

Universidad Acción Pro Educación y Cultura



Decanato de Ingeniería e Informática  
**Escuela de Ingeniería**

Trabajo de Grado para Optar por el Título de:  
**Ingeniero Electrónico Mención Comunicaciones**

**“DISEÑO DE UNA RED DE FRECUENCIA ÚNICA (SFN)  
PARA RADIO FM DIGITAL BAJO EL ESTÁNDAR IBOC (IN-  
BAND ON-CHANNEL) PARA REPÚBLICA DOMINICANA”**

**Sustentantes:**

Br. Iván Rafael Rodríguez	2009 - 1078
Br. Daury Miguel González	2010 - 2380

**Asesor:**

Ing. José Augusto Mesa Suero

Distrito Nacional,  
República Dominicana  
**Noviembre, 2015**

“Los conceptos expuestos en esta investigación son de la exclusiva responsabilidad de su(s) autor(es)”.

## RESUMEN

El hombre como ente social desde sus orígenes ha sentido la necesidad de comunicarse con el mundo que lo rodea, todo esto ha sido posible mediante la comunicación la cual ha implementado desarrollos y cambios significativos a lo largo del tiempo, facilitando unir a los hombres, ayudar e influir en las acciones y pensamientos de los demás seres humanos.

En vista de que la comunicación es de gran importancia para el hombre, esta investigación ha sido enfocada en uno de los medios de comunicación de mayor penetración y fácil acceso, “La Radio”. Tanto para la Republica Dominicana como para los distintos países del mundo la Radio está dentro los principales y más importantes medios de comunicación.

En suma, esta investigación ha sido realizada para promocionar y proponer el desarrollo de la radio digital en la República Dominicana empleando el estándar IBOC en conjunto con una red de frecuencia única SFN. A lo largo del mismo, han sido considerados y explicados todos los puntos necesarios para que pueda ser

llevado a cabo su implementación, desde la base teórica; donde se abarcan los tópicos más importantes del funcionamiento de la HD Radio Digital y las redes SFN, las etapas de diseño con ejemplos desarrollados, hasta las consideraciones y recomendaciones más importantes a tomar en cuenta previo al diseño y desarrollo de la HD Radio Digital. De igual modo han sido explicados los estándares digitales que más se implementan en el mercado de la Radio incluyendo comparativas entre los mismos.

De igual manera, se han tomado en cuenta los beneficios y ventajas desde el punto de vista económico, tecnológico, de servicios ofrecidos, la facilidad de implementación y mantenimiento para poder llevar a cabo HD Radio Digital en la Republica Dominicana. Por todo lo expuesto anteriormente, se demuestra la importancia de esta investigación, la cual busca además del diseño de HD Radio Digital con redes SFN; explicar, promover y realizar mejoras significativas en los servicios de la radio actual del país, considerando que en la Republica Dominicana actualmente la Radio Digital es prematura y está en sus primeros inicios.

## DEDICATORIA

**A mi hermana:** Laura Rodriguez para que siempre se mantenga motivada a finalizar sus estudios y alcanzar sus metas a pasos de vencedores como lo ha hecho siempre, ¡Adelante!

**Demás familiares y amigos:** José Reyes, Juan Reyes, Jorge Minaya, Emely Reyes, Nicole Reyes y Geudys Ramírez.

**A mi país:** Republica Dominicana, para que cada vez más sea un mejor país aplicando siempre la mejora constante y tomando las iniciativas correspondientes de implementar las nuevas tecnologías para que nuestro territorio este a la vanguardia de las más recientes innovaciones en el campo tecnológico y de las comunicaciones.

**Ivan Rafael Rodriguez Reyes.**

## DEDICATORIA

A mi hermanos, primos y amigos, Sahel, Claudette, Joanny, Ivan, Ireneo, Brunaska, María, José, Onilys, Corina, Josué, Joshua, Jaime, Junior, Raudy, Mario, Jorge, Eudy, Andreina, Omar, Catherine, Jean, José Tomas, Marcel, para que siempre estén motivados a luchar por un mejor futuro, que aunque hayan obstáculos y desafíos no caigan, porque aunque haya miedo, si lo intentan solo tendrán dos opciones, perder o ganar y en la vida no hay nada más abastecedor que desafiar y afrontar el peso y sacrificio de aspirar a grandes triunfos aun con la posibilidad de perder, quien no arriesga una semilla no consigue frutos, por ende "Es duro fracasar, pero es todavía peor no haber intentado nunca triunfar" Theodore Roosevelt.

De ustedes espero lo mejor, sean luceros de esta nación, que tanto lo necesita, que sea de vital importancia finalizar sus estudios y alcanzar sus metas para ser de este un país mejor.

**Daury Miguel Gonzales Trinidad.**

## AGRADECIMIENTOS

**A Jehová Dios:** Por ser el mapa que me sirve de guía y permitir que yo pueda cumplir mis metas.

**A mis familiares:** Quienes siempre han estado presente mostrando su apoyo y consejos incondicionalmente y sirviéndome de ejemplo a seguir.

En especial: A mis padres Rafael Rodriguez y Minerva Reyes impulsores indispensables de todas mis metas alcanzadas hasta el presente.

A mi hermana Laura Melissa: colaboradora intrínseca, en todas las etapas de este proceso, muchas gracias por todo.

A mis tíos(as) Ysabel Reyes, Marisol Reyes. Personas muy ocupadas a pesar de ello, siempre han mostrado disponibilidad para colaborar en todo lo necesario. Ejemplos inmensurables de excelentes profesionales honrados portadores de los buenos valores.

A mi primo: Julio Rosa, por su especial colaboración.

**A mis amigos:** los cuales siempre han brindado su apoyo, tiempo y conocimientos a lo largo de este proceso dándole mayor calidez a las situaciones y procesos que conllevaron todo el camino recorrido.

En especial a: Andy García, Michael Subero, David Valdez, Joan Azcona, Waldo Azcona, Víctor Freites, Joel Asencio y Kerlys Cuevas.

A Iliana Arias quien es una gran fuente de motivación, siempre manteniendo encendido mi interés en culminar esta meta y continuar hacia adelante con las siguientes. Quien siempre me dice que nada es difícil solo hay que proponérselo.

**A mis compañeros de clases:** Quienes son base elemental en el logro de la finalización de este proceso de estudios, porque como un equipo nos dimos apoyo y soporte mutuamente en todos los momentos necesarios hasta el final.

En especial a: Daury Miguel, Ireneo Castillo, Eudy Talma y Juan Placido mis compañeros y equipo siempre presente en todos los momentos.

Cheryl Liranzo: Tus aportes fueron determinantes, siempre presente y dispuesta para ayudar a los demás y ofrecer su colaboración y apoyo. Gracias por tu tiempo, dedicación y por las excelentes explicaciones. Todo ello, han sido para mí de gran utilidad. Eres un ejemplo a seguir.

**El resto de mis compañeros:** Carlos Suero, Blas Taveras, Jorge Silva, Juan Manuel, Gerson Rivera, Luis Calzado, Luifer Abreu, Andy Vargas, Natanael Espinoza, Jean Castillo, Gregory Rosario, Derlin Alonzo, Emil Rodriguez, Sergio Ramírez, Rafael Mercedes, Oliver De la Rosa.

**A mis profesores y educadores:** Recurso indispensable por la calidad de sus aportes, permitiéndome así empoderarme de sus entregas en cuanto a experiencias, asesorías, conocimiento y sus útiles consejos los cuales me han servido de guía durante todo este proceso y seguramente en muchas ocasiones más durante la vida.

En especial: Ing. Porfirio Sánchez, Ing. Pérez Méndez, Ing. José Mesa, Ing. Edward, Tomiris Silfa.

**Importantes colaboradores:** Ing. John F. Schneider, Ing. Javier Garcia.

**Ivan Rafael Rodriguez Reyes.**

# AGRADECIMIENTO

A Dios: Porque sin ti no sería nada.

A Isidora y Agripina mis madres por hacer el hombre que hoy soy y ser la mejor constancia de lo que es el amor y la perseverancia.

Al colegio Jaime Molina Mota, Lic. Antonia Molina, Héctor, Sonia y Georgina por ser mi sustento mi apoyo, por educarme y orientarme para ser cada día mejor persona.

A mis tías, Juana, Maltha, Tatiana, Nancy, Hilda por ser mi segundas madres, por su apoyo incondicional.

A mi padre Pedro, A mi tío Julio, por el apoyo y brindar ese sostén a la familia.

A Sahel y Claudette mis hermanos por estar siempre a mi lado, por su lealtad, por siempre estar ahí por su amistad y sabios consejos.

A mis Profesores Ing. Mesa Suero y Porfirio Sánchez, por su motivación, por reflejar lo que significa ser cada día un mejor ingeniero, un maestro.

A mis compañeros Ivan, Ireno, Brunaska, Junior, María, Mario, Raudy, Jean, José Tomas por la amistad, por el apoyo, por ser compañeros en los malos y buenos momentos, por ser más que amigos por ser hermanos.

A mis primos Josecito, Onilys, Carolina, Corina, Josué, Joshua, Jaime por quererme tanto, por apoyarme, por ser una razón por la cual reír.

A mi novia Joanny por todo apoyo durante estos meses.

**Daury Miguel Gonzales Trinidad.**

# TABLA DE CONTENIDOS

<b>RESUMEN</b> .....	III
<b>DEDICATORIA</b> .....	V
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	VII
<b>TABLA DE CONTENIDOS</b> .....	XII
LISTA DE TABLAS .....	XVI
LISTA DE FIGURAS .....	XVII
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	XX
<b>CAPITULO 1: MARCO TEORICO</b> .....	30
1.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	30
1.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	32
1.2.1 <i>Sistemas digitales.</i> .....	32
1.2.2 <i>Modulación COFDM</i> .....	35
1.2.3 <i>Multiplexado por división de frecuencias y tiempo</i> .....	36
1.2.4 <i>Modulación Ortogonal</i> .....	37
1.2.5 <i>Interferencia por efectos multicaminos (Multipath Fading)</i> .....	40
1.2.6 <i>Constelaciones básicas</i> .....	42
1.2.7 <i>Intervalo de Guarda</i> .....	43
1.2.8 <i>Modulador y demodulador OFDM</i> .....	45
1.2.9 <i>Modulación Jerárquica</i> .....	47

1.2.10 Redes SFN (Single Frequency Network) .....	48
1.2.11 Breve historia de la Radio Digital.....	49
1.2.12 La Radio Digital en la Republica Dominicana .....	50
1.2.13 Primer foro internacional de la radio digital en la República Dominicana. ....	52
1.2.14 Avances de la radiodifusión sonora digital en la República Dominicana.....	53
1.2.15 Estándares para la Radio Digital .....	54
1.2.15.1 Digital Audio Broadcasting (DAB).....	55
1.2.15.2 Digital Radio Mondiale (DMR) .....	57
1.2.15.3 In-Band On-Channel (IBOC).....	64
1.2.15.3.1 Orígenes de la Radio Digital HD bajo el estándar IBOC.....	64
1.2.15.3.3 HD Radio Alrededor del mundo. ....	65
1.2.15.3.2 HD Radio bajo el estándar IBOC en la actualidad.....	66
1.2.15.3.4 Características Básicas de HD Radio: .....	66
1.2.15.3.5 Servicios soportados.....	67
1.2.15.3.6 Proceso de funcionamiento del HD Radio Digital. ....	68
1.2.15.3.7 Modos de funcionamiento .....	69
1.2.15.3.9 Recomendaciones al utilizar la arquitectura de combinación espacial: .	85
1.3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	118
<b>CAPITULO 2: DISEÑO DE LA HD RADIO Y RED SFN.....</b>	<b>122</b>
2.1 SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS Y EQUIPAMIENTOS. ....	122
2.1.1 Frecuencia de Trasmisión. ....	122
2.1.2 Arquitectura de la Red.....	122
2.1.3 Diagrama en bloques Arquitectura de combinación Espacial. ....	123
2.1.4 Potencia Digital. ....	124
2.1.5 Modo de Operación.....	125

2.1.6 Topología de Red.....	125
2.2.7 Medio de Trasmisión de la red .....	126
2.2.8 Puntos estratégicos de cobertura .....	126
2.3 ENLACES MICROONDAS .....	127
2.3.1 Alto Bandera–Mogote.....	130
2.3.2 Alto Bandera–San Juan de la Maguana .....	132
2.3.3 Alto Bandera – La Hoz Barahona .....	134
2.3.4 Santo Domingo CAFAM – Peña Alta Hato Mayor.....	136
2.3.5 Peña Alta Hato Mayor – Higüey la Altagracia .....	138
2.3.6 Red Completa .....	140
2.4 ANTENAS .....	140
2.5 POTENCIA TRANSMISORES DIGITALES.....	141
2.5.1 Transmisor análogo Principal CAFAM-UNAPEC.....	142
2.5.2 Transmisor Digital CAFAM UNAPEC .....	143
2.5.3 Transmisor análogo El Mogote.....	144
2.5.4 Transmisor digital El Mogote .....	145
2.5.5 Transmisor análogo Higüey.....	146
2.5.6 Transmisor Digital Higüey .....	147
2.5.7 Transmisor Análogo Barahona la Hoz.....	148
2.5.8 Transmisor Digital Barahona la Hoz .....	149
2.5.9 Transmisor Güanito San Juan de la Maguana.....	150
2.5.9 Mapa de cobertura total análoga. ....	152
2.5.10 Mapa de cobertura total digital. ....	153
2.6 EQUIPOS Y CONSIDERACIONES PARA EL SISTEMA DE TRANSMISIÓN .....	154
2.7 EQUIPOS .....	168
Transmisor FM de baja potencia STX LP 1KW .....	168

STXe 60.....	170
Transmisor STXe 500 .....	171
Procesador Dual Analógico/Digital DSPXtra-FM FM Audio .....	172
Excitador analógico FM 250 W.....	174
Audemat FM monitor.....	176
Exportador FM HD Radio .....	178
□ LYNX™ Series II Circularly Polarized Dual Input FM Antenna .....	180
2.8 DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS Y COSTOS .....	182
<b>CAPITULO 3</b> .....	185
3.1 CONCLUSIONES .....	185
3.2 RECOMENDACIONES .....	188
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	192
<b>ANEXO</b> .....	194
TABLAS.....	195
ANTEPROYECTO.....	199

# LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Beneficios del estándar DRM. ....	63
<b>Tabla 2.</b> Potencia Adicional Requerida para los Modos Híbrido Extendidos. ....	92
<b>Tabla 3.</b> Potencia Digital Total, % de Potencia Análoga con Potencias Elevadas. ....	93
<b>Tabla 4.</b> Análisis del perfil de trayectoria CAFAM-Alto Bandera. ....	129
<b>Tabla 5.</b> Análisis del perfil de trayectoria Alto Bandera-Mogote.....	131
<b>Tabla 6.</b> Análisis del perfil de trayectoria Alto Bandera-San Juan de la Maguana. ....	133
<b>Tabla 7.</b> Análisis del perfil de trayectoria Alto Bandera-La Hoz Barahona. ....	135
<b>Tabla 8.</b> Análisis del perfil de trayectoria CAFAM-Peña Alta Hato Mayor.....	137
<b>Tabla 9.</b> Análisis del perfil de trayectoria Peña Alta Hato Mayor-Higüey La Altagracia.....	139
<b>Tabla 10.</b> Modos y velocidades de Transmisión. ....	159
<b>Tabla 11.</b> Especificaciones Eléctricas arreglo de LYNX™ Series II Circularly Polarized Dual Input FM Antenna.....	182
<b>Tabla 12.</b> Costos y distribución de equipos para Santo Domingo.....	183
<b>Tabla 13.</b> Costos y distribución de equipos para Santiago. ....	183
<b>Tabla 14.</b> Costos y distribución de equipos para Hguey .....	184
<b>Tabla 15.</b> Costos y distribución de equipos para San Juan. ....	184
<b>Tabla 16.</b> Especificaciones técnicas transmisor STX LP. ....	195
<b>Tabla 17.</b> Comparativa entre los estándares más utilizados.....	197
<b>Tabla 18.</b> Equipos extras para modo híbrido extendido. ....	198

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> (a) Modulación por división de frecuencias y (b) Modulación por división de tiempo.....	36
<b>Figura 2.</b> Modulación en cuadratura de fase.....	38
<b>Figura 3.</b> Modulador y demodulador en FMD. ....	39
<b>Figura 4.</b> Interferencia entre símbolos.....	41
<b>Figura 5.</b> Constelaciones básicas, 4QAM, 16QAM Y 64QAM. ....	43
<b>Figura 6.</b> Intervalo de guarda empleado en OFDM.....	44
<b>Figura 7.</b> Diagrama de bloques para un modulador OFDM. ....	46
<b>Figura 8.</b> Demodulador OFDM. ....	47
<b>Figura 9.</b> Bandas de frecuencias de operación para el estándar DMR. ....	59
<b>Figura 10.</b> Distribución de señales en IBOC modo hibrido. ....	70
<b>Figura 11.</b> Distribución de las señales en modo hibrido ampliado.....	72
<b>Figura 12.</b> Modo totalmente digital. ....	73
<b>Figura 13.</b> Arquitectura de la combinación de bajo nivel. ....	74
<b>Figura 14.</b> Arquitectura de la combinación en alto nivel. ....	77
<b>Figura 15.</b> Arquitectura de la combinación en alto nivel. ....	80
<b>Figura 16.</b> Arquitectura de la combinación espacial. ....	83
<b>Figura 17.</b> Antenas de combinación espacial. Fuente: (Digital, 2013).....	87
<b>Figura 18.</b> Mascara de Ruidos Espurios y Emisiones de la NRSC-5-C. ....	90
<b>Figura 19.</b> Sincronización de los Relojes AES. Fuente: (Digital, 2013).....	98
<b>Figura 20.</b> Niveles de audio del Programa.....	106
<b>Figura 21.</b> Servicio de Información de la Emisora (SIS) y Servicio de Datos de Programa (PSD). .....	108

