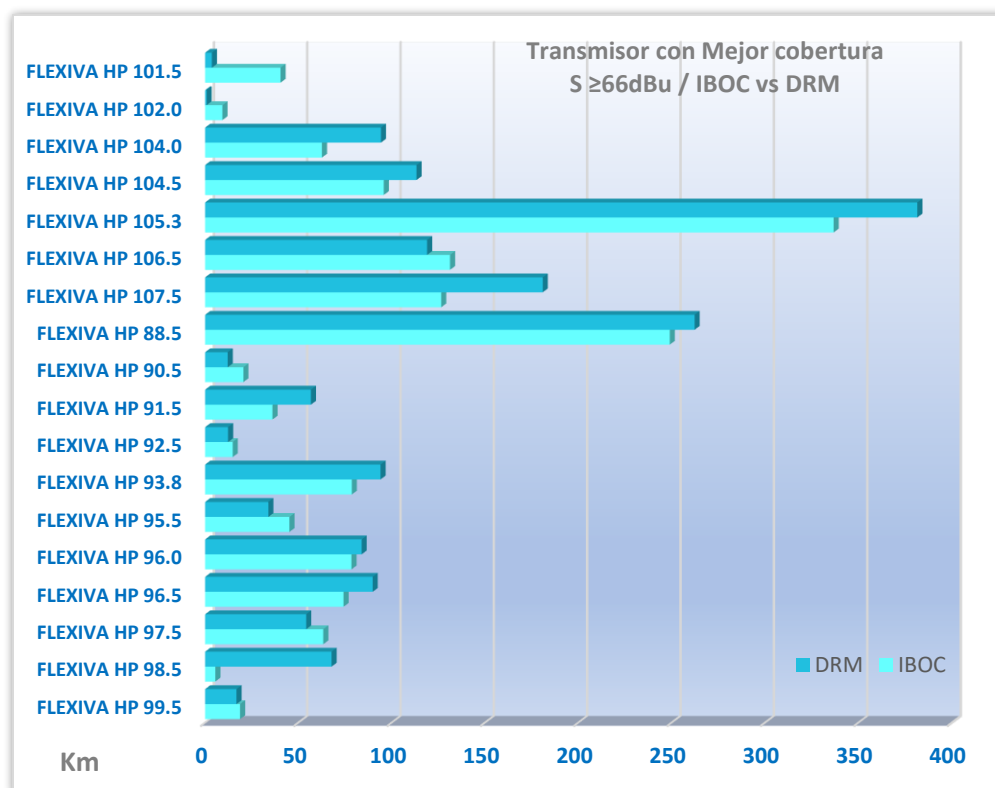
Fuente. Autor

### *Análisis de Cobertura Mejor Servidor de Señal Transmitida IBOC vs DRM+*

La figura 55 brinda resultados de análisis comparativo a nivel de transmisores de los dos estándares IBOC vs DRM+. Se observa como los transmisores Flexiva del dial 105.3 en los dos sistemas, tienen mayor alcance de cobertura y mejor rendimiento que el resto, esto se debe a que presenta la mejor ubicación estratégica en la ciudad de Cali; por ende, menos obstáculos para que la señal llegue a mayor distancia, como es el caso de 380 km DRM y 336 Km el estándar IBOC, con niveles de RSSI mayor o igual a -66 dBu.

**Figura 55**

*Transmisor Mejor Cobertura*



*Fuente. Autor*

**Análisis de Interferencias de Señal Recibida IBOC vs DRM+**

La tabla 15 representa los valores obtenidos de la simulación de los 2 estándares, aplicados en distintos puntos de referencia de la ciudad de Cali. La primera columna indica las coordenadas de cada punto en estudio, la segunda el nombre o localidad de ese punto de referencia las 2 ultimas columnas indican el nivel de señal recibida por el receptor en dB de los 2 estándares respecto a posibles señales interferentes, indicando así el análisis comparativo del estudio de la calidad de la señal recibida por los receptores.

**Tabla 15***Estudio Comparativo de Interferencia de Estándares IBOC vs DRM*

Coordenadas	Punto de referencia	IBOC RSSI (dB)	DRM+ RSSI (dB)
“03°29’05.92”N – 076°31’23.55”W	Parque de la Flora	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
“03°28’43.09”N – 076°29’43.09”W	Comuna 5	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
“03°28’16.82”N – 076°30’41.12”W	Comuna 4	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
“03°26’55.39”N – 076°28’18.99”W	Juanchito Gualí	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
“03°26’56.01”N – 076°30’03.43”W	Comuna 8	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
“03°26’34.79”N – 076°32’14.23”W	Loma de la Cruz	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
“03°25’09.29”N – 076°31’38.59”W	Comuna 10	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
“03°24’44.61”N – 076°27’54.89”W	Manuela Beltrán	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
“03°23’38.37”N – 076°31’06.87”W	Comuna 16	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
“03°22’12.24”N – 076°33’33.60”W	Bajo Jordán	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
“03°22’06.45”N – 076°30’59.45”W	Comuna 17	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
“03°24’19.70”N – 076°29’40.12”W	Las Gemelas	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
“03°23’00.12”N – 076°31’06.87”W	El Caney	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
“03°18’54.74”N – 076°32’28.36”W	Casablanca	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
“03°27’42.81”N – 076°28’52.69”W	Alfonso López	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)

Coordenadas	Punto de referencia	IBOC RSSI (dB)	DRM+ RSSI (dB)
“03°27’19.36”N – 076°33’21.20”W	Terron Colorado	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
“03°26’52.68”N – 076°30’58.83”W	Santa Lucia	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
“03°32’08.50”N – 076°23’14.11”W	Aeropuerto Alfonso B	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
“03°32’53.68”N – 076°29’44.29”W	Yumbo	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
“03°32’22.26”N – 076°17’52.55”W	Palmira	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
“03°13’19.75”N – 076°24’55.25”W	Puerto Tejada	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
“03°15’55.23”N – 076°32’35.02”W	Jamundí	Infinity dB (Excelente)	Infinity dB (Excelente)
<b>Promedio Interferencia</b>		<b>dBW (Excelente)</b>	<b>dBW (Excelente)</b>

*Fuente.* Autor

La tabla anterior describe el posible escenario de recepción del sistema de radiodifusión digital de los estándares IBOC y DRM+ en la banda FM. Se observa un excelente rendimiento de funcionamiento y recepción de la calidad de la señal respecto a señales interferentes.

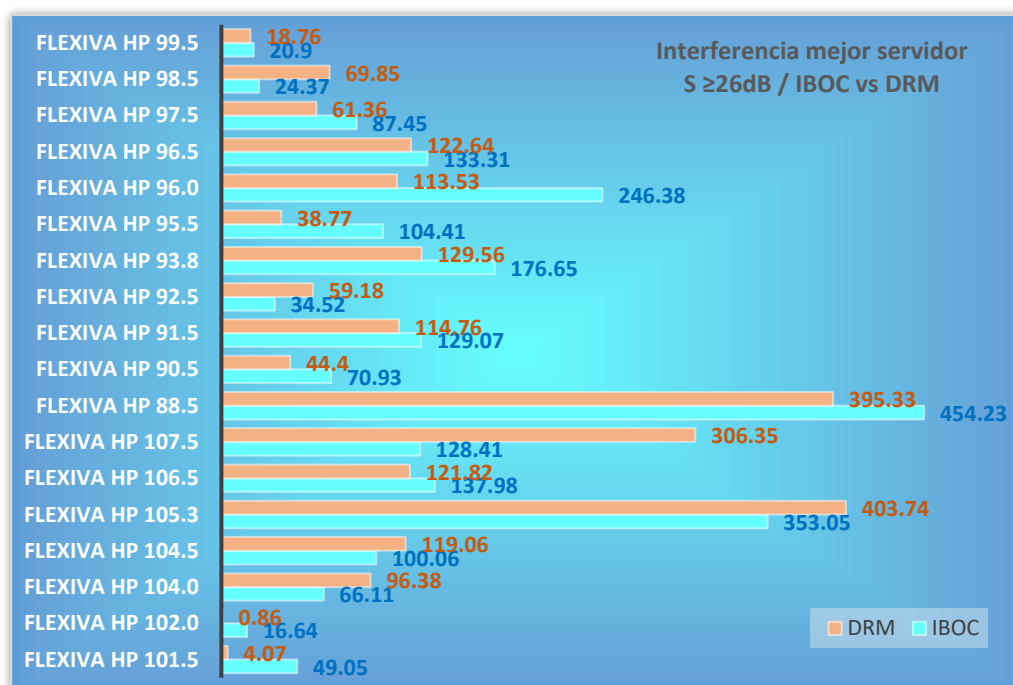
Cubrimiento prácticamente toda la ciudad de Cali y municipios aledaños, vemos como en todo el espacio de cobertura estudiado presenta un nivel de señal excelente mayor o igual a -66 dBu, en este caso a valores tendientes a infinito. Todos los valores se encuentran en el rango de señal Excelente. Según el estudio de interferencia obtenido, se puede inferir que ambos estándares presentan gran rendimiento de funcionamiento e interferencia nula en la ciudad de Cali y con un nivel de señal excelente en toda el área en estudio.

### *Análisis de Interferencia Mejor Servidor de Señal Transmitida IBOC vs DRM+*

La figura 56 brinda resultados de análisis comparativo de transmisores de los dos estándares IBOC vs DRM+. Se observa como los transmisores Flexiva del dial 88.5 en los dos sistemas, tienen mayor alcance de cobertura y mejor rendimiento respecto a señales interferentes que el resto, esto se debe a que presenta la mejor ubicación estratégica en la ciudad de Cali; por ende, menos obstáculos para que la señal llegue a mayor distancia con muy buena relación señal a ruido, como es el caso a de 454 km IBOC y 400 Km el estándar DRM+, con niveles de RSSI mayor o igual a -26 dBu.

#### **Figura 56**

#### *Interferencia Mejor Servidor*



*Fuente. Autor*

## **Análisis Estadístico de Estudio Comparativo de Estándares IBOC vs DRM+**

Para realizar el análisis estadístico, se debe tener en cuenta las siguientes definiciones y formulaciones en estudio.

### ***Varianza***

La varianza es una medida de dispersión que representa la variabilidad de una serie de datos con respecto a su media. Formalmente, se calcula como la suma de los cuadrados de los residuos dividida por las observaciones totales.

También puede calcularse como la desviación estándar al cuadrado. Por cierto, entendemos el residuo como la diferencia entre el valor de una variable a la vez y el valor medio de toda la variable.

### ***Desviación Estándar***

La desviación estándar es una medida de extensión o variabilidad en la estadística descriptiva. Se utiliza para calcular la variación o dispersión en la que los puntos de datos individuales difieren de la media. Una desviación baja indica que los puntos de datos están muy cerca de la media, mientras que una desviación alta muestra que los datos están dispersos en un rango mayor de valores. (QuestionPro. Investigación de mercado, Cristina Ortega, 2024).

### ***Análisis Estadístico IBOC***

A continuación, se muestran la tabla 16 del estándar IBOC con datos del promedio, límite máximo y mínimo de la potencia recibida para usarlo con fines estadísticos.