<b>Figura 22.</b> Botón TAG de iTunes Tagging en la pantalla de HD Radio de un vehículo Ford iBiquity Digital .....	114
<b>Figura 23.</b> La Implementación de Experiencia de Artista. ....	116
<b>Figura 24.</b> Diagrama en bloques Arquitectura de Combinación Espacial. ....	124
<b>Figura 25.</b> Perfil de elevación y zona de Fresnel enlace CAFAM-Alto Bandera. ....	128
<b>Figura 26.</b> Perfil de elevación y zona de Fresnel. Enlace Alto Bandera-Mogote.....	130
<b>Figura 27.</b> Perfil de elevación y zona de Fresnel enlace Alto Bandera- San Juan de la Maguana. ....	132
<b>Figura 28.</b> Perfil de elevación y zona de fresnel enlace Alto Bandera- La Hoz Barahona. ....	134
<b>Figura 29.</b> Perfil de elevación y zona de Fresnel enlace CAFAM-Peña Alta.....	136
<b>Figura 30.</b> Perfil de elevación y zona de fresnel enlace Peña Alta - Higüey. ....	138
<b>Figura 31.</b> Bosquejo completo y Tipología de la Red. ....	140
<b>Figura 32.</b> Transmisor principal CAFAM-UNAPEC señal analoga 25kW .....	142
<b>Figura 33.</b> Transmisor principal CAFAM-UNAPEC señal digital 1kW. ....	143
<b>Figura 34.</b> Cobertura Trasmisor El Mogote señal analoga 10kW. Fuente: RF cloud. ....	144
<b>Figura 35.</b> Cobertura Trasmisor El Mogote señal analoga 400W.....	145
<b>Figura 36.</b> Resultados transmisor Higüey señal Análoga 10kW.....	146
<b>Figura 37.</b> Resultados transmisor Higüey señal digital 400W. ....	147
<b>Figura 38.</b> Cobertura transmisor Barahona la Hoz señal Análoga 1kW. ....	148
<b>Figura 39.</b> Cobertura transmisor Barahona la Hoz señal digital 50 W.....	149
<b>Figura 40.</b> Cobertura Guanito San Juan de la Maguana Análogo 125W.....	150
<b>Figura 41.</b> Cobertura Guanito San Juan de la Maguana digital 5W. ....	151
<b>Figura 42.</b> Cobertura total analógica. ....	152
<b>Figura 43.</b> Cobertura total digital. ....	153
<b>Figura 44.</b> Una Señal IBOC FM dentro de las máscaras de la FCC y la NRSC-5-C. ....	158
<b>Figura 45.</b> Configuraciones posibles para la división del ancho de banda de la señal digital IBOC FM entre varios servicios de programas en los modos MP1 y MP3.....	160
<b>Figura 46.</b> Importer y exporter en los estudios (Cortesía Broadcast Electronic). ....	162

<b>Figura 47.</b> Configuración para sincronización de la red.....	164
<b>Figura 48.</b> Monitoreo Golden eagle FM al aire.....	166
<b>Figura 49.</b> Transmisor STX LP de 1KW.....	168
<b>Figura 50.</b> Transmisor STXe 60. ....	170
<b>Figura 51.</b> Transmisor STXe 500. ....	171
<b>Figura 52.</b> Procesador Dual Analógico/Digital DSPXtra-FM FM.....	172
<b>Figura 53.</b> Excitador analógico.....	174
<b>Figura 54.</b> Monitor AUDEMAT FM (GoldenEagle FM).....	176
<b>Figura 55.</b> Exportador FM HD Radio.....	178
<b>Figura 56.</b> Antena de polarización circular de doble entrada FM. ....	180

## Introducción

¡La comunicación radial compite con los rayos solares! Las estadísticas indican que “Al menos el 75% de los hogares de los países en desarrollo tiene acceso a un aparato de radio” (UNESCO, 2012). Además, existen “51,000 estaciones de radio en el mundo” (CIA World Factbook, 2014). En 2011 Farm Radio International explico que para los agricultores en África el porcentaje de accesibilidad es de 2% para los teléfonos fijos, 3% para las computadoras, 18% para teléfonos móviles, en cambio para la radio es de 76%.

En 2011 estudios realizados por la UNESCO revelan que en América Latina hay cerca de 10,000 radios comunitarios, Perú con la mayor cantidad, seguido de Ecuador, Bolivia y Brasil, sin incluir quienes emiten sin licencia, de lo contrario dicha cifra sería mucho mayor.

Según los informes del INDOTEL la Republica Dominicana cuenta con 69 canales de televisión, 379 emisoras de radio de los cuales 146 emisoras son en Amplitud Modulada y 233 emisoras en Frecuencia Modulada. En adición, un estudio realizado en 2007 por el INDOTEL mediante la empresa Gallup International, revela que la radiodifusión está posicionada entre los primeros medios de comunicación por excelencia del país. Ocupando así el segundo lugar con una penetración de un 63% después de la televisión con un 93%.

Es evidente que la radiodifusión es uno de los medios de comunicación masiva de mayor alcance, con costos de implementación reducidos en comparación con otros medios de comunicación y que además permite llegar a todas las clases sociales ya que es el medio de comunicación más accesible especialmente para las comunidades de menores recursos económicos.

A nivel mundial, a partir de los primeros inicios de los sistemas de radiodifusión, los mismos se han mantenido y continúan en constante desarrollo de sus sistemas, incorporando nuevas tecnologías con el fin de ofrecer a los oyentes una mayor variedad de programas entre otros recursos y esto incluye también la transición por parte de los radiodifusores de los sistemas de radio análogos habituales a sistemas digitales de radio modernos.

De igual modo, las estaciones de radio de la Republica Dominicana desde 1928 (cuando sale al aire la estación oficial del estado Dominicano) han avanzado en cuanto al desarrollo e implementación de nuevas tecnologías. Sin embargo, solamente hay dos estaciones de radio implementando transmisión digital.

Actualmente Radio Raíces tiene dos señales de HD Radio (en 102.9 MHz en Santo Domingo y 95.1 MHz en Santiago). Adicionalmente, La Voz del Yuna 1670 KHz en

Bonao está preparándose para estrenar su señal digital en la banda AM. Lo que significa que aún la transición hacia los sistemas de radio digitales está en sus inicios en la República Dominicana. Ya conocidas las características, el alcance y poder de penetración que posee este medio de comunicación, es de gran importancia la continuación de implementación de sistemas de radios digitales que proporcionen mayores beneficios tanto para los radiodifusores como para los oyentes. De ahí nace el interés de abordar esta temática dándole existencia al desarrollo de este trabajo.

En estudios anteriores sobre la realización del diseño de la radiodifusora en base al estándar IBOC, el señor Cesar Ortega, en su proyecto previo de grado con el tema “diseño de la radiodifusora radio LIDER 90.1 FM con tecnología en base al estándar norteamericano IBOC (In-Band On-Channel)” sus alcances consistieron además del diseño, en “seleccionar el sistema y los equipos necesarios para el estudio, enlace y cabina de transmisión”. Estudio realizado para una estación de Perú en 2007 con el interés de incentivar la transición a los sistemas digitales a las estaciones de su país.

## **Justificación**

El desarrollo y modernización de los medios de comunicación en la República Dominicana es de vital importancia, ya que los mismos son la vía a través de la cual la sociedad se comunica y mantiene informada de los acontecimientos. Específicamente la radiodifusión, el cual es considerado de suma importancia por ser un medio de comunicación masivo además de su alto poder de alcance y penetración en el país.

Desde sus inicios este medio ha alcanzado grandes avances, como lo es la instalación para el procesamiento de audio de diferentes sistemas digitales, tales como, CD Records, 360 system, el Digital Audio Tape entre otros. Para corroborar con el desarrollo y modernización del sector radial, se propuso el diseño de una red única con sistemas de transmisión digital para la radio mediante el estándar americano IBOC, que llegara a los radio escuchas de todo el territorio Nacional ofreciendo múltiples programaciones y beneficios.

De no ser considerada esta propuesta de diseño el sector radial no estaría a la vanguardia de la modernización mediante la implementación de las tecnologías actuales, tampoco podría sacarle mayores beneficios y aprovechamiento al

espectro radioeléctrico actual, punto muy significativo, dado que el espectro radioeléctrico está saturado en nuestro país, lo cual ha dado como resultado que estaciones de radio hayan tenido que acudir a alternativas distintas para transmitir sus programaciones con menor alcance y penetración y mucho menos se compara en calidad de sonido, tales como Radio Online. Además los radiodifusores como los oyentes no se beneficiarían de los múltiples servicios y utilidades que brinda los sistemas modernos digitales para la radio.

### **Planteamiento del problema**

El número de las estaciones de Radio en la República Dominicana va en aumento cada día, es increíble que en pleno siglo 21 el 99% de las estaciones de radio en la República Dominicana sean análogas todavía, solamente contando con una estación de radio digital en funcionamiento, la Radio de la fundación Eduardo León Jiménez “Radio Raíces” y adicionalmente, La Voz del Yuna en modo experimental.

Cabe destacar que la calidad de la radio dominicana sigue siendo la misma desde los últimos 20 años. Entre las limitaciones que trae la radio análoga están: peor calidad de sonido comparado con los sistemas digitales modernos de radio, mayor uso del espectro radioeléctrico, mayor relación señal-ruido, más susceptible a las interferencias y menor cobertura geográfica. Es claro notar la necesidad de nuevos

sistemas que permitan el aprovechamiento del espacio radioeléctrico y el mejoramiento de la calidad de la radio en la República Dominicana. La Radio Digital es el más significativo avance en tecnología de radio desde la introducción del FM estéreo, ofreciendo tanto a los oyentes como a las estaciones de radio una serie de beneficios y oportunidades.

Estos pueden ser: gran calidad en la recepción de señales sonoras equivalente a la del Disco Compacto, robustez del sistema de transmisión aéreo, receptores libres de interferencia, resolución de los problemas de distorsión y cancelaciones de las señales FM, receptores de bajo costo y variedad en las programaciones e informaciones recibidas tales como texto y multimedia.

# **Objetivos**

## **Objetivo General**

Diseñar una red de frecuencia única (SFN) para Radio FM digital bajo el estándar IBOC para la Republica Dominicana en la ciudad de Santo Domingo.

## **Objetivos específicos**

- Evaluar la importancia de implementar HD Radio FM (Digital) en la República Dominicana.
- Impacto de las redes GPS sobre el diseño de una red (SFN) para Radio FM bajo la tecnología IBOC (Digital).
- Investigar la cobertura geográfica que ofrece la utilización de una red (SFN) para HD Radio FM (Digital).
- Proponer las aplicaciones de la red de frecuencia única (SFN) en la República Dominicana.
- Cuantificar las zonas para Radio FM que hay determinadas por el INDOTEL en República Dominicana.

## **Metodología**

### **Tipo de investigación**

El diseño de la red SFN para la radio Digital mediante el estándar IBOC fue desarrollado mediante investigaciones mixtas, tales como la revisión bibliográfica para la recolección de informaciones correspondientes al tema de estudio a desarrollar, así como también exploratoria. Además se utilizó el diseño de investigación tipo experimental: De Campo; porque se realizó pruebas y simulaciones del diseño de la red SFN para el sistema HD Radio digital.

### **Método de investigación**

El método de investigación aplicado para el desarrollo es el método Cuantitativo.

## **Técnicas de investigación**

### **Entrevistas**

Se realizaron entrevistas a profesionales experimentados con experiencias en el campo de la radio Fm y redes SFN con el fin de obtener informaciones relevantes que permitió analizar los diseños actuales, posibles mejoras y tendencias para un mejor diseño.

### **Internet**

Se consultaron documentos, bases de datos y páginas electrónicas de diseñadores, fabricantes e industrias relacionadas a la temática para obtener bibliografía actual sobre el tema.

### **Libros**

Se consultaron libros especializados en la temática con redes SFN Y tecnología IBOC.

## **Simulaciones con software**

Se realizaron simulaciones con software especializados en los diseños de redes SFN y tecnología IBOC, obteniendo resultados lo más cercano posible a la realidad del diseño que se realizara.

## **Procedimiento de desarrollo del diseño**

Para el diseño de la red se procedió a investigar cuales son los diferentes tipos de arquitecturas y combinaciones de IBOC hibrido estudiando cuáles son sus ventajas y desventajas y cuál de los de ellos es la mejor opción para el territorio dominicano una vez escogido el tipo de combinación, se estudió la arquitectura y los equipos necesarios para esta sistema, entre las opciones y diseño se escogen los rangos de potencia, modo de operación, zonas de cobertura, tipo de red, red SFN, cálculo de potencias digital dependiente de la potencia análoga, alineación de la red, una vez calculado todo esto procedemos a elegir los equipos según los resultados de los cálculos y diseños anteriormente realizados, antenas, transmisores IBOC, excitadores, procesadores de audio digital, audio analógico, importer, exporter, etc. Una vez todo esto, se procede a elegir los puntos estratégicos y las coberturas obtenidas por el diseño de IBOC hibrido en su versión más estable.

# **CAPITULO 1: MARCO TEORICO**

Los medios de comunicación son de gran importancia para las sociedades de hoy en día, un ejemplo de ello es la radiodifusión, la cual está colocada entre los principales medios, dada sus características y capacidad que posee para hacer llegar informaciones de interés a toda la sociedad en general. La misma desde sus inicios ha realizado avances significativos que han permitido su modernización y desarrollo permitiendo así la mejora de sus servicios en distintos renglones.

## **1.1 Antecedentes de la investigación**

Los avances tecnológicos y la búsqueda de mejoras en los servicios de comunicación que ofrece la radio, ha despertado el interés de implementar y aplicar los sistemas y estándares digitales en la radio habitual de transmisión análoga. En este sentido, el estudiante Cesar Ortega Pintado (2009), de la Escuela Politécnica Nacional, a través de su proyecto de investigación: "Diseño de la radiodifusora Radio Líder 90.1 FM con tecnología en base al estándar norte americano IBOC (In-Band On-Channel)" introduce los principales aspectos de la radiodifusión digital,

específicamente el estándar IBOC incluyendo sus ventajas y desventajas. El estudio contempla investigaciones documentales, donde se analizan y se muestran las características y modos de funcionamiento del estándar.

El proyecto tiene como objetivo realizar el diseño de una radiodifusora FM a partir del estándar IBOC lo que incluye la selección del sistema y los equipos necesarios para el estudio así como también, el enlace y la cabina de transmisión.

A lo largo de su estudio se detalla una breve reseña histórica sobre el estándar IBOC para luego analizar los diferentes métodos para implementar este sistema digital, también incluyendo los diferentes métodos de transmisión posibles dependiente del servicio que se pretenda prestar. Como puede observarse el proyecto de Cesar Ortega (2009) contempla el diseño de un sistema digital de radio con el estándar IBOC el cual sirve como enseñanza para el desarrollo del diseño de la investigación en proceso.

El proyecto establece las siguientes conclusiones: el sistema IBOC FM en la actualidad es ideal para la migración de estaciones de radiodifusión sonora de frecuencias moduladas a un sistema digital, dado que permite transmitir la señal análoga y la digital utilizando el mismo espectro ya asignado. Otra de las conclusiones que arrojó el estudio, fue que aún falta mucho por hacer en el país (Quito) desde el punto de vista normativo, dado que no se ha prestado mucha

atención a este medio de comunicación de amplia difusión lo que ocasionaría desventajas y pérdida de oportunidades de desarrollo incluyendo la pérdida de ventajas económica.

Desde el punto de vista comercial y técnico, se concluyó que el estándar americano IBOC es conveniente ya que permite utilizar modulación COFDM la cual permite un número elevado de sub portadoras en un ancho de banda reducido. Además es un sistema flexible ya que permite que cada estación de radio escoja la manera en la cual quiere implementar esta tecnología, la cual brinda diferentes modos de funcionamiento.

## **1.2 Fundamentación teórica**

### **1.2.1 Sistemas digitales.**

“El término digital se deriva de la forma en que las computadoras realizan las operaciones contando dígitos. Durante muchos años, las aplicaciones de la electrónica digital se limitaron a los sistemas informáticos. Sin embargo hoy día, la tecnología digital tiene aplicación en diferentes áreas además de la informática. Aplicaciones como la televisión, los sistemas de comunicaciones, de radar, sistemas de navegación y guiado, sistemas militares, instrumentación médica, control de

procesos industriales y electrónica de consumo, usan todos ellos técnicas digitales” (Floyd, 2006, p. 3).

TOMASI (2003) explica que un Sistema Digital es aquel que utiliza circuitos electrónicos para la transmisión, recepción y procesamiento de informaciones digitales (discretas), tales como los números codificados en sistema binario, los códigos alfanuméricos y los códigos de operación de microprocesadores. Y que además está comprendido por tres secciones principales: una fuente, un destino y un medio de transmisión. También se Incluyen como Sistemas Digitales a aquellos en los que hay portadoras analógicas de frecuencia relativamente alta, que se modulan mediante señales de información digital de relativamente baja frecuencia, y a los sistemas que manejan la transmisión de pulsos digitales.

Un excelente ejemplo donde se emplean sistemas digitales es la Radio Digital. “La radio digital es la transmisión de portadoras analógicas moduladas digitalmente entre dos o más puntos de un sistema de comunicaciones. Los sistemas digitales de transmisión requieren una instalación física entre el transmisor y el receptor, como un par de hilos metálicos, un cable coaxial o un cable de fibra óptica. En los sistemas digitales de radio, el medio de transmisión podría ser el espacio libre, la atmósfera terrestre o una instalación física, como un cable metálico o de fibra óptica” (TOMASI, 2003, pág. 468).