**Tabla 16***Datos Estadísticos Estándar IBOC*

<b>IBOC</b>					
<b>Punto de referencia</b>	<b>Potencia RSSI (dBW)</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desv. Estándar</b>	<b>Limite Max</b>	<b>Limite Min</b>
Parque de la Flora	30.74	45.52	11.68	42.42	19.06
Comuna 5	44.66	45.52	11.68	56.34	32.98
Comuna 4	32.33	45.52	11.68	44.01	20.65
Juanchito Gualí	47.19	45.52	11.68	58.87	35.51
Comuna 8	35.42	45.52	11.68	47.10	23.74
Loma de la Cruz	29.91	45.52	11.68	41.59	18.23
Comuna 10	36.07	45.52	11.68	47.75	24.39
Manuela Beltrán	47.15	45.52	11.68	58.83	35.47
Comuna 16	45.77	45.52	11.68	57.45	34.09
Bajo Jordán	72.01	45.52	11.68	83.69	60.33
Comuna 17	44.85	45.52	11.68	56.53	33.17
Las Gemelas	39.87	45.52	11.68	51.55	28.19
El Caney	43.87	45.52	11.68	55.55	32.19
Casablanca	58.52	45.52	11.68	70.20	46.84
Alfonso López	37.99	45.52	11.68	49.67	26.31
Terron Colorado	36.73	45.52	11.68	48.41	25.05
Santa Lucia	32.62	45.52	11.68	44.30	20.94
Aeropuerto Alfonso B	48.17	45.52	11.68	59.85	36.49
Yumbo	51.87	45.52	11.68	63.55	40.19
Palmira	54.94	45.52	11.68	66.62	43.26
Puerto Tejada	60.80	45.52	11.68	72.48	49.12
Jamundí	69.85	45.52	11.68	81.53	58.17
<b>Lim Max. y Min.</b>				<b>57.20</b>	<b>33.83</b>

*Fuente. Autor*

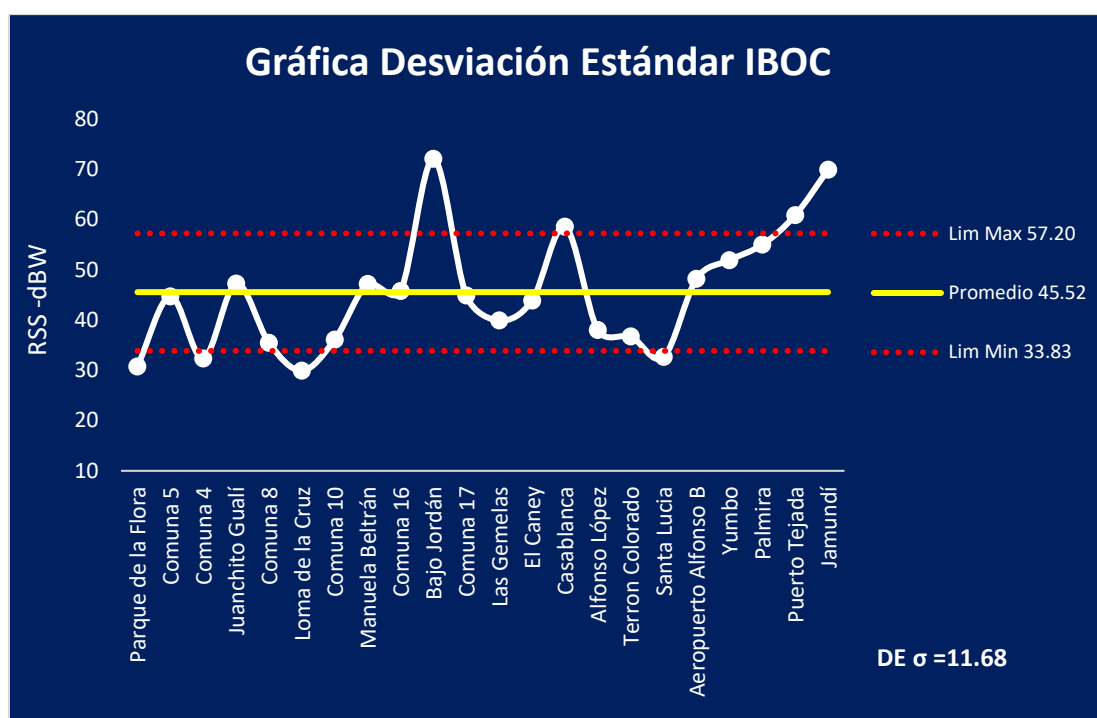
La tabla 16 muestra que el promedio de la potencia de señal recibida del estándar IBOC en el rango de cobertura estudiado es de -45.52 dBW, con este valor se logra establecer la

desviación estándar que básicamente resulta de aplicar su fórmula y da como resultado 11.68 en este estándar.

La gráfica 57 refleja gráficamente el límite máximo dBW de -57.20 y mínimo de -33.83, se obtuvo un promedio de señal recibida de -45.52 en el estándar IBOC. Junto con estos datos la desviación estándar es de 11.68 en el estándar IBOC.

### Figura 57

*Desviación Estándar del Estudio al Estándar IBOC*



*Fuente. Autor*

Esta desviación estándar de 11.68 dBW, indica que existe mucha variabilidad en la potencia de la señal alrededor del promedio -42.52 dBW, lo que podría afectar la calidad del servicio recibido. Esto sugiere que las mediciones de potencia de señal varían significativamente de la media. Con mediciones que se encuentran distantes de hasta 11.68.

Con esto se podría decir que hay problemas en la estabilidad de la señal en el rango de cobertura estudiado. El estándar IBOC en esta área tiene una cobertura desigual o que existen condiciones que afectan la consistencia de la señal.