## Ventajas y desventajas de los sistemas digitales

COUCH (2008) explica las principales ventajas y desventajas de los sistemas digitales, entre las ventajas están:

- Se pueden utilizar circuitos digitales relativamente económicos.
- Se mantiene la privacidad mediante el uso de datos encriptados.
- Es posible obtener un mayor rango dinámico (la diferencia entre el valor más grande y el más pequeño).
- Los datos de fuentes de voz y video pueden unirse y ser transmitidos sobre un sistema digital común de transmisión.
- El ruido no se acumula de repetidor a repetidor en sistemas de larga distancia.
- Los errores detectados en los datos pueden ser pocos, aun cuando exista una gran cantidad de ruido en la señal recibida.
- Los errores pueden a menudo corregirse mediante el uso de codificación.

Una desventaja para los sistemas digitales es que requiere sincronización.

Como podemos ver las ventajas de los sistemas digitales de comunicación comúnmente exceden sus desventajas, por lo que se están volviendo dominantes.

Previamente abarcamos de manera generalizada los detalles más relevantes sobre los Sistemas de comunicaciones Digitales, a continuación nos centraremos en los estándares Digitales que se emplean en la Radio Digital.

### **1.2.2 Modulación COFDM**

El multiplexado por división de frecuencia ortogonal (OFDM) es una forma de modulación con múltiples portadoras la cual ha cobrado importancia en cuanto a su implementación a finales de los 80s debido a los avances tecnológicos en áreas tales como el procesamiento de señales digitales y circuitos integrados a grandes escalas, haciendo factible la implementación de OFDM, como se cita en (Vega, 2004, pág. 1).

Según explica Vega (2004), OFDM es una técnica de modulación de banda ancha que utiliza múltiples portadoras ortogonales, cada portadora es modulada en fase y amplitud. Si se adiciona codificación de canal para detección y corrección de errores junto con OFDM, entonces, recibe el nombre de COFDM (multiplexado por división de frecuencia ortogonal codificado).



tiempo donde por un intervalo de tiempo determinado cada señal ocupa todo el ancho de banda del canal de comunicación.

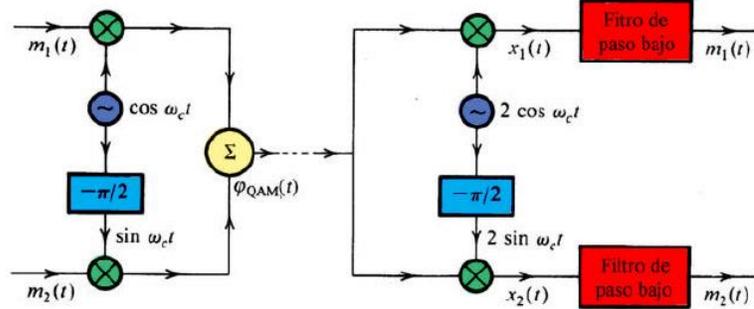
“El multiplexado en frecuencia puede utilizarse tanto con señales analógicas como digitales, en tanto que el multiplexado en tiempo se utiliza principalmente para señales digitales. En el multiplexado en tiempo, cada señal modula a una portadora diferente y la separación entre portadoras es, aunque no necesariamente, regular” (Vega, 2004, p. 2)

### 1.2.4 Modulación Ortogonal

De acuerdo con Vega (2004) dos señales son ortogonales en un intervalo  $[t_1, t_2]$  cuando con la condición siguiente:

$$\int_{t_2}^{t_1} f(t)g(t)dt = 0 \quad (1)$$

Cuando dos señales son ortogonales, ambas pueden utilizar el mismo ancho de banda sin interferir una señal con la otra. La modulación en cuadratura de fase de dos señales es un ejemplo básico el cual se muestra en la figura 2, a continuación:



**Figura 2.** Modulación en cuadratura de fase.

Fuente: Elaboración propia.

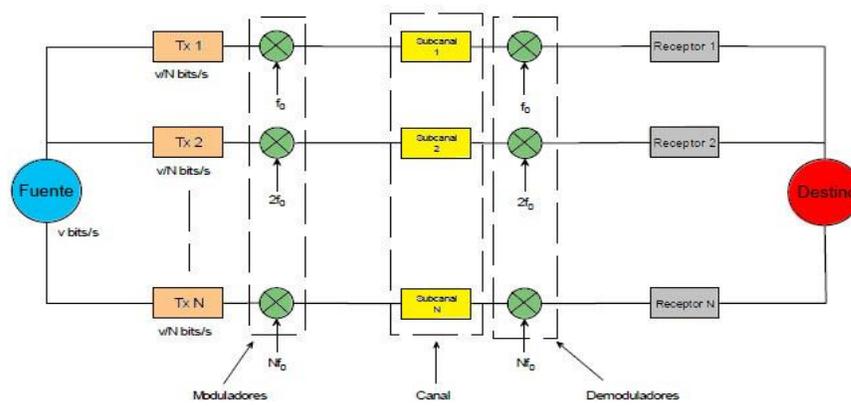
En la figura 2 podemos ver el modulador del lado izquierdo y del lado derecho el demodulador, las señales moduladoras que contienen la información  $m_1(t)$  y  $m_2(t)$ . Donde la primera señal modula una portadora de frecuencia angular  $\omega_c(\cos \omega_c t)$  mientras que la segunda modula a otra portadora a la misma frecuencia que la primera señal, pero desfasada a  $90^\circ(\sin \omega_c t)$ . De acuerdo con el autor citado anteriormente, las dos señales son sumadas produciendo una señal de dos bandas laterales en cuadraturas de fase, que puede expresarse como:

$$\phi_{QAM} = m_1(t) \cos \omega_c t + m_2(t) \sin \omega_c t \quad (2)$$

Si, por simplicidad en el análisis, se supone que  $m_1(t)$  y  $m_2(t)$  son ondas puras de forma:

$$\begin{aligned} m_1(t) &= A \cos \omega_{m_1} t \\ m_2(t) &= A \cos \omega_{m_2} t \end{aligned} \quad (3)$$

La señal resultante tiene dos bandas laterales, en cada una de las cuales están contenidas, a su vez las dos señales en banda base. Estas dos señales pueden recuperarse en el receptor mediante un detector o demodulador síncrono, como se muestra en la parte derecha de la figura 3 a continuación:



**Figura 3.** Modulador y demodulador en FMD.

Fuente: Elaboración propia.

La salida del mezclador de la parte superior de la figura 2,  $x_1(t)$  está dada por:

$$\begin{aligned}
 x_1(t) &= 2\phi QAM(t) \cos \omega_c t \\
 &= 2[m_1(t) \cos \omega_c t + m_2(t) s en \omega_c t] \cos \omega_c t \\
 &= m_1(t) + m_1(t) \cos 2\omega_c t + m_2(t) 2s en \omega_c t
 \end{aligned} \tag{4}$$

De acuerdo con Vega los dos últimos términos desaparecen después de que la señal para por el filtrado de paso bajo, dejando solo la señal deseada a la salida,  $m_1$

(t). A este sistema de modulación en cuadratura de fase o multiplexado en cuadratura se le conoce como QAM (Quadrature Amplitude Modulation). Vega en 2004 concluye que es posible transmitir dos señales del mismo ancho de banda base  $B$ , por un canal de ancho de banda  $2B$ , como una única señal de doble banda lateral, sin portadora, multiplexada o modulada en cuadratura.

Cabe destacar que la modulación en Cuadratura al igual que otros esquemas de modulación con portadoras suprimida, implanta fuertes requisitos en cuanto a la reinserción local en el receptor. De lo contrario errores en la fase o frecuencia de la portadora que se reinserta en el receptor, da como resultado distorsión e interferencias así como pérdidas de la señal.

### **1.2.5 Interferencia por efectos multicaminos (Multipath Fading)**

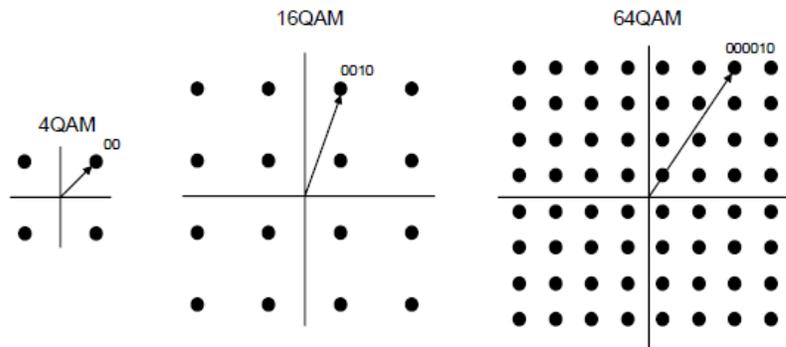
En los sistemas de comunicaciones digitales la interferencia por efectos multicaminos se resume en interferencia entre símbolos y como resultado se obtiene la destrucción de la información. Vega (2004) plantea que en una señal portadora modulada digitalmente por símbolos consecutivos donde cada uno tiene una longitud  $N$  bits y duración  $T_s$  y que la misma señal sufre los efectos de multicaminos resultando que una llega retrasada respecto a la otra al receptor. Este retraso da lugar a que en el receptor este presente el símbolo  $n$  durante el periodo de integración o modulación, simultáneamente con porciones de los símbolos cuarto



### 1.2.6 Constelaciones básicas

Para que sea posible la modulación OFDM los datos de entrada se mapean en símbolos OFDM, lo que indica que cada una de las subportadoras se modulan de manera individual. La modulación utilizada puede ser de diferente tipo, pero en el sistema de HD Radio bajo el estándar IBOC las constelaciones empleadas pueden ser: 64-QAM, 16-QAM, QPSK, BPSK dependiendo del modo en que se emplee el Sistema. Como es mostrado en la figura 5.

De acuerdo con Vega (2006) dependiendo de la constelación empleada, cada subportadora transportara 2, 4 u 8 bits de información. Cada punto de la constelación se puede representar mediante un número complejo. Así, la primera etapa del proceso de modulación OFDM es el mapear los grupos de 2, 4 u 8 bits en las componentes real e imaginaria que corresponden al número complejo en la constelación. También aclara el autor citado anterior mente que cada constelación tiene una robustez respecto a la relación C/N mínima que tolera para la correcta demodulación y que estos números complejos corresponden a una representación en el dominio de la frecuencia y para trasladarlo al dominio del tiempo es necesario aplicar la transformada de Fourier. Dejando claro que el mapeo del flujo binario de entrada en símbolos complejos de la constelación y su transformada inversa de Fourier, conforman la primera parte del proceso de modulación mediante el multiplexado por división de frecuencia ortogonal.

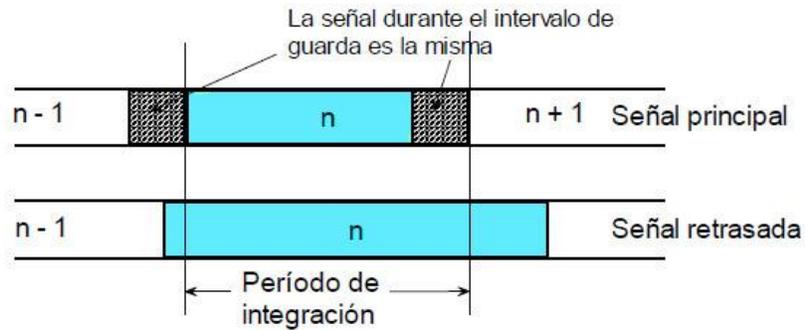


**Figura 5.** Constelaciones básicas, 4QAM, 16QAM Y 64QAM.

Fuente: (Vega, 2004).

## 1.2.7 Intervalo de Guarda

Las subportadoras están moduladas por señales que están representadas por número complejos, que varían de un símbolo a otro. Si el periodo de integración en el receptor se extiende lo suficiente habrá ISI sobre la subportadora correspondiente al símbolo que pretende integrar dicho receptor, además habrá interferencias entre subportadoras resultando así, la destrucción de la señal. Por lo expuesto anteriormente se emplea un intervalo de guarda. Como es mostrado en la figura 6 a continuación.



**Figura 6.** Intervalo de guarda empleado en OFDM.

Fuente: Elaboración propia.

“La duración del símbolo se aumenta de modo que exceda el período de integración del receptor,  $T_u$ , de modo que también es la señal modulada completa. Todas las subportadoras son cíclicas durante  $T_u$ , de modo que también lo es la señal modulada completa. Por ello, el segmento que se añade al inicio del símbolo para formar el intervalo de guarda, es idéntico al segmento de la misma longitud al final del símbolo. En tanto que el retardo sufrido por la señal a lo largo de cualquier trayecto, con respecto al trayecto más corto sea menor que el intervalo de guarda, todas las componentes de la señal durante el período de integración proceden del mismo símbolo y se satisface así la condición de ortogonalidad. La interferencia entre símbolos o entre portadoras ocurrirá solamente cuando el retardo relativo exceda la duración del intervalo de guarda” (Vega, 2004, p. 7)

La duración del intervalo de guarda se elige de acuerdo al retardo esperado en el medio particular de propagación en que se lleva a cabo la comunicación. De acuerdo con Vega, en entornos tales como el interior de un edificio o construcciones,

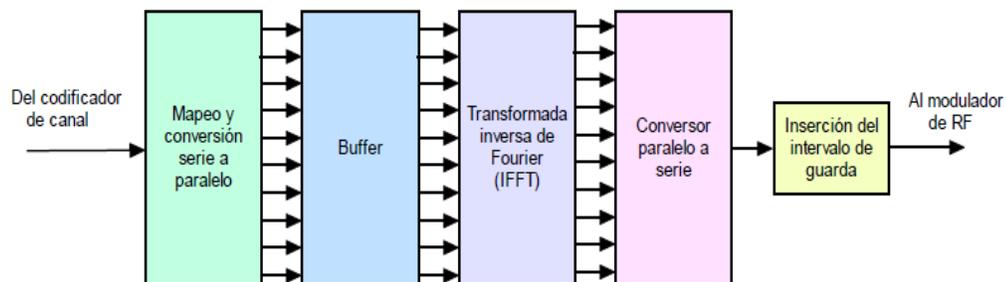
la dispersión de retardo puede llegar a unas decenas de nanosegundos, mientras que en entornos exteriores donde la distancias son relativamente grandes, la dispersión de retardo puede alcanzar los 50  $\mu$ s o más.

Cabe destacar que mientras mayor sea el intervalo de guarda menor será la interferencia causada por los efectos de multitrayectorias. También es importante tener en cuenta que los efectos de multitrayectoria ya descritos y que no son controlables, existen otras causas que pueden hacer perder la ortogonalidad y causar interferencias entre portadoras. Estas causas pueden ser, las desviaciones de frecuencias o de fase en el oscilador del receptor, ruidos de fase en el mismo y variaciones de la las frecuencias de muestreo. Mediante el diseño adecuado estos efectos pueden ser controlados.

### **1.2.8 Modulador y demodulador OFDM**

El proceso de modulación y demodulación OFDM consiste en un flujo binario continuo, este proceso puede ser descrito como sigue a continuación: Primero el flujo binario continuo se segmenta en símbolos, dependiendo del tipo de constelación a utilizar, obteniendo así un mapa de símbolos representados por números complejos, los cuales corresponden a la representación de la señal en el dominio de la frecuencia. Si se van a modular N subportadoras simultáneamente, la primera operación debe ser la conversión del flujo binario de entrada en serie, en un flujo de coeficientes complejos en paralelo. El siguiente paso es realizar la

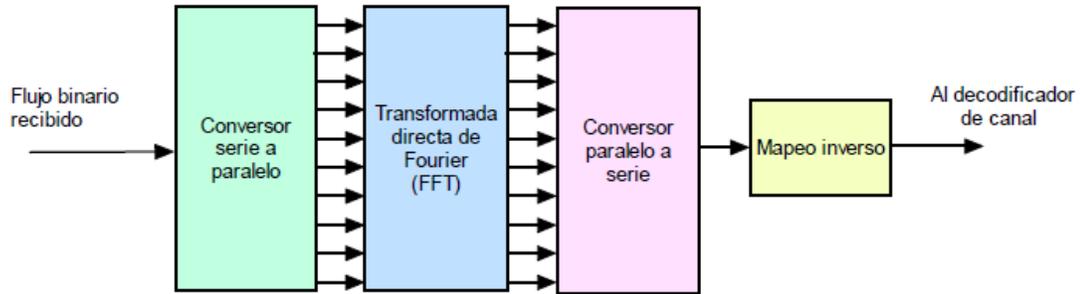
transformada inversa de Fourier sobre esos N coeficientes para obtener una señal en el dominio del tiempo y, como la señal de entrada al transmisor debe ser un flujo binario en serie, es necesario convertir nuevamente la señal, ahora transformada y en paralelo, a una señal en serie.



**Figura 7.** Diagrama de bloques para un modulador OFDM.

Fuente: (Vega, 2004)

Si se incluye el codificador de donde proviene la señal de entrada pues podemos llamar al diagrama de bloques modulador COFDM, a la salida del modulador se inserta el intervalo de guarda lo que permite que el receptor ignore las señales rechazadas para evitar el efecto causado por multitrayectorias. A continuación podemos observar el proceso inverso realizado por el demodulador cuyo diagrama en bloques es presentado en la figura 8.



**Figura 8.** Demodulador OFDM.

Fuente: (Vega, 2004)

### 1.2.9 Modulación Jerárquica

Los sistemas de transmisión digitales terrestres sufren de un efecto de degradación abrupto de la señal en el límite del área de servicio en que la señal se degrada por completo, contrario a los sistemas análogos quienes sufren degradación de la señal más suave. Para solucionar este problema en los sistemas digitales se emplea la modulación jerárquica o de multirresolución, donde dos flujos de datos modulan a un flujo único DVB. Uno de los flujos de datos se denomina de baja prioridad y corresponde a las zonas más cercanas del transmisor, mientras que el flujo de alta prioridad se le designa a las zonas más alejadas del transmisor. El flujo de alta prioridad esta modulado con pocos elementos de constelación tal como QPSK. Mientras que el de baja prioridad puede ser 64QAM.

La recepción de mayor calidad puede obtenerse cuando se puede decodificar bien el flujo de baja prioridad y mayor resolución, mientras que en áreas más lejanas el

receptor solo puede resolver los datos de mayor prioridad debido a la pobre recepción. Pero dentro de condiciones aceptables.

### **1.2.10 Redes SFN (Single Frequency Network)**

Akhtar Ali Jabani, de la universidad de Gottingen, en su doctorado escolar explica que las redes SFN (Single Frequency Network) permiten realizar una red o arreglo de varios transmisores FM y AM los cuales transmiten la misma señal simultáneamente bajo el mismo canal de frecuencias para la cobertura de una zona geográfica.

Los beneficios más relevantes al utilizar redes SFN se detallan a continuación, mediante la combinación de varios transmisores simultáneamente permiten conseguir mayor cobertura de la zona geográfica, eficiencia de la utilización del radio espectro, menor potencia requerida, facilita la cobertura en zonas remotas, además las redes SFN pueden ser implementadas con redes de disfunción y FM tanto analógicas como digitales. Mientras que algunas de sus desventajas son: se requiere la sincronización de los transmisores para evitar ruidos e interferencias debido a las señales que llegan en diferentes tiempos al receptor desde las torres de transmisión, la red no puede ser dividida.

Una red de (SFN) consiste en un arreglo de distintos transmisores que emiten la misma señal en el mismo canal de frecuencia haciendo que una red de estaciones

que utilicen la misma frecuencia para transmitir la misma información, Una red de frecuencia única es un medio para ampliar el área de cobertura sin el uso de frecuencias adicionales. Las redes SFN son de gran uso para el broadcast, el SFN se basa en el uso de COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing). El multiplexado por división de frecuencia ortogonal codificada) es una forma de modulación que es particularmente bien adaptado a las necesidades de la radiodifusión de canales terrestre. COFDM puede hacer frente a los altos niveles de propagación Multi-trayectos (Multipath reception), manejando amplios retrasos entre las señales de propagación recibidas. Este concepto conduce al diseño de redes de frecuencia única (SFN) en el que muchos transmisores envían la misma señal en la misma frecuencia, generando multitrayecto artificial. El COFDM tiene la ventaja de que es un sistema muy robusto frente a la recepción de una señal.

### **1.2.11 Breve historia de la Radio Digital**

Todo empezó con el estándar DAB, (Digital Audio Broadcasting), radiodifusión de audio digital, sus inicios se remontan en los años 80 en Europa, cuando la compañía Norwegian Broadcastin Corporation (NRK) Lanzaron al aire el primer canal de radiodifusión de audio digital en el mundo el 1 de junio de 1995, luego otras compañías como la British Broadcasting Corporation (BBC) y la S veriges Radio (SR) empezaron a lanzar sus primeras pruebas de radio digital en septiembre del mismo año.

La creciente necesidad de desarrollar un sistema digital de radiodifusión hizo que diversas empresas a finales del siglo XX y en los inicios del siglo XXI, se lanzarán a la búsqueda de un sistema que pudiera ser útil y rentable basándose en distintas filosofías de creación. Mientras que Europa iniciaba sus estudios mediante el proyecto Eureka 147, tratando de ganar calidad, Estados Unidos, mediante la empresa iBiquity Digital Corporation, buscaba un sistema muy adaptativo que permitiera un cambio gradual de los receptores, donde surge el IBOC.

### **1.2.12 La Radio Digital en la Republica Dominicana**

En la Republica Dominicana contamos en la actualidad con dos estaciones de radio implementando transmisión digital. La Voz del Yuna 1670 KHz en Bonao en la banda AM. Adicionalmente, Radio Raíces transmite en los 102.9 MHz en Santo Domingo y 95.1MHz en Santiago. Esta última, estación radiodifusora perteneciente a la Fundación Eduardo León Jiménez la cual transmite en frecuencia modulada las 24 horas brindando una programación cultural y variada, desde músicas y programas especiales hasta entrevistas y programas interactivos con una transmisión en vivo desde la ciudad de Santiago.

Cabe destacar que, Raíces también cubre a través de transmisiones análogas la región Este incluyendo las provincias Samaná y Sánchez Ramírez en el Norte Y todo el Sur Oeste del país. En la región norte cubre 15 provincias mediante la frecuencia 95.1 MHz.

Según explica Raíces (2015), Raíces utiliza el sistema de radio digital HD Radio bajo el estándar IBOC, por su capacidad de permitir transmisiones simultáneas de señales análogas junto a las digitales a diferencia de otros sistemas digitales.

Las difusiones radiales de Raíces llega a los oyentes tanto de manera análoga como digitales, todo esto mediante transmisores sintonizados en las frecuencias de 102.9 MHz y 95.1 MHz. Las señales análogas son recibidas por los usuarios de la manera habitual mientras que las señales digitales requieren de la adquisición de un receptor especial. Cada una de las frecuencias de Raíces transporta cuatro señales diferentes:

1. La señal analógica con la programación habitual.
2. El canal HD1 con la misma programación pero en formato digital.
3. El canal HD2 que ofrece una programación distinta.
4. El canal HD3 para ofrecer otra programación diferente a los canales anteriores.

Lo anterior nos muestra primeramente que bajo la misma frecuencia Raíces puede disponer de tres programaciones, dos programaciones digitales con variedad distintas, más una programación que también llegara al oyente de la forma análoga habitual así como también en forma digital.

### **1.2.13 Primer foro internacional de la radio digital en la República Dominicana.**

En un boletín electrónico (García, Organización de los Estados Americanos, 2007) informa que el primer foro internacional de la radio digital en la República Dominicana fue celebrado los días 13 al 14 de junio del 2007, mediante el auspicio del INDOTEL. Este foro fue el primero realizado dentro de este tópico y el primero que auspicia un órgano regulador en toda la región. Cuyo objetivo principal, fue dar a conocer los avances de la Radio digital, la situación actual de la radio análoga y la implementación de esta tecnología en distintos países.

También se dieron a conocer el desarrollo en el mercado latinoamericano y el interés de esta tecnología de radio digital, conceptos para una adecuada instalación de la radio digital, además de los retos y desafíos que conlleva la implementación de la radio digital para los radiodifusores dominicanos y Latinoamérica.

Durante el transcurso del foro celebrado se realizaron importantes conferencias y demostraciones en vivo de transmisiones digitales. Todo esto expuesto por expertos de la industria entre ellos el presidente de la Asociación Dominicana de Radiodifusoras (ADORA), Roberto Vargas, el representante de la Asociación de Radiodifusores de Brasil, Ronald Barbosa, además la presencia del presidente de Regulatel y de la Comisión Nacional de Comunicaciones de Argentina (CNC),

Ceferino Namuncurá y la asistencia de autoridades internacionales y la participación masiva de todos los radiodifusores dominicanos.

La celebración de este foro sirvió de punto de inicio dando los primeros pasos para introducir la tecnología de la radio digital a los radiodifusores dominicanos, quedando bajo responsabilidad de los mismos continuar con el proceso de conocer la nueva tecnología y su implementación.

#### **1.2.14 Avances de la radiodifusión sonora digital en la República Dominicana**

En un boletín electrónico (Garcia, Organización de los Estados Americanos, 2009) informa que dentro de los esfuerzos sobre radiodifusión sonora digital terrenal que realiza la administración Dominicana se encuentran varios foros internacionales, iniciados desde el año 2005 con el fin de conocer los avances sobre la Radio digital y su implementación en los diferentes países de la Región.

El día 26 de junio del 2009, fue celebrado un encuentro con todo el sector de Radiodifusión para presentar los avances de los trabajos de la comisión de estudio, encargada de evaluar y recomendar un estándar que sea de la mejor conveniencia a la administración Dominicana.

En el foro fueron presentados varios trabajos sobre la Radio Digital incluyendo los estudios realizados por Brasil y el estándar de IBOC (In-Band On-Channel) de iBiquity.

Actualmente está en prueba una estación de radio en la banda de Frecuencia Modulada (FM) con la tecnología IBOC. Hasta el momento no se ha reportado ningún tipo de interferencias perjudiciales a otras estaciones u otros servicios de telecomunicaciones. La estación experimental desde sus inicios tiene una programación de música clásica e instrumental en la parte análoga. Para principios del año 2010 la administración Dominicana espera tener lista su decisión sobre el estándar para radiodifusión sonora digital a adoptar.

### **1.2.15 Estándares para la Radio Digital**

Hasta la actualidad los estándares principales de transmisión para la radio digital abarcan los siguientes:

- Digital Audio Broadcasting (DAB).
- Digital Radio Mondiale (DRM).
- In-Band On-Channel (IBOC).

### 1.2.15.1 Digital Audio Broadcasting (DAB)

El estándar DAB (Digital Audio Broadcasting) originalmente fue desarrollado por primera vez a finales de la década de los 1980s, basada en la codificación MPEG Audio Layer II, aun utilizada en la actualidad en la radiodifusión. Desde entonces MPEG Audio Layer III, mejor conocido como MP3 ha conquistado el mercado de los reproductores digitales. Aunque sigue siendo la tecnología de más éxito en el mercado, el MP3 ha sido superado en cuanto a eficiencia y rendimiento por el MPEG-4 (AAC). Tal integración del AAC en el estándar DAB mantiene la misma calidad de audio pero con mayor eficiencia permitiendo disminuir el número de bits transmitido o procesado por unidad de tiempo (Bit-Rate). De ahí el nacimiento del DAB+, familia del estándar DAB. (WorldDAB, 2015)

Según explica WorldDAB (2015) otra importante innovación fue la adición de capacidad para video y multimedia para la radiodifusión digital permitiendo que el estándar DAB convertirse en una plataforma de televisión móvil digital DMB (Digital Multimedia Broadcasting) además de una plataforma de radio digital multimedia. Tanto para DMB como para DAB+ la base técnica permanece igual que para el DAB, dicho de otra manera, los layers físicos permanecen siendo los mismo, solo se emplean nuevas aplicaciones, nuevos protocolos de transporte y se añadió un segundo layer de codificación para el control de errores. Por consiguiente las tres tecnologías se pueden utilizar una junto a la otra en un multiplexor y básicamente usar la misma infraestructura.

“La característica principal de este sistema, que pasa a ser también su mayor inconveniente, es que se utilizan frecuencias distintas a las actuales. Con la implementación del nuevo sistema, en Europa no se volverán a sintonizar radios en los antiguos diales de AM y FM. El nuevo rango de frecuencias es: 174 MHz a los 240 MHz (en banda III) y entre 1452 MHz y 1492 MHz (en banda L). Frente a esta desventaja, el DAB supera a todos sus competidores en cuanto a calidad, ofreciendo mayor nitidez en la señal y más inmunidad a las interferencias” (Gago, 2015).

#### **1.2.15.1.2 Beneficios del estándar DAB**

La implementación de la radio digital mediante el estándar ADB permite obtener diversos beneficios tanto para los consumidores finales así como también los organismos de radiodifusores, según nos explica WorldDAB (2015), los más destacados a continuación:

Para los consumidores:

- Radio visual interactiva.
- Tráfico e información del recorrido mejorado.
- Configuración y ajustes fáciles.
- Calidad de audio mejorada.

- Mayor variedad de estaciones disponibles.

Para los organismos radiodifusores:

- Ahorro a largo plazo en término de redes y transmisión.
- Oportunidades de ofrecer diversos contenidos.
- Bajo costo por estaciones.
- Permite ofrecer mayor variedad para los radioescuchas.
- Asegura y garantiza el espectro para los radiodifusores.

### **1.2.15.2 Digital Radio Mondiale (DMR)**

#### **1.2.15.2.1 Historia de la Radio Digital Mondiale (DMR)**

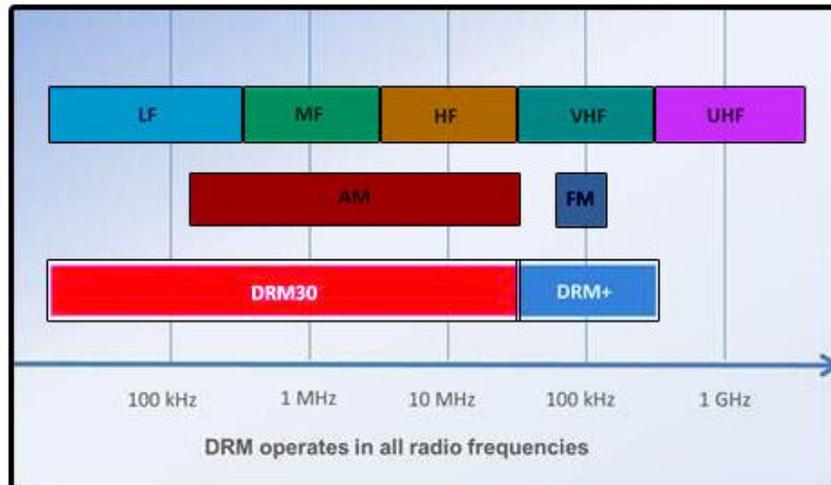
El consorcio DMR (Digital Radio Mondiale) es una organización internacional sin fines de lucro compuesta por radiodifusores, proveedores de red, fabricantes de transmisores y receptores, universidades, sindicatos de radiodifusores e institutos de investigación, cuyo objetivo es apoyar y difundir un sistema de radiodifusión digital adecuado para su uso en todas las bandas de frecuencias hasta la banda VHF III. Actualmente hay más de 100 miembros y partidarios de 39 países activos dentro del consorcio.

DMR fue formado en Guangzhou, China en 1997. Inicialmente con el objetivo de digitalizar la banda de radiodifusión AM por encima de los 30MHz (onda larga, mediana y corta). Las especificaciones del sistema DMR para radiodifusión por debajo de los 30MHz (DMR30) fue publicado por primera vez por ETSI en el 2001. Posteriormente, se emitieron una serie de normas de apoyo auxiliares, incluyendo una distribución y comunicación de protocolos. En el 2005 se decidió extender el sistema DMR para incorporar modos de operación diseñados en las bandas de difusión VHF.

#### **1.2.15.2.2 Radio Digital DMR.**

Consortium(2015) explica que la Digital Radio Mondiale (DMR) es un estándar para la Radio Digital la cual ha sido diseñada por organismos de radio difusión para emplearse en la radio difusión digital, todo esto se logró con la participación y asistencia de fabricantes tanto de transmisores como receptores y otras partes interesadas tales como los organismos reguladores.

El estándar DMR ha sido diseñado para reemplazar la radiodifusión análoga actual en las bandas de AM y FM/VHF por la transmisión digital de alta calidad que ofrece el DMR considerando que se puede operar dentro en los mismos canales y espectro empleados en la actualidad. A continuación se muestra en la figura 9 las bandas de frecuencias en las que opera el estándar DMR:



**Figura 9.** Bandas de frecuencias de operación para el estándar DMR.

Fuente: (Consortium, 2015)

El estándar DMR funciona en diferentes modos los cuales pueden ser ampliamente divididos en dos grupos:

**DRM30:** A este grupo pertenecen los modos que están específicamente diseñados para utilizar las bandas de radiodifusión AM por debajo de los 30MHz.

**DRM30+:** A este grupo pertenecen los modos que utilizan el espectro desde los 30MHz a 300MHz, basados en las bandas de radiodifusión FM II.

### 1.2.15.2.3 Principales características del sistema DMR:

El sistema de radiodifusión DMR está diseñado específicamente para permitir la coexistencia entre las transmisiones digitales con las emisiones analógicas actuales, lo que asegura compatibilidad digital con las emisiones analógicas. Esto

permite que el cambio de la radiodifusión analógica a digital no sea radical y pueda extenderse a lo largo de un periodo de tiempo permitiendo así que las emisoras existentes puedan contar con el presupuesto para realizar las inversiones requeridas.

Además como ningún otro sistema digital el DMR ha sido diseñado para permitir que los transmisores análogos puedan ser modificados para cambiar fácilmente entre las emisiones digitales y la radiodifusión análoga. Esto puede inicialmente reducir el costo de inversión para los radiodifusores. Otro beneficio adicional en cuanto presupuesto es la reducción de los costos de energía de transmisión.

El DMR le saca provecho a las propiedades de propagación únicas de las bandas de AM. La introducción de los servicios del DMR30 permite a un locutor ofrecer a los oyentes un servicio mejorado significativamente en la calidad de audio y confiabilidad del mismo. Como resultado, las emisoras internacionales pueden proveer servicios en SW y MW los cuales son comparables a los servicios locales de FM, mientras que la mejora de la experiencia del oyente puede ser ajustada fácilmente y los servicios de datos agregados. Las emisoras nacionales y locales LF y MF obtendrán beneficios similares.

En las bandas de VHF, el DMR+ se puede configurar para usar menos espectro que las emisiones de FM actuales, además ofrece mayor robustez, potencia de transmisión reducida, aumento de la cobertura y servicios adicionales.

Cabe destacar que el DMR es única en el suministro de un extenso y potente arsenal de herramientas que provee de modos de funcionamiento y técnicas, lo cual permite a los organismos de radiodifusores adaptar el sistema para satisfacer mejor las necesidades de su mercado en particular. El DMR permite la selección independiente de parámetros de modulación para permitir un equilibrio óptimo entre la capacidad y la señal.

El DMR también es compatible con redes de múltiples frecuencias (MFN) y redes de frecuencia única (SFN) así como al traspaso (hand-over) a otras frecuencias así como también soporta redes ASF (Automatic Frequency Checking & Switching). Esta última característica permite a los organismos de radiodifusión que operan en varias plataformas entregar al oyente de DRM a AM, FM o DAB y viceversa. La señalización adecuada es soportada de intrínsecamente por DMR y DAB Y por el soporte de datos en AM y FM (AMSS y RDS respectivamente).