Podría deberse a interferencias, problemas técnicos en la transmisión o recepción y/o variaciones en el entorno. Según el estudio de interferencias esta no sería la causa. Pero si muy posiblemente la infraestructura y la ubicación de las estaciones y transmisores, puesto que esta zona en específico es un área montañosa, irregular y con muchos obstáculos.

Si el objetivo es tener una señal más estable en todo el territorio, una desviación estándar menor sería deseable. Por lo que se sugiere investigar más a fondo las causas de esta variabilidad para mejorar la estabilidad de la señal en la ciudad de Cali en caso de ser escogido este estándar.

#### ***Análisis Estadístico DRM+***

A continuación, se muestran la tabla 17 del estándar DRM+ con datos del promedio, límite máximo y mínimo de la potencia recibida para usarlo con fines estadísticos.

**Tabla 17***Datos Estadísticos Estándar DRM+*

<b>DRM</b>					
<b>Punto de referencia</b>	<b>Potencia RSSI (dBW)</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desv. Estándar</b>	<b>Limite Max</b>	<b>Limite Min</b>
Parque de la Flora	32.42	46.08	11.38	43.80	21.04
Comuna 5	37.24	46.08	11.38	48.62	25.86
Comuna 4	34.25	46.08	11.38	45.63	22.87
Juanchito Gualí	41.01	46.08	11.38	52.39	29.63
Comuna 8	37.07	46.08	11.38	48.45	25.69
Loma de la Cruz	31.40	46.08	11.38	42.78	20.02
Comuna 10	37.16	46.08	11.38	48.54	25.78
Manuela Beltrán	42.86	46.08	11.38	54.24	31.48
Comuna 16	40.89	46.08	11.38	52.27	29.51
Bajo Jordán	67.50	46.08	11.38	78.88	56.12
Comuna 17	43.70	46.08	11.38	55.08	32.32
Las Gemelas	45.4	46.08	11.38	56.78	34.02
El Caney	45.46	46.08	11.38	56.84	34.08
Casablanca	59.11	46.08	11.38	70.49	47.73
Alfonso López	44.53	46.08	11.38	55.91	33.15
Terron Colorado	40.45	46.08	11.38	51.83	29.07
Santa Lucia	34.28	46.08	11.38	45.66	22.90
Aeropuerto Alfonso B	60.42	46.08	11.38	71.80	49.04
Yumbo	47.69	46.08	11.38	59.07	36.31
Palmira	60.19	46.08	11.38	71.57	48.81
Puerto Tejada	60.68	46.08	11.38	72.06	49.30
Jamundí	70.04	46.08	11.38	81.42	58.66
<b>Lim Max. y Min.</b>				<b>57.46</b>	<b>34.70</b>

*Fuente. Autor*

La tabla 17 muestra que el promedio de la potencia de señal recibida del estándar DRM+ en el rango de cobertura estudiado es de -46.08 dBW, con este valor se logra establecer la

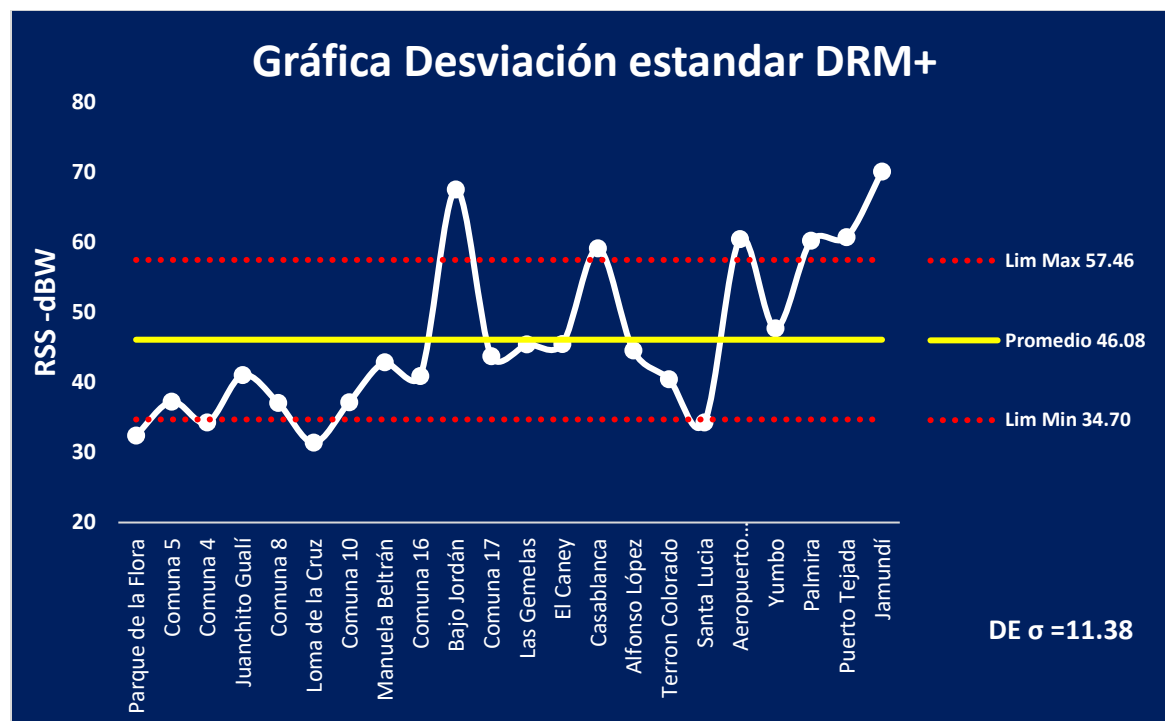
desviación estándar que básicamente resulta de aplicar su fórmula y da como resultado 11.38 en este estándar.

La imagen 58 refleja gráficamente el límite máximo dBW de -57.46 y mínimo de -35.74, se obtuvo un promedio de señal recibida de -46.08 en el estándar DRM+. Junto con estos datos la desviación estándar es de 11.68 en el estándar DRM+.

Se obtienen tienen los datos de varianza, mayor o menor desviación de la señal recibida, respecto al transmisor y de este se desprende la desviación estándar, que es la medida de dispersión. Este valor ideal es el más cercano a cero.

### Figura 58

*Desviación Estándar del Estudio al Estándar IBOC*



Fuente. Autor

Esta desviación estándar de 11.38 dBW, indica que existe mucha variabilidad en la potencia de la señal alrededor del promedio -46.08 dBW, lo que podría afectar la calidad del servicio recibido. Esto sugiere que las mediciones de potencia de señal varían significativamente de la media. Con mediciones que se encuentran distantes de hasta 11.38.

Con esto se podría decir que hay problemas en la estabilidad de la señal en el rango de cobertura estudiado. El estándar DRM+ en esta área tiene una cobertura desigual o que existen condiciones que afectan la consistencia de la señal.

Podría deberse a interferencias, problemas técnicos en la transmisión o recepción y/o variaciones en el entorno. Según el estudio de interferencias esta no sería la causa. Pero si muy posiblemente a la infraestructura, la ubicación de las estaciones y transmisores, puesto que esta zona en específico es un área montañosa, irregular y con muchos obstáculos.

La desviación estándar en DRM+ es ligeramente menor que IBOC, pero sigue siendo significativamente alta. Si el objetivo es tener una señal más estable en todo el territorio, una desviación estándar menor sería recomendable. Por lo que se sugiere investigar más a fondo las causas de esta variabilidad para mejorar la estabilidad de la señal en la ciudad de Cali en caso de ser escogido este estándar.

### **Comparativa de Datos Estadística Estándares IBOC vs DRM+**

Teniendo en cuenta los datos de las tablas 16 y 17 se obtuvieron los siguientes resultados detallados en la tabla 18.

**Tabla 18***Tabla Comparativa de Resultados de Funcionamiento IBOC vs DRM*

<b>Factores</b>	<b>IBOC</b>	<b>DRM+</b>
<b>Modo de operación</b>	Hibrido Fm	Hibrido Fm
<b>Cobertura, mejor servidor</b>	336 km – 66dBu	380 km – 66dBu
<b>Interferencia <math>S \geq -66</math>dBu</b>	Infinity	Infinity
<b>Interferencia, mejor servidor <math>S \geq -26</math>dBu</b>	454 km	400 km
<b>Potencia promedio recepción</b>	-45.52 dBW	-46.08 dBW
<b>Varianza</b>	136.43	129.41
<b>Desviación estándar</b>	11.68	11.38

*Fuente. Autor*

En esta comparativa de datos estadísticos se observa un desempeño muy parejo de los 2 estándares. Teniendo en cuenta tanto IBOC como DRM+ trabajan en modo de operación FM híbrido, se puede deducir lo siguiente:

La cobertura de mejor servidor DRM+ obtuvo un mayor alcance según mejor servidor con 380 km de cobertura con mayor o igual potencia de recepción de -66 dBW.

La señal recibida por el receptor en dBu de los 2 estándares respecto a posibles señales interferentes presenta un nivel de señal excelente mayor o igual a -66 dBu valores tendientes a infinito.

Respecto a la relación señal a ruido o el análisis de señales interferentes, el mejor servidor que obtuvo mayor alcance y calidad de recepción de mayor o igual a -26 dBu fue el del estándar IBOC a una distancia de 454 Km.

IBOC también obtuvo mejor rendimiento en cobertura con un promedio de potencia de señal recibida de -45.52 dBW rango de calidad de señal excelente.

Por último, se tienen los datos de varianza, mayor o menor desviación de la señal recibida, respecto al transmisor y de este se desprende la desviación estándar, que es la medida de dispersión. Este valor ideal es el más cercano a cero. DRM+ se impone con un margen muy pequeño con 11.38 respecto a 11.68 de IBOC.