Es de destacar entre los diversos servicios de datos el DMR Electronic Programme Guide (EPG) el cual permite a los oyentes con el apropiado receptor acceder al programa de difusión, configurar grabación en tiempo real, y journal aplicación de datos que permite acompañar el programa de audio con informaciones de textos interactivos.

Otra característica es que el DMR puede alertar la mayor cantidad de audiencia posible en caso de posibles desastres a través de su base EWF (Emergency Warning Feature), permitiendo servir como último recurso cuando toda la infraestructura local está fuera de operación, cubriendo así las zonas afectadas con señales de radios desde el exterior. En caso de emergencia los receptores DRM están clasificados para cambiar y presentar el programa de emergencia el cual también es capaz de activarse automáticamente. Este programa de emergencia combina el contenido de audio, mensaje de texto DMR y puede incluir texto journal con información detallada en varios idiomas en paralelo.

El DMR actualmente se está operando a niveles de potencia desde unos pocos vatios en 26 MHz hasta varios cientos de Kilovatios de onda larga. Esto es posible al utilizar técnicas estándar para proveer cobertura que va desde internacional, nacional (1000 Km) hasta la radio para la comunidad local con 1km de radio.

### 1.2.15.2.4 Beneficios de la Radio Digital (DRM):

A continuación se muestran los beneficios que proporciona la implementación del estándar DRM en la tabla 1:

**Tabla 1.** *Beneficios del estándar DRM.*

*Fuente: (Consortium, 2015)*

<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Excelente calidad de sonido en estéreo DRM30, calidad de CD en DRM+.</li><li>▪ Datos tales como texto, imágenes y Journales.</li><li>▪ Fácil de sintonizar las estaciones.</li></ul>	<b>Oyentes</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Reemplazar los receptores con nuevos receptores digitales.</li><li>▪ Aumentar el potencial de mercado.</li><li>▪ Aumenta las posibilidades para nuevas áreas de interés y contenido.</li></ul>	<b>Fabricantes</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Programas de multilinguaje son posibles más informaciones extras.</li><li>▪ Reduce el consumo de potencia de hasta 40-50%</li><li>▪ Incrementa la generación oportuna para la de ingresos.</li></ul>	<b>Radio difusores</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Se utiliza menos espectro y el espectro liberado puede utilizarse en otros usos.</li><li>▪ Estándar internacional.</li><li>▪ Bajos costos de energía, radiodifusión de bajo consumo.</li><li>▪ Alerta de advertencia para emergencias.</li></ul>	<b>Reguladores</b>

### **1.2.15.3 In-Band On-Channel (IBOC)**

#### **1.2.15.3.1 Orígenes de la Radio Digital HD bajo el estándar IBOC**

Desde los inicios de la década de los 90s, la revolución digital se colocó en marcha firmemente, inicio marcado por el éxito del disco compacto. Comprendiendo la necesidad de la radio por mantener el ritmo del rápido crecimiento y evolución en este ambiente. CBS, Gannett, y Westinghouse formaron USA Digital Radio en 1991 con el propósito de explorar oportunidades para la radio digital AM y FM.

Tras varios años de pruebas y desarrollo, el método In-Band On-Channel (IBOC) de radiodifusión fue completado para permitir que las señales de radio digitales viajen junto con las señales de radio análogas del momento. IBOC continúa siendo principio subyacente bajo la tecnología de la radio HD Digital actual. Alrededor de 1998 con el respaldo de 15 de los grupos de radiodifusión más importantes del país USA Digital Radio fue constituida como una compañía independiente.

Dos años más tardes, USA Digital Radio obtuvo \$40 millones en fondos adicionales de socios estratégicos y empresas de capitales de riesgos. Finalmente la empresa de fusión con Lucent Radio Digital en el 2000, formando así iBiquity Digital Corporation. Cuyo objetivo principal es impulsar la adopción masiva de la tecnología HD Radio™ por parte de los consumidores en los estados unidos y otros países del mundo.

### ***1.2.15.3.3 HD Radio Alrededor del mundo.***

HD Radio está siendo probada y adoptada en diferentes países a través del mundo, esto es debido a su capacidad para ofrecer servicios de sonido digital de alta calidad a su vez utilizando el espectro ya existente.

En la actualidad, hay más estaciones de radiodifusión con la tecnología HD Radio bajo el estándar IBOC alrededor del mundo que ningún otro estándar de radiodifusión digital, según explica iBiquity(2015) más de 625,000 horas de HD Radio son transmitidas cada semana. La implementación exitosa de la tecnología HD Radio ha dado lugar al interés de los radiodifusores en todo el mundo. El estándar IBOC para la HD Radio es el estándar oficial de radio digital en México, las Filipinas, Panamá y los Estados Unidos. En Rumania estaciones de radios han adoptado HD Radio como sistema de radiodifusión digital alternativo. Y se han realizado expansiones en modos de prueba en Canadá, Brasil, Noruega, China, Vietnam y otros países.

### ***1.2.15.3.2 HD Radio bajo el estándar IBOC en la actualidad***

Desde sus inicios en 1919, la tecnología HD Radio creada por iBiquity Digital Corporation, trae la radio AM y FM digital a la actualidad ofreciendo diferentes servicios. Esta tecnología permite reutilizar las ondas de radio empleadas en la radiodifusión análoga AM y FM y colocar las señales de radio digitales dentro de las mismas, permitiendo así, brindar los nuevos canales de audio FM con calidad de audio superior y servicios de datos inalámbricos desde cualquier estación de radio para el público.

Actualmente el sistema HD Radio bajo el estándar In-Band On-Channel (IBOC) es el único sistema para radio digital FM y AM aprobado por la FCC, lo que permite realizar transmisiones digitales de extremo a extremo en cualquier lugar, dentro del espectro ya existente para la radiodifusión análoga, así como también la transmisión continua hacia los receptores análogos antiguos.

### ***1.2.15.3.4 Características Básicas de HD Radio:***

- Difusión simultánea de las señales análogas y digitales dentro del mismo canal.
- Utiliza las frecuencias actuales, permitiendo la utilización de los transmisores actuales.

- Alta calidad de audio, para la HD Radio AM similar a la calidad FM análoga, mientras que para la HD Radio digital FM similar al Disco Compacto.
- Capacidad para la transmisión de servicios de datos y audio.
- Calidad de la señal de radio en recepción similar a Fm.
- Eficiencia del uso del espectro radioeléctrico.

Consultar en Anexos la Tabla 17 donde se comparan los dos estándares digitales más utilizados.

#### **1.2.15.3.5 Servicios soportados**

Los principales servicios soportados por el sistema abarcan los siguientes:

- **Main Program Service (MPS).** Se refiere al programa de audio, tanto análogo como digital. Incluye una determinada capacidad de datos para transmitir información relacionada con el programa (PSD).
- **Supplemental Program Service (PSD).** Corresponde a programas complementarios de audio. Incluye una determinada capacidad de datos para transmitir información relacionada con el programa (PSD).

- **Station Identification Service (SIS).** Se refiere a la transmisión de datos necesarios para el control e identificación de la estación. Lo cual facilita al usuario la selección de la estación de radio y sus servicios soportados estos pueden ser: nombre, localización, identificador, entre otros.
  
- **Servicios Avanzados de Datos. (ADS).** Corresponde a la transmisión de datos auxiliares para aplicaciones específicas relacionadas o no con los programas de audio.

#### **1.2.15.3.6 Proceso de funcionamiento del HD Radio Digital.**

Funciona de la misma forma que los transmisores analógicos tradicionales, con la excepción de que el audio transmitido está en formato digital y la transmisión se realiza mediante flujos continuos de datos digitales, además de la señal de forma analógica. El proceso de funcionamiento se muestra simplificado a continuación en 4 procedimientos:

1. Primero la estación de radio integra las señales de audio análogas y digitales lo cual también incluye datos textuales, tales como informaciones sobre artistas y temas de la canción, estado del tiempo y más.
2. Posteriormente la señal digital pasa por un proceso de compresión.
3. Luego es transmitida la señal digital y análoga combinada.

4. Finalmente los receptores de HD radio reorganizan las señales recibidas para evitar interferencias por múltiples trayectorias, silbidos, y desvanecimiento de la señal.

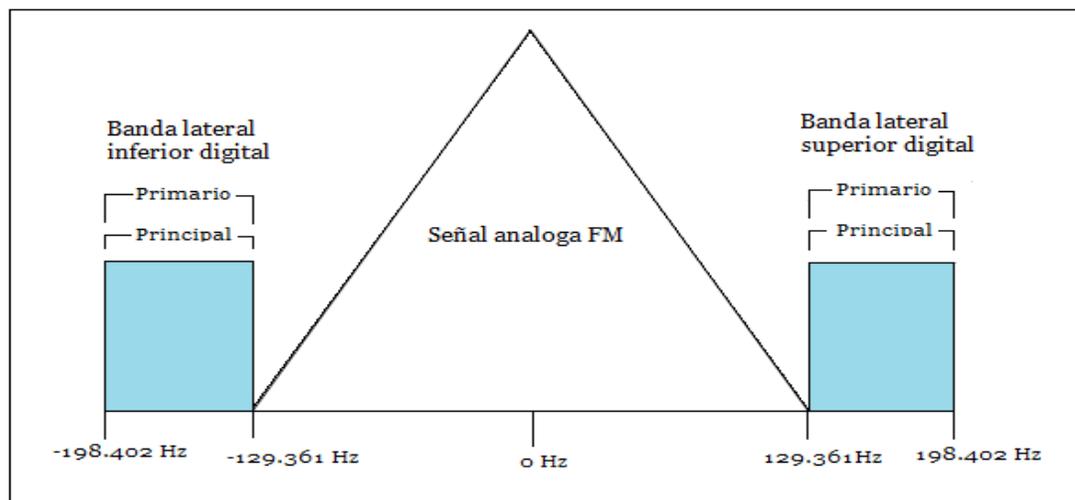
La señal recibida es compatible con los receptores análogos y digitales para HD Radio.

#### ***1.2.15.3.7 Modos de funcionamiento***

En un reporte (Amo, 2006) explica que el sistema IBOC FM puede funcionar en tres modos: híbrido, híbrido ampliado y totalmente híbrido los cuales se detallan a continuación.

## Modo híbrido

En el modo híbrido la señal digital se transmite en bandas laterales primarias a ambos lados de la señal analógica. La señal digital es reducida en amplitud respecto a la señal analógica como se muestra en la Figura 10 a continuación. El modo híbrido permite que desde el periodo de introducción del sistema hasta completar la transición del sistema análogo al digital, sea posible la recepción del programa tanto por los nuevos receptores digitales como con los receptores convencionales de modulación de frecuencia. En este modo de funcionamiento la señal analógica es retardada respecto a la señal digital con el fin de que ambas señales estén sincronizadas, esto es porque el receptor conmuta a la recepción analógica cuando se produce porcentajes elevados de bit erróneos de la señal digital. Sirviendo así la señal analógica de respaldo de la señal digital.



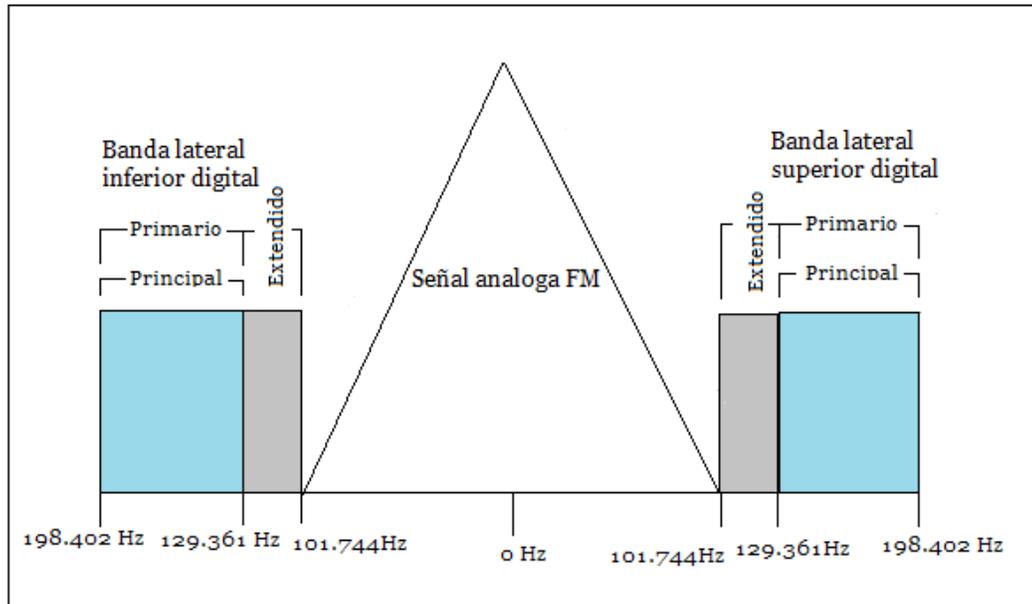
**Figura 10.** Distribución de señales en IBOC modo híbrido.

*Fuente: Elaboración propia.*

## **Modo hibrido ampliado**

En este modo la señal digital es transmitida en bandas laterales a ambos lados de la señal analógica, como se muestra en la figura 11.

La señal digital es reducida en amplitud respecto a la señal analógica y las bandas laterales son ampliadas hacia la señal analógica para aumentar la capacidad digital. El modo hibrido ampliado también permite la recepción del programa tanto para los receptores digitales como para los receptores convencionales de modulación de frecuencia. al igual que el sistema hibrido, también la señal analógica es retardada respecto a la señal digital con el objetivo de que exista sincronización entre ambas señales, lo que permite que el receptor conmute a la señal analógica cuando se produce porcentajes elevados de bit erróneos de la señal digital. Este modo extendido al incrementar el ancho de banda de la señal digital disminuye el ancho de banda de la señal analógica.

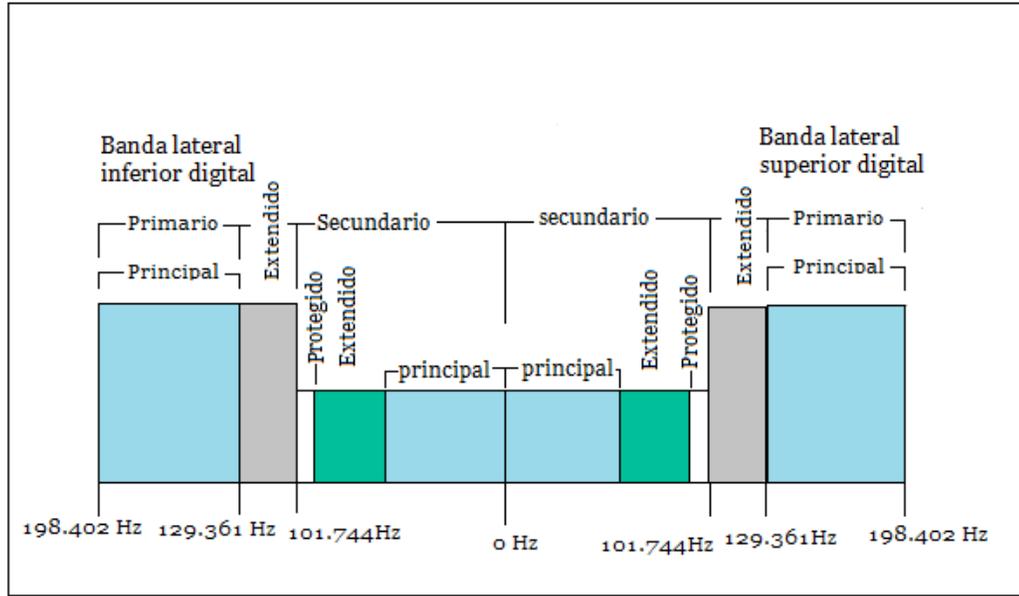


**Figura 11.** Distribución de las señales en modo híbrido ampliado.

Fuente: Elaboración propia.

## Modo totalmente digital

En este modo se transmite exclusivamente las señales digitales permitiendo el modo de funcionamiento óptimo. La principal diferencia entre ambos sistemas es que en el modo totalmente digital la señal análoga se suprime, mayor potencia y se transmiten bandas laterales secundarias en el espectro de frecuencias que ocupaba la señal análoga en los modos anteriores.



**Figura 12.** Modo totalmente digital.

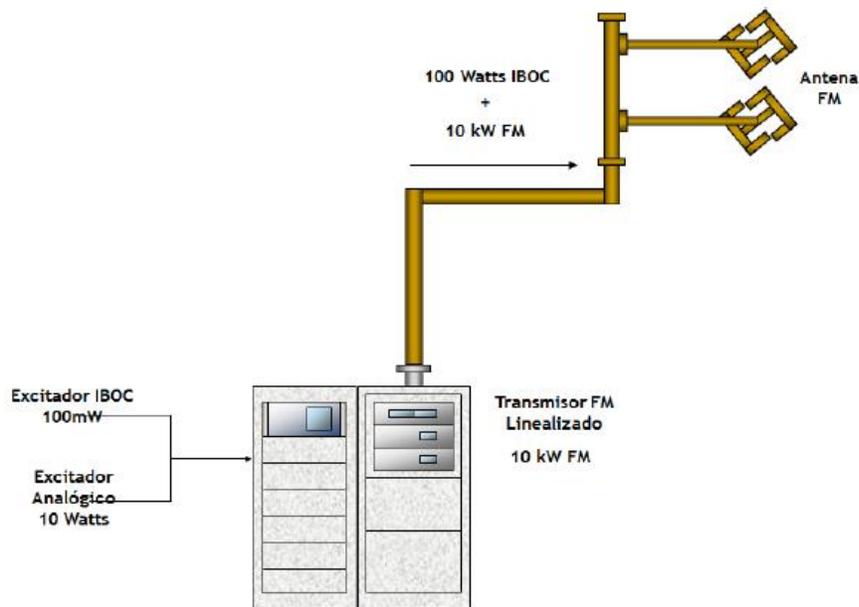
Fuente: Elaboración propia.

### 1.2.15.3.8 Configuraciones para la transmisión de señal IBOC híbrida

Para transmitir una señal IBOC híbrida hay varios métodos de transmisión, y cada uno tiene ventajas y desventajas. Debido a esto, el método de transmisión debe ser el que mejor se adapte a la configuración de los equipos y su operación existente al realizar la transición a la transmisión digital de HD Radio. De acuerdo con Digital (2013) las arquitecturas de transmisión de cada método están detalladas a continuación:

## Combinación en Bajo Nivel.

La combinación en bajo nivel (amplificación común), tanto las señales análogas y las digitales están generadas al mismo tiempo mediante un excitador digital. Luego esta señal análoga/digital híbrida es amplificada por un amplificador de potencia extremadamente lineal especialmente diseñado para proveer linealidad y características de retardo de grupo requeridos para la transmisión digital, posteriormente la señal es expulsada al aire por una sola antena.



**Figura 13.** Arquitectura de la combinación de bajo nivel.

Fuente: (Digital, 2013)

El amplificador ya mencionado utiliza la topografía tipo clase A o clase AB por lo cual la eficiencia de operación es menor y la potencia consumida es más alta en comparación con un amplificado clase C trabajando con una potencia análoga equivalente. No obstante la arquitectura de bajo nivel es el método más sencillo y eficiente de producir una señal análoga/digital híbrida.

El uso de amplificación de bajo nivel requiere la compra de un transmisor nuevo que sea capaz de operar en el dominio digital y análogo. Aunque en algunos casos un transmisor análogo moderno puede ser convertido para la operación digital.

### **Ventajas de la arquitectura de bajo nivel**

- La instalación es menos compleja y ocupa menos espacio en la caseta del transmisor.
- El uso de una sola antena ofrece cobertura digital más uniforme que con el uso de dos antenas separadas.

## **Ventajas de la arquitectura de bajo nivel**

- Dado que esta arquitectura emplea un solo transmisor para operar la señal analógica y digital, en caso de fallos se recomienda la instalación de otro transmisor de emergencias capaz de operar en el modo analógico.
- La eficiencia más mínima del amplificador de potencia requiere mayor consumo de energía eléctrica y la disipación de mayores niveles de calor.

Se recomienda utilizar la amplificación de bajo nivel si la emisora piensa operar en niveles de potencia elevadas de -14 a -10 dBc, cuando el transmisor actual es viejo y debe ser reemplazado en poco tiempo, cuando no hay espacio disponible para más equipos en la caseta, no hay espacio disponible en la torre para colocar otra antena adicional. Cuando se cuenta con buena capacidad de reserva de energía eléctrica y enfriamiento en la planta.

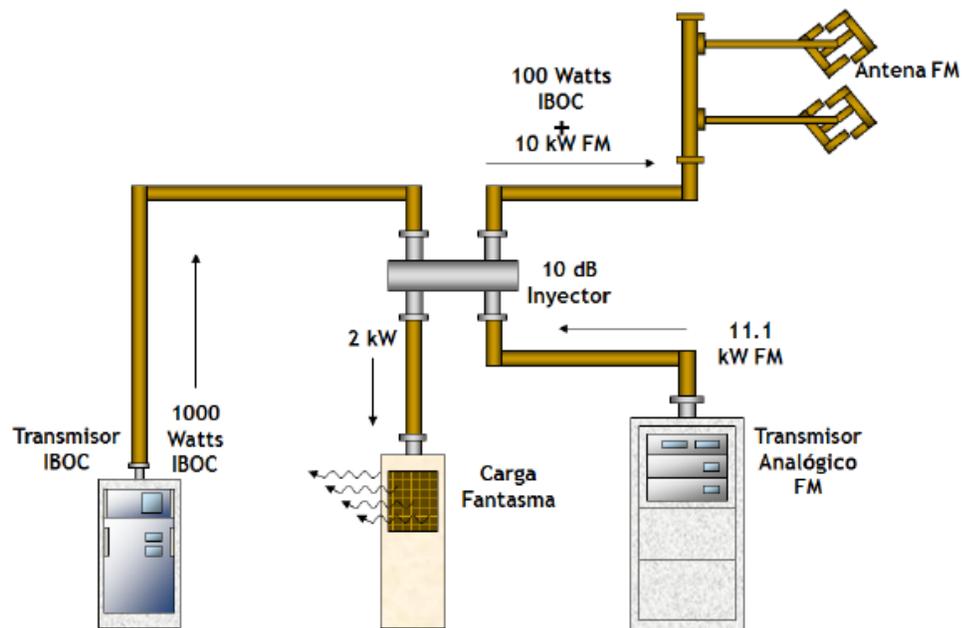
## **Combinación en Alto Nivel**

La arquitectura de combinación en alto nivel utiliza dos transmisores distintos para crear la señal híbrida. Un transmisor crea la señal analógica, este puede ser el transmisor actual de la emisora, mientras que el segundo transmisor de media

potencia produce la señal digital. Las salidas de ambos transmisores están combinadas para así alimentar una sola antena de transmisión FM.

La combinación en alto nivel era usada en las primeras instalaciones de radio digital en los estados unidos pero en la actualidad es menos usada debido a su menor eficiencia y disponibilidad de soluciones nuevas.

El método más usado de la combinación en alto nivel es de usar un combinador RF tipo híbrido de 10dB. Para esta clase de combinador, el 90% de la potencia análoga es entregada a la antena y el 10% restante es disipado en una carga de rechazo. Por otra parte, el 10% de la potencia del transmisor digital es transmitida, mientras que el 90% es disipado en la carga.



**Figura 14.** Arquitectura de la combinación en alto nivel.

Fuente: (Digital, 2013)

## **Ventajas de la combinación de alto nivel.**

- En muchos casos las emisoras pueden continuar usando los transmisores que ya tiene en uso.
- Utiliza una sola antena de transmisión lo que ofrece una cobertura más uniforme que usando dos antenas distintas.
- Al utilizar dos transmisores diferentes, en caso de fallos del transmisor digital no quedara fuera de servicio la emisora análoga, mientras que si falla el transmisor análogo, el transmisor digital puede ser configurado como un transmisor análogo o hibrido de baja potencia.

## **Desventajas de la combinación de alto nivel.**

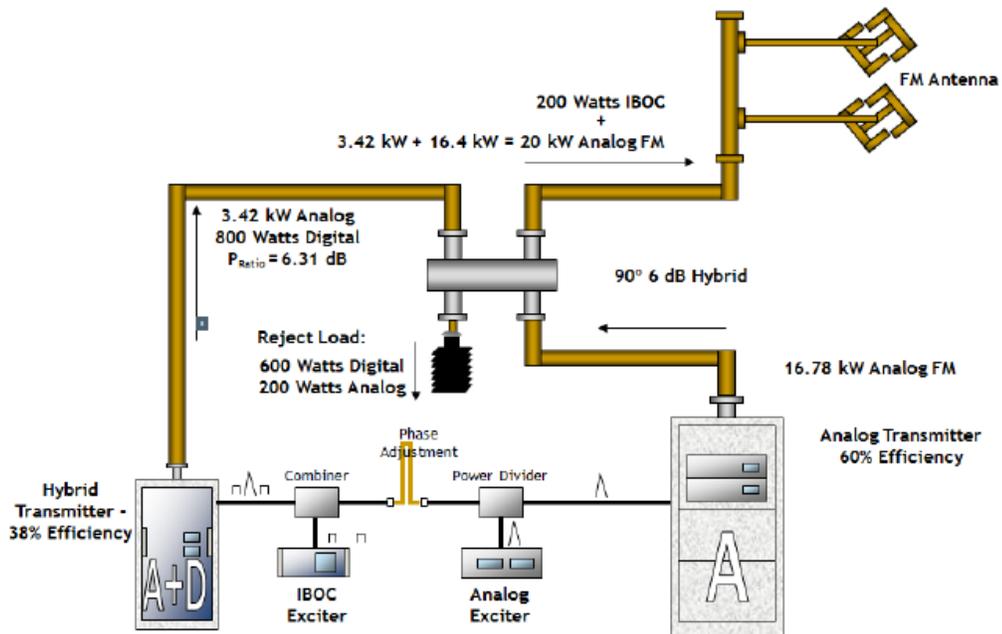
- La instalación es técnicamente más compleja.
- Es necesario la compra de un transmisor digital de más alta potencia, lo que implica un mayor costo.
- La instalación del segundo transmisor (digital) requiere espacio incluyendo el combinador y su carga.
- Es indispensable disipar el calor generado tanto del transmisor digital como la carga de rechazo, lo que implica más capacidad para enfriamiento.

- La combinación de alto nivel no puede ser usada en niveles de potencia aproximados a -18dBc, debido a los límites de aislamiento entre los transmisores.

Es recomendable utilizar la arquitectura de alto nivel si la emisora no piensa operar nunca en niveles de potencia elevados arriba de -18dBc y el transmisor actual aún le queda muchos años de vida útil y además cuenta con por lo menos 10% de potencia de su capacidad de uso reservada. Si la torre no tiene espacio para agregar una antena digital separada, existe espacio en la caseta para agregar el nuevo transmisor, combinador y carga de rechazo y además se cuenta con servicio de energía y enfriamiento de reserva.

### **Combinación en Medio Nivel (“Split-Level”)**

La combinación de medio nivel es semejante a la combinación en alto nivel en que las salidas de dos transmisores están combinadas para crear la señal híbrida IBOC. No obstante, en esta arquitectura se combina un transmisor análogo con un transmisor híbrido (análogo + digital). Donde cada transmisor contribuye con una porción de la señal análoga mientras uno de los transmisores genera toda la señal digital. En adición se utiliza un combinador híbrido con una relación de combinación de 3 a 6 Db.



**Figura 15.** Arquitectura de la combinación en alto nivel.

Fuente: (Digital, 2013)

### **Ventajas de la combinación en medio nivel:**

- Le eficiencia de consume de energía total puede ser hasta 10% mayor en la combinación de alto nivel.
- La emisora puede usar su transmisor análogo existente como uno de los dos transmisores necesarios, además no es necesario que el transmisor análogo suministre 10% o más potencia adicional.
- Se pierde menor potencia en la carga que en la combinación de alto nivel.
- Utiliza una sola antena de transmisión lo que ofrece una cobertura más uniforme que usando dos antenas distintas.

- Al utilizar dos transmisores diferentes, en caso de fallos del transmisor digital no quedara fuera de servicio la emisora análoga, mientras que si falla el transmisor análogo, el transmisor digital puede ser configurado como un transmisor análogo o hibrido de media potencia.

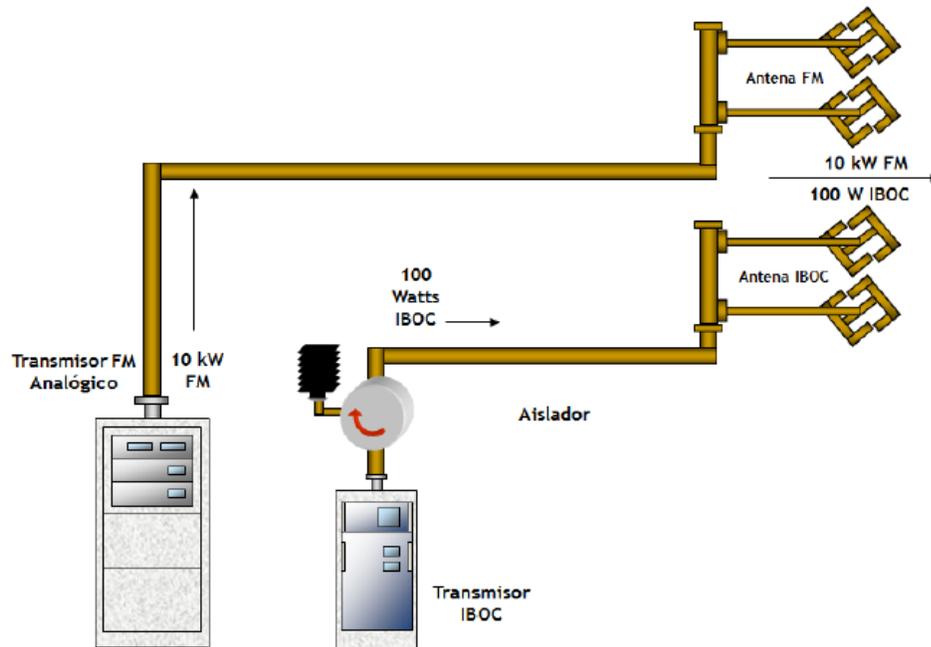
### **Desventajas de la combinación en medio nivel:**

- La instalación es más compleja, debido a que utiliza dos excitadores operando en combinación con ajustes de fase entre los mismos.
- El sistema requiere de más ajustes durante su operación normal. También es necesario realizar ajustes de potencia y de fase.
- No se puede usar la combinación de medio nivel por encima de -16dBc debido al asilamiento requerido entre los transmisores.
- La instalación del segundo transmisor (digital) requiere espacio incluyendo el combinador y su carga.
- Es recomendable utilizar la combinación en medio nivel si la emisora tiene un transmisor que todavía tiene muchos años de vida útil y no tiene la capacidad de reserva de 10% que se requiere para la arquitectura de alto nivel. Si la torre no tiene espacio suficiente para colocar dos antenas separadas o no se quiere emplear el uso de dos antenas, si nunca se piensa operar por arriba de niveles de -16 dBc. Cuando hay espacio disponible en la caseta para agregar el segundo transmisor, combinador y carga de

rechazo y además se cuenta con servicio de energía y enfriamiento de reserva.

### **Combinación Espacial (Antenas Separadas).**

Esta arquitectura es utilizada con frecuencia para la generación de la señal FM híbrida HD Radio. Igual que en el caso de la combinación en alto nivel, el transmisor existente continúa generando la señal análoga convencional mientras otro transmisor digital crea las bandas laterales digitales, en cambio en vez de usar un combinador para unir las dos señales para luego lanzar la señal mediante una sola antena, se utilizan dos antenas separadas para lanzar los dos componentes de la señal. En realidad se trata de dos sistemas de transmisión independientes donde la combinación de la señal análoga y digital tiene lugar en el espacio libre.



**Figura 16.** Arquitectura de la combinación espacial.

Fuente: (Digital, 2013)

### **Ventajas de la combinación espacial:**

- La emisora puede continuar el uso de su transmisión análogo existente, sin ninguna modificación y el mismo no requiere de potencia de reserva adicional.
- Es un sistema de transmisión sin pérdidas, por lo cual no es necesario que el transmisor digital adquirido tenga capacidad de potencia extra para reserva porque la potencia RF del transmisor digital es toda transmitida y no se pierde energía en cargas o combinadores.

- La mayor eficiencia del sistema de transmisión resulta en menor consumo de energía eléctrica y la eficiencia del sistema de transmisión análoga no es reducida.
- Se puede utilizar un transmisor digital con antenas de baja potencia, resultando en un menor costo en equipos y una instalación más sencilla.
- Se puede operar con potencias elevadas hasta -10dBc, teniendo en cuenta el aislamiento adecuado entre los dos sistemas de antenas.
- Al realizar ajustes y reparaciones en el sistema digital no afecta la operación del sistema análogo, dado que dos sistemas completamente aislados ofreciendo así la mayor redundancia, en adición si el sistema análogo falla el sistema digital puede ser convertida en análogo o híbrida, sirviendo como sistema de reserva de baja potencia.

### **Desventajas de la combinación espacial:**

- Según lo explicado por iBiquity (2013) los patrones de radiación de las dos antenas pueden ser muy diferentes, tanto en el plano horizontal como vertical. El resultado puede ser una cobertura digital irregular, causando la mala recepción digital en algunas áreas. Aún peor, en algunos lugares la señal digital hasta pueda interferir con la señal analógica propia de la emisora.
- No es posible medir la máscara espectral directamente con una muestra desde el cable coaxial, como es el procedimiento en los otros sistemas de transmisión, porque la señal híbrida combinada nada más existe en el espacio libre. La medición de la señal del aire no es posible porque falta la precisión necesaria. Entonces es necesario tomar muestras separadas desde los cables coaxiales análogos y digital y combinarlos eléctricamente con mucha precisión para crear una vista compuesta de la señal híbrida en el analizador de espectro. (Digital, 2013, pág. 17)

#### **1.2.15.3.9 Recomendaciones al utilizar la arquitectura de combinación espacial:**

Se recomienda utilizar la combinación espacial, cuando un costo de implementación mínimo es más importante que la mejor cobertura digital. Cuando la emisora tiene

un transmisor que todavía le restan muchos años de vida y el mismo no tiene capacidad de reserva de 10% para otras combinaciones. Si la torre tiene espacio libre cerca a la antena FM actual para colocar una antena FM de baja potencia y la torre tenga la capacidad para soportar las antenas.