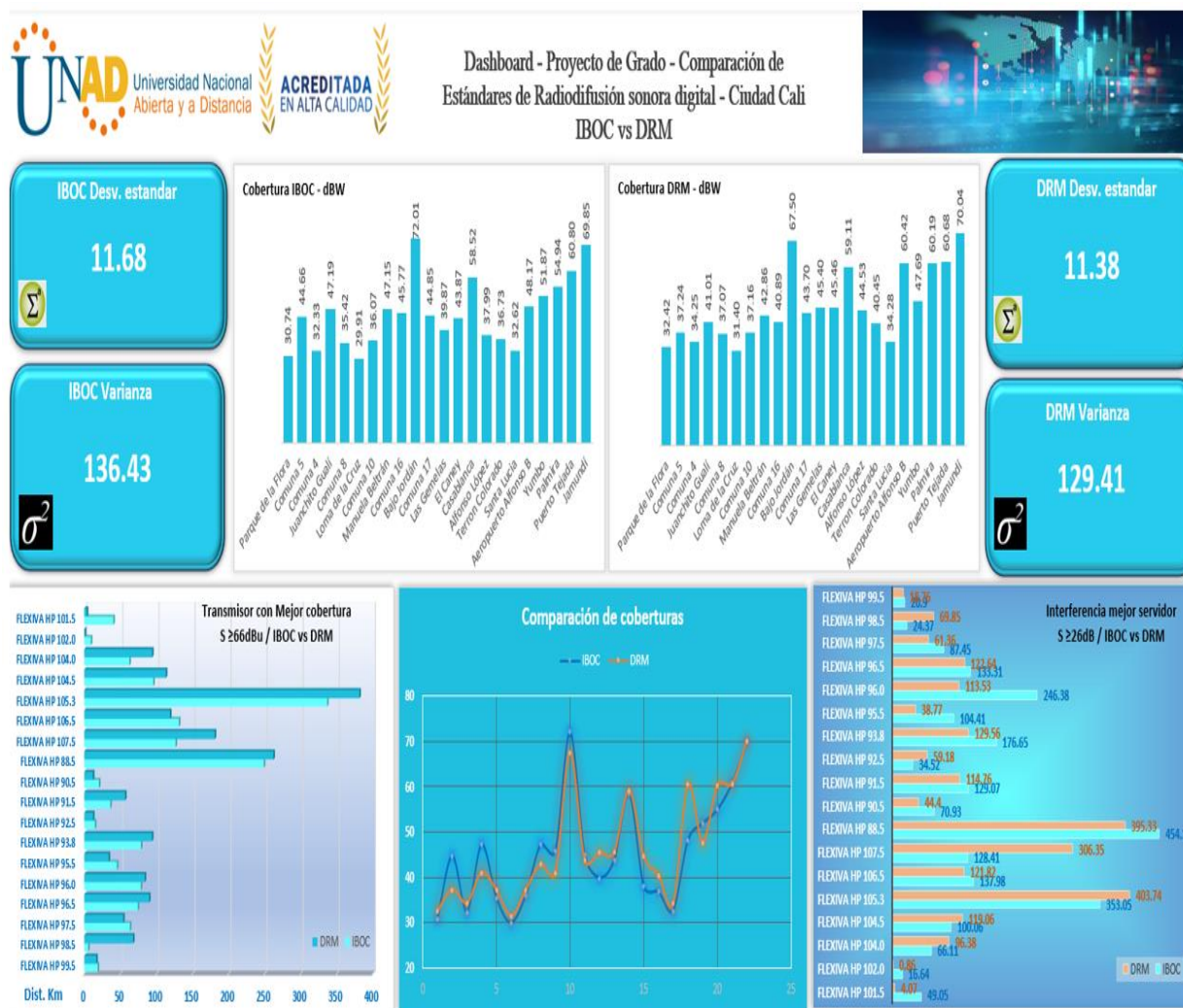
Los dos estándares obtuvieron niveles muy dispersos y variabilidad de la potencia de la señal alrededor del promedio obtenido en cada estudio.

Si el objetivo es tener una señal más estable en todo el territorio, una desviación estándar menor sería deseable. Por lo que se sugiere investigar más a fondo las causas de esta variabilidad para mejorar la estabilidad de la señal en la ciudad de Cali.

La imagen 59 muestra un resumen la comparativa de datos estadísticos con este Dashboard realizado mediante una hoja de cálculo de Excel. Se observan los datos más relevantes del resultado de la comparativa entre los dos estándares como: La desviación estándar, la varianza, estudio de coberturas e interferencias.

Figura 59

Dashboard del Proyecto de Investigación – Comparativa de Estándares



Fuente. Autor

## Conclusiones

La evaluación de la comparativa técnica de los estándares IBOC vs DRM en la banda FM, mediante la simulación en XIRIO de su funcionamiento en la ciudad de Cali, muestra que ambos ostentan capacidades avanzadas en la radiodifusión sonora digital y presentan mucha similitud en términos de eficiencia espectral, cobertura y calidad de señal.

La recopilación de la información fue fundamental y proporcionó comprensión profunda de las capacidades técnicas de cada estándar. En el análisis de las características técnicas de los dos estándares en estudio, se pudo observar que son muy similares en funcionamiento, mientras IBOC permite enviar la información analógica y la señal digital por el mismo canal asignado, haciendo uso de las bandas laterales, tanto superior como inferior; DRM usa una sola banda lateral. Los dos estándares en formato híbrido, es decir; que funciona la radiodifusión sonora analógica y digital al tiempo, facilitando así la migración de un sistema al otro. Esta información es esencial para evaluar como cada estándar se adaptará a necesidades específicas en el territorio nacional.

El análisis de la situación actual de la radiodifusión sonora analógica en la banda FM de la ciudad de Cali, revela una competencia significativa por el espectro radioeléctrico y un entorno con alta densidad de estaciones radiales y emisiones ilegales. Esto plantea un reto gigante para la integración del estándar escogido, pues es crucial manejar la integración y la coexistencia de un estándar digital con el analógico actual, sin generar traumatismos ni interferencias en el proceso de ejecución. Por esto es clave el conocimiento de la infraestructura actual para garantizar una transición e implementación exitosa.

El diseño de las pruebas y simulaciones específicas permitió evaluar adecuadamente el rendimiento de ambos estándares; por ende, este proyecto se diseñó teniendo en cuenta las condiciones actuales de las emisoras de la ciudad de Cali, exponiéndolas a posibles interferencias y condiciones geográficas reales. Los resultados obtenidos de las simulaciones, en el estudio de coberturas, multi coberturas e interferencias de los estándares de radiodifusión sonora digital IBOC y DRM, proporcionaron datos precisos y relevantes para la evaluación de estos dos estándares.

Las simulaciones realizadas en la herramienta XIRIO, mostraron como funcionaron los estándares IBOC y DRM+ en la ciudad de Cali. Los resultados revelan ventajas en términos de cobertura, interferencias y calidad de señal, lo cual son datos decisivos para la optimización del espectro y la infraestructura a implementar.

La simulación de la coexistencia de la radiodifusión análoga en la banda FM con los estándares IBOC y DRM+ en la ciudad de Cali, proporciona una visión clara de cómo cualquiera de estos dos sistemas se integran, ambos pueden usar la banda asignada actualmente a frecuencia modulada FM. Con esto se evita utilizar un nuevo intervalo del espectro radioeléctrico. Los resultados pueden ayudar a entender las posibles interferencias y sugerir estrategias para minimizar impactos negativos en estaciones analógicas.

El análisis comparativo de las simulaciones revela detalles técnicos y estadísticos mencionados a continuación:

La cobertura de mejor servidor DRM+ obtuvo un mayor alcance según mejor servidor con 380 km de cobertura con mayor o igual potencia de recepción de -66 dBW.

La señal recibida por el receptor en dBu de los 2 estándares respecto a posibles señales interferentes presenta un nivel de señal excelente mayor o igual a -66 dBu valores tendientes a infinito.

Respecto a la relación señal a ruido o el análisis de señales interferentes, el mejor servidor que obtuvo mayor alcance y calidad de recepción de mayor o igual a -26 dBu fue el del estándar IBOC a una distancia de 454 Km.

IBOC también obtuvo mejor rendimiento en cobertura con un promedio de potencia de señal recibida de -45.52 dBW rango de calidad de señal excelente.

Por último, se tienen los datos de desviación estándar, que es la medida de dispersión. Este valor ideal es el más cercano a cero. DRM+ se impone con un margen muy pequeño con 11.38 respecto a 11.68 de IBOC.

Los dos estándares obtuvieron niveles muy dispersos y variabilidad de la potencia de la señal alrededor del promedio obtenido en cada estudio. Si el objetivo es tener una señal más estable en todo el territorio, una desviación estándar menor sería deseable. Por lo que se sugiere investigar más a fondo las causas de esta variabilidad para mejorar la estabilidad de la señal en la ciudad de Cali.

Mediante la evaluación de los dos estándares IBOC y DRM, la recopilación detallada de datos técnicos, el estudio de la situación actual del uso del espectro radioeléctrico en la ciudad de Cali, el diseño de las pruebas de simulación, la simulación en XIRIO y la coexistencia de sistemas y el análisis comparativo de dicha simulación, nos proporciona un gran cúmulo de detalles y bases sólidas para concluir que IBOC es el estándar que toma este proyecto como opción entre los dos estándares estudiados, a pesar que son muy parecidos y los resultados arrojaron datos muy similares, se decide también por IBOC por el análisis de antecedentes

realizado y la experiencia en países vecinos se observa que ha sido muy buena; por ende, se presume que ofrecerá una transición más efectiva hacia la radiodifusión digital en Cali y nuestro País.

También se ofrece a Minciencias y MINTIC criterios a tener en cuenta para la escogencia que mejor se acomode a las condiciones económicas, geográficas y sociales del país.

Compatibilidad de transmisores nuevos y existentes.

Costos de implementación

Verificar el comercio de receptores de estándares en estudio y costos asociados.

Analizar avances de la implementación de la radiodifusión digital en la industria vehicular del país.

Normatividad

Calidad del audio y área de cobertura, utilización eficaz del espectro

Interferencias y sintonización rápida

Funcionalidad, adaptabilidad y modularidad

## **Trabajo Futuro**

Teniendo en cuenta que este proyecto es la comparación y simulación de 2 estándares de radiodifusión sonora digital y el entregable son las recomendaciones y datos estadísticos entregadas al MINTIC mediante el Dashboard implementado por la universidad. Se puede implementar el siguiente plan de mejoras, trabajo futuro y mantenimiento.

Las siguientes acciones se deben implementar por el administrador del software o aplicación web usada en el proyecto macro.

### **Mejoras**

Verificar documentación del proyecto, estándar y procedimientos.

Actualización de simulaciones en XIRIO, para nuevas tomas de datos

Verificar visualización y experiencia de usuario final.

Analizar los datos exportados en tiempo real.

Optimización de las bases de datos y fuentes de información.

Actualización continua de versiones del software en uso, para aprovechamiento de nuevas funcionalidades.

### **Trabajo Futuro**

Tomar mediciones en físico del espectro radioeléctrico para comparación de muestras tomadas en simulador XIRIO.

Realizar simulación en al menos 3 ciudades más del territorio nacional.

Trasladar datos de la página Web a una Apps para uso y verificación en tiempo real desde cualquier dispositivo móvil digital.

Ejecutar verificaciones que midan el desempeño, velocidad, tiempo de respuesta al usuario, funcionalidades etc.

Seguimiento de rendimiento de patrones y tendencias del uso de la página Web.

Implementar espacio en la plataforma para registrar comentarios, foros e interacción con visitantes del sitio.

## **Mantenimiento**

El objetivo principal de realizar mantenimiento a un software es el de evitar o corregir fallas, mejorar rendimiento, actualizar versiones y satisfacer necesidades del usuario final. El mantenimiento que se realiza a un software incluye mejora de capacidades, corrección de errores, eliminación de obsolescencias y optimización de procesos o servicios.

Bajo esta premisa se diseña el siguiente plan de mantenimiento a las simulaciones implementadas en Xirio y el Dashboard web. Un Dashboard permite al usuario ver de manera gráfica y rápida un amplio conjunto de datos, que ayudan a identificar tendencias, analizar los datos y comparar métricas, representados a través de indicadores claves de los objetos en estudio.

Crear estrategia de mantenimiento donde se programan actividades con fechas específicas

Identificar y rastrear fallos

Generación de Backlogs o fallas identificadas y programadas para próximos mantenimientos según prioridad de ejecución.

Documentación de fallos

Pruebas dinámicas de interfaz gráfica, procesos, bases de datos.

Realización de cambios, actualizaciones y monitoreo

Mediciones y Control de calidad.