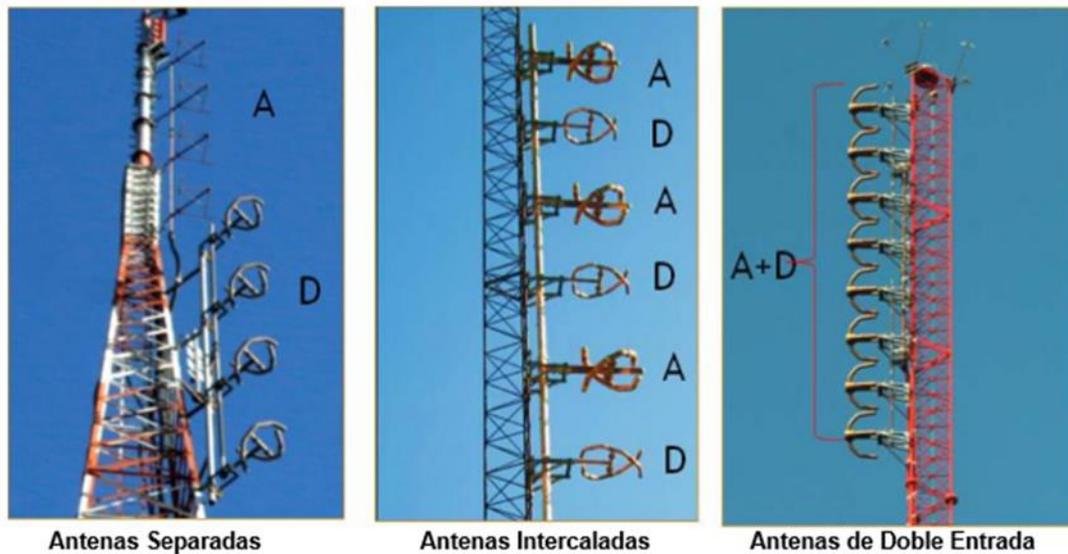
## **Variaciones en la Combinación Espacial**

Hoy en día existen varios sistemas de antenas especializadas que fueron desarrollados para permitir la combinación espacial utilizando una sola antena. Estas antenas tienen entradas separadas para los transmisores digital y análogo. En algunos diseños, utilizan elementos separados para transmitir las dos señales, y en otros casos ambas señales están transmitidas por todos los elementos. Se trata de una buena solución para emisoras que no tienen el espacio en sus torres para montar una segunda antena. Cada fabricante ofrece su propia solución única, y se debería comunicar directamente con ellos para mayor información.

## **Antenas de Entrada Doble**

Una antena de entrada doble tiene entradas de RF distintas para las señales análoga y digital. Se utilizan híbridos RF para combinar las dos señales en cada elemento, con el resultado que todos los elementos transmiten igualmente ambas señales. Ventajas: La entrega de patrones de cobertura idénticas para las señales análoga y digital, a pesar del uso de transmisores análogo y digital separados.

Desventajas: Las antenas de doble entrada pueden ser grandes, pesadas y costosas. Se recomienda contratar un estudio de ingeniería para verificar que la torre pueda soportar el peso de la antena y dos líneas de cable coaxial.



**Figura 17.** Antenas de combinación espacial.

Fuente: (Digital, 2013)

## **Antenas Intercaladas**

Una antena intercalada funciona igual que dos antenas separadas, excepto que los elementos digitales están montados entre los elementos análogos en intervalos de media longitud de onda. Esto da aislamiento parcial porque los elementos digitales están en los nulos de voltaje de los elementos análogos. Además utilizan la polarización circular opuesta para aumentar el aislamiento. Pero aún con eso,

todavía se requiere un aislador de ferrita en la salida del transmisor para garantizar el aislamiento adecuado entre los transmisores debido al acoplamiento estrecho de los elementos de las dos antenas.

Ventajas: Ofrece patrones de cobertura análoga y digital bastante uniformes, y cabe dentro del mismo espacio de la antena análoga existente. (Sin embargo, puede haber un elemento digital menos que los elementos análogos, en cuyo caso la ganancia es un poco menor.)

Desventajas: Puede ser que el aislamiento no sea lo suficiente para la operación en niveles de potencias elevadas, aún con el uso de un aislador de ferrita. Una antena existente no puede ser modificada para agregar elementos digitales intercalados, resultando en que la antena actual de la emisora tenga que ser remplazada.

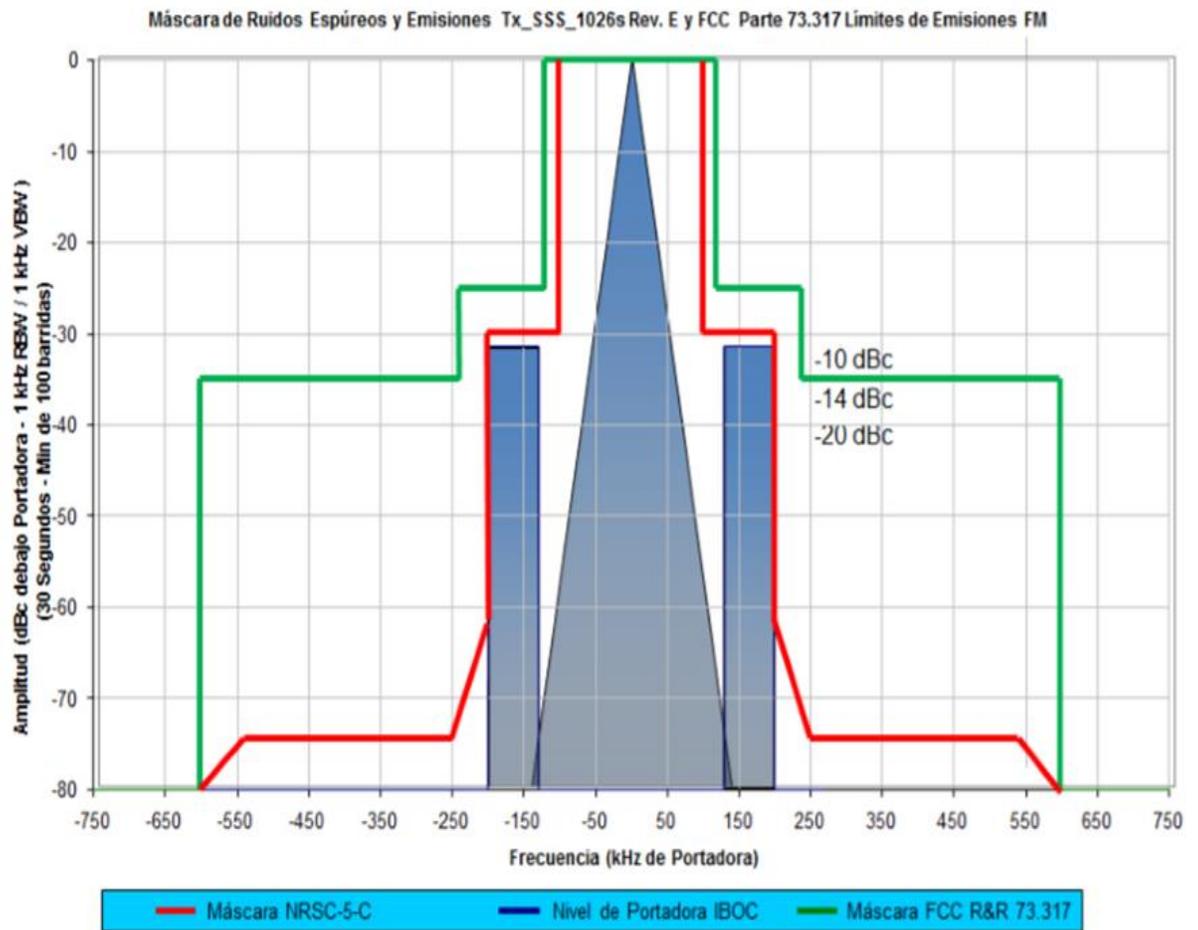
### **¿Cuánta Potencia Digital Se Necesita?**

Cuando el método de transmisión IBOC fue desarrollado por primera vez en los Estados Unidos, la Potencia Radiada Aparente (P.R.A.) de la señal digital para todas las emisoras FM fue fijada en 1% de la P.R.A análoga (-20 dBc) como una medida conservadora para proteger servicios existentes. Sin embargo, después de varios años de operaciones comerciales en miles de emisoras, se dieron cuenta que era posible aumentar la potencia de la mayoría de las emisoras sin causar un impacto significativo a los servicios análogos. Los niveles de potencias sobre -20

dBc ecualizan las áreas de cobertura entre señales digitales y análogas y también mejoran la penetración de señales digitales en edificios. Con la introducción de receptores portátiles y la creación de integrados para la recepción de HD Radio en teléfonos celulares, es cada vez más importante considerar la opción de aumentar la potencia digital (“Potencias Elevadas”).

Después de varios años de pruebas en laboratorio y el campo para determinar cuánto aumento de potencia digital fue posible sin causar interferencia a emisoras adyacentes o a la señal análoga de la emisora anfitriona, en 2010 la F.C.C. (Comisión Federal de Comunicaciones en los Estados Unidos) otorgó operaciones con hasta 4% de la potencia análoga (-14 dBc) para todas las emisoras utilizando el sistema IBOC.

Adicionalmente permitió para ciertas emisoras el incremento de la potencia digital hasta 10% de la potencia análoga (-10 dBc) siempre cuando ellas pudieran demostrar que no iban a causar interferencia a emisoras adyacentes. Desde esta decisión, la opción adicional de usar bandas laterales asimétricas (aumentos de potencia de nada más una banda lateral digital) también ha sido investigada.



**Figura 18.** Mascara de Ruidos Espúrios y Emisiones de la NRSC-5-C.

Fuente: (Digital, 2013).

Así que hoy en día, cuando una emisora FM esté considerando la instalación de equipos digitales HD Radio, una de las primeras preguntas a tratar es si la emisora va a operar en -20 dBc o en una potencia digital elevada. Si la emisora no escoge una potencia elevada desde el principio, ¿tiene sus planes de hacerlo en el futuro? Esto es importante porque va a determinar la capacidad de potencia máxima de los equipos que la emisora compra, y también puede limitar sus opciones en los

métodos de transmisión posibles. Aquí está un comparativo de las necesidades de equipos y las expectativas de cobertura para los tres niveles de potencias:

A. 20 dBc (1% de la P.R.A. análoga). Se requiere un transmisor menos potente en este nivel de potencia, así que el costo de implementación en general será más bajo. El uso de combinación en alto y medio nivel es posible en este nivel de potencia (más adelante la explicación). Sin embargo, la cobertura digital confiable de la emisora probablemente no va a ser igual a su cobertura análoga, y puede ser que la recepción dentro de edificios y con receptores portátiles no sea óptima.

B. -14 dBc (4% de la P.R.A. análoga). Muchos expertos consideran que este nivel de potencia da la mejor cobertura digital y al mismo tiempo minimice la posibilidad de causar interferencia. Se requiere un transmisor de media potencia, y no será posible utilizar algunas de las configuraciones de transmisión.

C. -10 dBc (10% de la P.R.A. análoga). Este nivel de potencia puede entregar cobertura digital excelente. Sin embargo, también aumenta la posibilidad de causar interferencia a emisoras débiles en canales adyacentes en algunos lugares. Además aumenta la posibilidad de causar interferencia a la señal análoga de la misma emisora anfitriona en receptores baratos en algunos áreas, especialmente si la emisora utilice el método de combinación espacial (vea más abajo). Tiene el costo de implementación más alto en la mayoría de los casos debido a su necesidad de un transmisor más potente.

D. Es importante mantener en cuenta que también es posible utilizar otros niveles de potencias entre estos tres valores, y que también existe la posibilidad de operar con bandas laterales asimétricas.

Los diferentes modos de transmisión híbrido disponibles se llaman MP1, MP2, MP3 y MP11, aunque la mayoría de los radiodifusores nada más usan los modos MP1 o MP3. Por regla general, una emisora que transmite un solo programa usará el modo MP1, mientras que las que transmiten canales de multiprogramación (HD2, HD3, etc.) pueden utilizar cualquier de los modos MP1 o MP3, dependiendo en el número de canales y la calidad de audio que se desea. Pero la operación con el modo extendido requerirá más potencia del transmisor, como se indica en las Tabla 2 y Tabla 3. Tome nota que las emisoras que utilicen el modo MP3 necesitan 20% más de potencia digital que las emisoras que utilicen el modo MP1.

**Tabla 2.** Potencia Adicional Requerida para los Modos Híbrido Extendidos.

Fuente: Elaboración propia.

Modo de Operación	dB debajo de la Portadora	Incremento en dB	Incremento en porcentaje
Modo MP1 Híbrido	-20 dBc	0 dB	0%
Modo MP2 Híbrido	-19.58	0.42 dB	10.2%
Modo MP3 Híbrido	-19.21	0.79 dB	20%
Modo MP4 Híbrido	-18.54	1.46 dB	40%

**Tabla 3.** *Potencia Digital Total, % de Potencia Análoga con Potencias Elevadas.*

Fuente: Elaboración propia.

Relación de potencia D/A Nominal	Modo MP1 Híbrido	Modo MP2 Híbrido	Modo MP3 Híbrido Extendido	Modo MP4 Híbrido Extendido
-20 dBc	1.00%	1.10%	1.20%	1.40%
-14 dBc	3.98%	4.38%	4.77%	5.57%
-10 dBc	10%	10.99%	11.99%	13.98%

## Importer y Exporter

Aunque la instalación digital entera, con todas sus variaciones, representa la mayor parte de su inversión cuando una emisora se convierte a la transmisión digital, la esencia de la tecnología de HD Radio se encuentra en apenas dos piezas de equipo el EXPORTER y el IMPORTER. Cada emisora que transmite una señal de HD Radio requiere un Exporter, y cada emisora que transmite la multiprogramación también requiere un Importer. Varios fabricantes de transmisores de radiodifusión han sido licenciados por iBiquity para fabricar estas dos unidades.

Pueden estar instalados en la planta o en los estudios y se interconectan en una variedad de maneras. La decisión de donde ubicar esas dos unidades va a definir el diseño y la configuración de la infraestructura entre los estudios y la planta. Como se explicó, el Importer es el equipo que genera los programas de multiprogramación (HD2, HD3, etc.). Acepta las entradas de audio para cada uno de esos canales en

el formato digital AES3, junto con los Datos del Servicio de Programa (PSD) asociados con cada uno de los programas. El Importer aplica el algoritmo de reducción de datos HDC a cada señal de audio para reducir su ancho de banda.

Adicionalmente integra los otros Servicios de Aplicaciones Avanzados (AAS), también conocido como “Datacasting. Finalmente todos los datos son combinados a una sola señal TCP/IP que sale para el Exporter.

El EXPORTER es el equipo que genera el componente digital de la señal de HD Radio. También a veces se llama el generador de señales o codificador digital. Recibe el audio de la programa HD1 en formato AES3, junto con los datos PSD asociados con ese programa. El Exporter aplica el algoritmo de reducción de datos HDC al audio del canal HD1. También puede demorar el audio FM análogo para sincronizarse con el audio digital HD1 (ver más abajo). Finalmente, acepta los datos de multiprogramación del Importer (cuando sea presente) y combina todos esos datos a una sola señal UDP de 300 kbps que se manda al excitador digital.

El EXCITADOR FM DIGITAL es el modulador y primer nivel de RF de bajo nivel del transmisor FM. En ese sentido, sirve la misma función de un excitador FM análoga convencional, excepto que la señal RF modulada está generada en el dominio digital con el Procesamiento de Señales Digital (DSP). Existen varios excitadores digitales capaces de la transmisión de HD Radio actualmente ofrecidos desde varios fabricantes de transmisores de radiodifusión. Estos excitadores están capaces de operar en las configuraciones de análogo-solamente, HD Radio-solamente (para la

combinación en alto nivel o combinación espacial) o FM+HD Radio (híbrido). De tal manera, no son limitados a la transmisión de HD Radio, y actualmente son utilizados por muchas emisoras que quieren lograr la mejor calidad posible en sus transmisiones análogas.

Cuando opere en la configuración análoga o híbrida, el excitador acepta el audio de la FM análoga directamente, como audio AES3 (44.1 kHz) o en los formatos análogos convencionales (izquierda/derecha o compuesto). Cuando sea utilizado en un transmisor de HD Radio, el excitador también cuenta con una tarjeta opcional que se llama el EXGINE. Esta tarjeta recibe la señal compleja de HD Radio desde el Exporter en forma de una señal de datos UDP, y está modulada en el excitador con la modulación OFDM (Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales) para crear la porción digital de la señal de HD Radio. Finalmente, el excitador genera la señal híbrido análoga/digital en la frecuencia de portadora de la emisora, para ser amplificado y transmitido.

La comunicación entre estos tres dispositivos –el Importer, Exporter y Excitador Digital – tiene lugar sobre una conexión Ethernet LAN. Cada uno de los tres equipos debe usar direcciones de IP fijas dentro de su propio sub red. Es importante separar este sub red de los demás redes en la emisora utilizando un VLAN o redes físicamente separadas. De otra manera, el tráfico de la oficina o programación puede interrumpir las transmisiones esenciales de la red. La única manera de asegurar que no haya datos no deseados en el enlace estudio-planta es de separar

el sistema de HD Radio entero y colocarlo en su propia sub red de IP. El excitador obviamente tiene que ubicarse en la planta de transmisión, pero se puede colocar el Importer y Exporter en la planta o en los estudios.

## **Evitando el Uso de la Compresión de Datos**

Por la misma razón que se debería evitar la compresión de datos en el enlace estudio-planta, también se debería evitarla en los estudios, especialmente en las fuentes de música. La transmisión de HD Radio utiliza un algoritmo de compresión propio, llamado HDC. Es por eso que el sistema está capaz de entregar una alta calidad de audio al oyente dentro de un solo canal FM. Sin embargo, es importante reconocer que el uso de cualquier otra compresión de datos en la cadena de audio puede causar una degradación de la calidad de audio percibida por el oyente.