Establecer mesas de trabajo periódicas, para discutir temas relacionados con el mantenimiento, fallas repetitivas, ciberseguridad, experiencia del usuario, etc.

Realizar encuestas de satisfacción al cliente

### Referencias Bibliográficas

Camelo, E. (2018). *El marco referencial*. Ibagué, Col. UNAD.[OVA].

<http://hdl.handle.net/10596/18823>

Durán Bobadilla, L. P., y Mancipe López, L. D. (2018). *Enfoques teóricos de diseño que propenden hacia el desarrollo sostenible de Latinoamérica. Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos*, (69), 1-6.

<http://www.scielo.org.ar/pdf/ccedce/n69/n69a14.pdf>

El País. (2018). *Exclusivo: Cali se convirtió en la capital de la “radio Pirata”*.

<https://www.elpais.com.co/cali/exclusivo-se-convirtio-en-la-capital-de-la-radio-pirata.html>

El País. (2018). *Estas son las 27 emisoras ilegales que fueron cerradas por la Fiscalía y la ANE en el Valle*. [https://www.elpais.com.co/cali/estas-son-las-27-emisoras-ilegales-que-](https://www.elpais.com.co/cali/estas-son-las-27-emisoras-ilegales-que-fueron-cerradas-por-la-fisa-y-la-ane-en-el-valle.html)

[fueron-cerradas-por-la-fisa-y-la-ane-en-el-valle.html](https://www.elpais.com.co/cali/estas-son-las-27-emisoras-ilegales-que-fueron-cerradas-por-la-fisa-y-la-ane-en-el-valle.html)

Escuela técnica en Comunicación. (2022). *Curso de radio: Hablemos de la radio digital - Radio Digital Terrestre - Radio online – satelital*. YouTube.

<https://www.youtube.com/watch?v=3BbOGfH8F6Y>

García, Santiago. (2014). *¿Como funciona la radio digital?* [https://radioslibres.net/72-como-](https://radioslibres.net/72-como-funciona-la-radio-digital/)

[funciona-la-radio-digital/](https://radioslibres.net/72-como-funciona-la-radio-digital/)

GatesAir. (2016). *HD Radio: Tecnología y Mercado | español | GatesAir Connect Webinar*.

YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=JoyXzPqJQp4>

GatesAir. (2020). *Digital Radio: A Review of the Latest Standards - HDRadio, DAB, and DRM*.

YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=QI4LAUjl3VE>

HR Radio. (2019). *How HD Radio Works*. YouTube.

<https://www.youtube.com/watch?v=Uc8T9bwCOAc>

Laven, Philip. (2024). *De la Radiodifusión analógica a la digital – respuestas a diversas necesidades*. UIT.

<https://www.itu.int/itu-news/manager/displayException.asp?lang=es&year=2004&issue=04&ipage=replanning&ext=html>

López, Tito. (2019). *Que ha pasado con la radio digital*. Recuperado de Radio notas:

<https://radionotas.com/2019/05/17/que-ha-pasado-con-la-radio-digital-parte-ii/>

Medrano, Rosa. (2022). *Más de 130 estaciones de radio están operando ilegalmente en el país*.

[https://listindiario.com/la-republica/ciudad/20230518/mas-130-estaciones-radio-operando-ilegalmente-pais\\_754047.html](https://listindiario.com/la-republica/ciudad/20230518/mas-130-estaciones-radio-operando-ilegalmente-pais_754047.html)

Miranda, J., Ponce, P., Molina, A., & Wright, P. (2019). *Sensing, smart and sustainable technologies for Agri-Food 4.0*. *Computers in Industry*, 108, 21-36.

<https://bibliotecavirtual.unad.edu.co/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edselp&AN=S0166361518305517&lang=es&site=edslive&scope=site>

Padilla, F. (2019). *El marco metodológico*. [OVI].

<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/30473>

Penneroux, Michael. (2003). *Inauguración de la radiodifusión digital sonora en la CMR-03*. UIT

<https://www.itu.int/itu-news/manager/display.asp?lang=es&year=2003&issue=05&ipage=digital-sound&ext=html>

Pérez, L. Pérez, R. y Seca, M. V. (2020). *Metodología de la investigación científica*.

Editorial Maipue. (pp. 130-155).

Redacción. (2020). *¿España podría replantearse la implantación de la radio digital DAB?*

Panorama Audiovisual. <https://www.panoramaaudiovisual.com/2020/09/03/espana-podria-replantearse-la-implantacion-de-la-radio-digital-dab/>

Rojas, G. (2023). (2023). *Metodología de la investigación para anteproyectos*. 1.

Universidad Abierta para Adultos (UAPA). (pp. 96-121).

<https://elibronet.bibliotecavirtual.unad.edu.co/es/ereader/unad/229656?page=96>

Rojas, G. (2023). *Metodología de la investigación para anteproyectos*. 1. ed. [S. l.]:

Universidad Abierta para Adultos (UAPA), 2023. (pp. 132-160).

RTVC. (2020). *Conozca la Historia de la Radio en Colombia*. RTVC Sistema de Medios

Públicos. <https://www.rtv.gov.co/noticia/conozca-la-historia-de-la-radio-en-colombia>

Santa, Richard. (2010). *MTC intervino radios piratas que interferían radios legales*.

<https://www.tvyvideo.com/2021100510574/noticias/empresas/mtc-intervino-radios-piratas-que-interferian-radios-legales.html>

Shango066HD. (2016). *Digital Radio Sound Quality Demonstration*. YouTube.

<https://www.youtube.com/watch?v=IRX3yAgWvKI&t=336s>

Tesis y Masters. (2024). *Como hacer el marco teórico conceptual de tu tesis*.

<https://tesisymasters.com.ar/tesis-marco-teorico/>