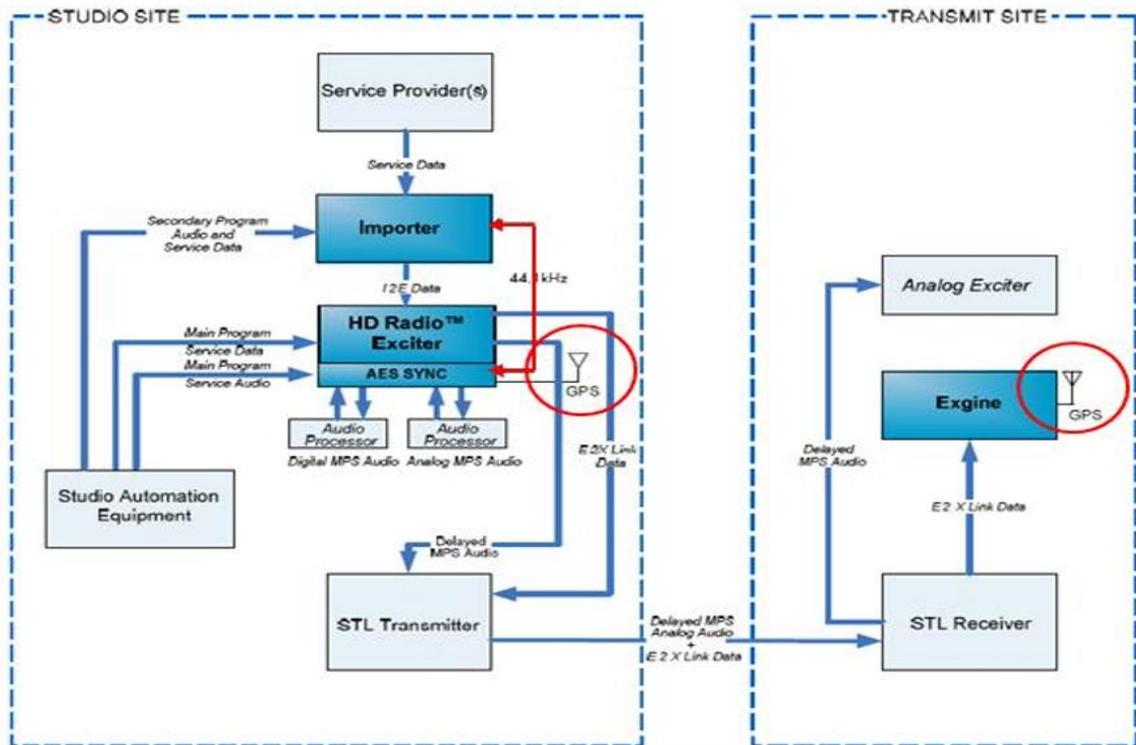
Esto es especialmente el caso cuando se utilice algoritmos de compresión diferentes en serie en la misma cadena de audio. Aunque pueda tener un sonido aceptable en las bocinas de monitor en el estudio, el mismo audio puede sufrir de distorsiones audibles después de pasar por la cadena de transmisión y ser oído en el receptor del oyente. Como resultado, cuando sea posible, los radiodifusores de HD Radio deberían evitar el uso de cualquier dispositivo en su sistema de audio que haga el uso de los algoritmos de compresión de datos (MPEG2, MP3, APTX, AAC, etc.).

Incluidos en esto son los dispositivos para la grabación, almacenamiento y reproducción de audio, sistemas de transmisión por control remoto, y sistemas de transporte de audio como los enlaces estudio-planta. Si el uso de la compresión de datos es inevitable, el algoritmo AAC (MP4) va a dar los mejores resultados cuando sea oído en una emisora de HD Radio. Además, los radiodifusores FM pueden tener resultados aceptables con el uso de la compresión de datos en fuentes de audio no tan críticos, como las comerciales de voz y transmisiones remotas.

En sus sistemas de almacenamiento y reproducción de audio computarizados, se recomienda que los radiodifusores graben su contenido de música como archivos lineales WAV, sin utilizar cualquier tipo de compresión. Si ellos actualmente utilizan formatos como MPEG2 o MP3, es recomendable grabar su contenido nuevamente, preferiblemente utilizando un programa "Ripper" desde el disco compacto original en una frecuencia de muestreo de 44.1 kHz o mayor. (Nota: La conversión a WAV en software de archivos ya comprimidos no restaurará la calidad ya perdida.) Los radiodifusores deberían consultar con los departamentos de servicio al cliente del proveedor de su sistema de audio para averiguar sus recomendaciones sobre la conversión de sus sistemas para operar con archivos WAV.

## La Sincronización de los Relojes AES

Los dispositivos de audio que mandan o reciben audio AES tienen que tomar referencia de un reloj maestro para sincronizar la frecuencia y fase de las señales de audio digital en todos los dispositivos en el mismo sistema. Si un equipo que recibe el audio no está sincronizado con su fuente, el buffer de memoria acumulará el error de muestro entre los dos relojes durante un periodo de horas o días. Pero eventualmente este buffer se llenará o se vaciará, causando un corte de audio al aire.



**Figura 19.** Sincronización de los Relojes AES.  
Fuente: (Digital, 2013)

Si todos los equipos de audio AES se encuentran en el mismo lugar, el asunto de la sincronización de los relojes se simplifica. Se puede usar la señal de reloj de cualquier equipo como referencia, distribuyendo esta señal a los demás equipos en el edificio. Muchos procesadores de audio y convertidores de frecuencia de muestreo tienen salidas de reloj que se puede usar de referencia, o se puede instalar un reloj maestro dedicado. La señal de reloj de este equipo se entrega a los demás dispositivos en el sistema con una conexión de cable coaxial de 75 ohm. Pero la sincronización de reloj se vuelve más complicada cuando algunos de los equipos se encuentren instalados en otro lugar, como el caso de una planta transmisora que está retirada del estudio.

En tal caso, es recomendable captar la frecuencia de reloj de 10 MHz transmitida por los satélites GPS y distribuirlo como una referencia común en cada lugar. Estos relojes son muy precisos, y tendrán la frecuencia y fase igual en cualquier lugar. De esta manera, el satélite GPS se convierte en el reloj maestro en todos los lugares. Es por eso que cada Exporter tiene un receptor GPS integrado que nada más requiere la conexión de una antena GPS externa para ponerlo en operación. En el otro lugar, se puede instalar un receptor GPS dedicado que tenga una salida de 10 MHz (Trimble "Thunderbolt E", ESE 110, Symmetricom 58540A o sus equivalentes). (Nota: Ciertos fabricantes ofrecen una solución alterna para este problema de la sincronización de relojes en lugares distintos. Ellos manejan la sincronización en los dos lados del enlace utilizando la misma señal de datos, así que no requiere un reloj de referencia externo.)

## Procesamiento de Audio

Existe una gran variedad de opciones para la ubicación y conexión de equipos de procesamiento de audio en una emisora FM. La mayoría de los radiodifusores ubican sus procesadores en el mismo lugar que el Importer y Exporter, estando en el estudio o la planta. Sin embargo, si el Importer y Exporter están en la planta, todavía existe la opción de colocar los procesadores en los estudios para que estén más accesibles para sus ajustes. Por regla general, el procesamiento de audio para la radiodifusión digital se hace diferente que para la transmisión análoga.

En la transmisión FM análoga, las funciones principales del procesador de audio son: Mantener un nivel de audio constante para el oyente. Subir el nivel de señal de audio promedio para superar el ruido ambiental de recepción. Una señal con mayor volumen enmascara el ruido de la recepción y multitrayectoria en el fondo. Limitar los picos para prevenir la sobre modulación de la señal FM. Aumentar la densidad e impacto de audio para compensar el sonido blando del FM análogo.

Frecuentemente se utiliza la limitación de picos para aumentar los niveles de modulación promedios, a veces resultando en un sonido pesado y “sobre procesado” que falta de rango dinámico y puede causar la fatiga para el oído del oyente. Este limitador opera después de la aplicación del preénfasis de 75 microsegundos que se utiliza en la transmisión FM análogo. El resultado es el recorte excesivo de las altas frecuencias. Adicionalmente, a veces se utiliza el

recorte de la señal estereofónica compuesta para aumentar la densidad de la señal sin sobre modularse. Pero este puede afectar la separación estereofónica en algunas frecuencias de audio. La transmisión FM análoga tiene un límite de frecuencias altas de 15 kHz. Por eso, la mayoría de los procesadores FM análogos limiten su respuesta de altas frecuencias en 15 kHz para concentrarse en la banda de frecuencias que va a ser transmitida.

Las funciones del procesamiento de audio en la radiodifusión digital son algo diferentes: Mantener un nivel de programa constante para el oyente. Dado que no existe ningún ruido de fondo en la recepción digital, el procesador puede mantener un mayor rango dinámico y un sonido más abierto que es típicamente posible con la radiodifusión análoga. Si la fuente de audio original es limpia y libre de ruido, el oyente no va a percibir ningún ruido de fondo durante los segmentos de audio tranquilos. De ser así, la experiencia del oyente va a ser más semejante a un disco compacto. Ya que el nivel de audio no tiene ninguna relación a la sobre modulación del espectro con la transmisión digital, ya no hay la necesidad de usar el recorte de picos agresivo. Se puede usar un limitador más suave para evitar el “recorte digital” sin afectar el rango dinámico percibido. Se debería ajustar el nivel de audio promedio de forma subjetiva para dar al oyente un nivel de volumen equivalente al nivel FM análogo. Esto es importante para no fastidiar al oyente con cambios de nivel de audio cuando su receptor hace la transición (“blending”) de la recepción análoga a digital.

Se trata de un ajuste del nivel promedio en lugar de un ajuste de compresión, y se debería hacer mientras se escucha una variedad de materiales de programa. La radiodifusión de HD Radio entrega una separación estereofónica que es muy superior a la transmisión analógica. Muchas veces, esta es la diferencia entre la recepción analógica y digital que más notan los oyentes. Los procesadores que “acoplan” los canales izquierdo y derecho pueden reducir este efecto.

La radiodifusión es capaz de entregar una respuesta de frecuencias de audio hasta 20 kHz, dependiendo en la frecuencia de muestreo elegida por la emisora. Por eso, los procesadores de audio utilizados en los canales digitales deberían pasar y procesar el audio hasta esa frecuencia. Debido a estas diferencias entre el procesamiento analógico y digital, los radiodifusores FM deberían considerar el uso de dos procesadores separados para sus canales analógico y HD1. En general, los productos diseñados para el procesamiento de audio digital en estudios de grabación cumplen los requisitos muy bien. Afortunadamente, esos procesadores suelen ser menos costosos que sus equivalentes FM (Orban 6300, Aphex 320D o sus equivalentes). El radiodifusor puede seguir usando su procesador actual para su canal FM analógico, siempre cuando tenga una salida que sea compatible con su enlace estudio-planta. Adicionalmente, algunos procesadores de audio de la última generación ya incluyen una cadena de procesamiento separada específicamente diseñada para el canal HD1 (Omnia 9, Omnia 11 o sus equivalentes).

Estos procesadores aceptan una sola entrada de programa y tienen salidas procesadas separadas para los canales FM análogo y HD1. Si se utiliza un procesador análogo FM para el canal de HD Radio, es esencial apagar el preénfasis. No se puede usar un solo procesador análogo FM dividiendo la salida para alimentar las señales análoga y digital. Esto causará que el audio con preénfasis sea oído en el canal HD1, resultando en un sonido chillón y sin graves. Los requisitos de procesamiento para los canales de multiprogramación (HD2, HD3, etc.) son semejantes a los del canal HD1. La diferencia principal es que estos canales no siempre tienen la misma respuesta de frecuencias que el canal HD1. Algunos fabricantes incorporan el procesamiento de audio como una función en el Importer utilizando tarjetas de procesamiento de audio en lugar de tarjetas de audio convencionales (Orban PC1101 o su equivalente).

En esos sistemas, el procesamiento de audio tiene lugar a través del Procesamiento de Señales Digitales (DSP) ubicado en la misma tarjeta de audio y la pantalla del Importer sirve también como el interfaz para los ajustes del procesador. Es importante recordar que la radiodifusión digital de HD Radio fue diseñada para las emisoras FM que transmiten con la norma internacional de modulación de la IUT. Ese organismo define la modulación de 100% como una desviación de +75 kHz de la portadora análoga.

Con la transmisión digital se colocan dos grupos de portadoras digitales de bajo nivel arriba y abajo la señal análoga modulada. Por eso, es importante que la

emisora FM no excede 100% de modulación análoga para no causar interferencia a sus portadores digitales propias. Las emisoras que sobre modulan van a crear problemas para sus propios oyentes digitales, causando la pérdida de recepción digital durante periodos de picos de modulación análogos frecuentes.

## **Retardo de Tiempo de HD Radio**

El asunto del retardo digital y el alineamiento de tiempo es uno de los aspectos menos entendidos de la radiodifusión de HD Radio. Todos los sistemas de radio y televisión digital tienen retardo. Es decir, el sonido o imagen salen del receptor del oyente un tiempo fijo después de estar generado en el estudio. En este sentido, la radiodifusión de radio y televisión no es verdaderamente “en vivo”, aunque es “casi en vivo”.

Con la transmisión de HD Radio, este tiempo de retardo es aproximadamente 7.8 segundos, aunque ese valor varía un poco entre las emisoras. Existen dos razones fundamentales por las que este retardo existe. La primera de éstas es el retardo generado por el Procesamiento de Señales Digitales (DSP). La señal de audio está procesada y empaquetada para la transmisión, y luego está desempaquetada y convertida a audio nuevamente en el receptor. El tiempo de la demora DSP es una función de la velocidad de los procesadores DSP en el transmisor y el receptor. En el futuro, a la medida que esos procesadores DSP se mejoren en su velocidad y

capacidad, estos tiempos se van a ir reduciendo. La segunda razón para la demora es la técnica de la transmisión de diversidad de tiempo. En el caso del sistema FM de HD Radio, el mismo audio digital está transmitido dos veces, separadas en tiempo por aproximadamente 5 segundos. Esto permite la redundancia de recepción en el receptor, evitando muchas cortes de audio que serían causados por errores en la recepción. Si el receptor del oyente pierda una pieza de audio en la primera transmisión, es muy probable que esa pieza se recupere en la segunda oportunidad. Esta técnica es aún más importante para la radio digital que para la televisión digital, ya que el oyente de radio está frecuentemente en movimiento, y sus condiciones de recepción están constantemente cambiando. El receptor incorpora un buffer de memoria que temporariamente almacena la primera transmisión de audio para combinarla con la segunda, y esto causa aún más retardo en el receptor.

### **Alineamiento de los Niveles de Programa**

Esto es un parámetro fácil de ajustar, pero es fácil olvidarlo si el personal de la emisora no está monitoreando su señal fuera del aire. Al igual que el alineamiento de tiempo, las diferencias en los niveles de audio promedios entre los canales análogos FM y HD1 pueden fastidiar a los oyentes si ellos se encuentran en un área en la borde de la cobertura digital. La meta es que la transición entre la recepción análoga y digital en el receptor esté casi transparente al oyente. Si hay una diferencia de más de 2 dB en los niveles de audio, estos cambios de nivel pueden ser fastidiosos. La mayoría de las emisoras no quieren tocar sus ajustes de

procesamiento de FM análogo, así que típicamente se ajuste el audio del canal HD1. Para lograr el máximo del rango dinámico sin recortes, el método recomendado es conectar la salida del procesador de audio a la entrada de audio HD1 del Exporter con un nivel de -2 dBFS (nivel de picos), y luego ajustar el control “TX Gain” del Exporter para lograr el nivel deseado en el canal HD1.



**Figura 20.** Niveles de audio del Programa.

## Multimedia HD Radio

### La Implementación de los Datos SIS y PSD

Adicionalmente a la transmisión de audio de alta calidad, el sistema de HD Radio permite la transmisión de datos de texto que son mostrados en el receptor del consumidor. Los mensajes SIS (“Servicio de Información de la Emisora”) muestran las siglas de la emisora y un nombre corto. Los mensajes PSD (“Servicio de Datos de Programa”) pueden ser estáticos (continuamente mostrados) como una lema de la emisora, o mensajes dinámicos que cambian de acuerdo con el contenido del programa. En ese último caso, la información mostrada puede ser el título de una canción y el nombre del artista, el nombre de un patrocinador y su número telefónico, una dirección web, un pronóstico de tiempo, o cualquier otra información textual que corresponde al audio transmitido por la emisora. Eso es semejante en concepto a la tecnología RDS en el FM análogo, excepto que los mensajes PSD de HD Radio son más largos, transmitidos mucho más rápidamente, y son más flexibles. Cada uno de los canales HD1, HD2, HD3 y HD4 puede contar con sus propios mensajes PSD.

Servicio de Información de la Emisora Muchas veces el fabricante del Exporter programa las siglas de la emisora en la fábrica en el campo “Short Name” (Nombre Corto), que se encuentra en el menú “System Setup/Information”. Adicionalmente

existe el campo "Slogan" (Lema) que es un campo excelente para programar nombres o lemas más descriptivos para el canal HD1. Los canales de multiprogramación tienen campos de lema distintas que se programan en el Importer.



**Figura 21.** Servicio de Información de la Emisora (SIS) y Servicio de Datos de Programa (PSD).

Aunque el campo "Slogan" acepte frases más largas, es aconsejable mantener el contenido de este campo a 20 caracteres o menos para ser compatible con los tamaños de pantalla limitados y la largura de campos de algunos receptores. Aunque algunos modelos hagan un "scroll" horizontal, hay otros modelos que cortan el texto de los mensajes largos. Puede ser necesario experimentar con esta característica, ya que no todos los receptores muestran el mismo número de letras.

## Mensajes de PSD Dinámicos

Los datos PSD (Datos de Servicio de Programa”) son un componente importante de la experiencia de HD Radio para el oyente. “PSD Dinámico” se refiere a los datos PSD que cambian con cada canción o elemento de programación. Con el PSD Dinámico, los receptores de radio digital muestran en sus pantallas la información del título de la canción y nombre de artista que actualmente está siendo transmitida. Es importante transmitir todos los campos PSD para el canal principal tanto como todos los canales de Multiprogramación (HD2, HD3, etc.) para que el oyente pueda gozar del servicio, y también puede conservar la información de la canción para comprarla más adelante de la tienda iTunes a través de la característica “iTunes Tagging”.

Los campos PSD que pueden ser programados en el sistema son:

- Artista
- Título
- Disco.
- Género
- Comentario.
- Comercial Identificación única del archivo (UFID).

No todos esos campos se muestran en todos los radios. El campo “Comercial” puede ser usado para transmitir información relacionada con la mercancía o servicio ofrecido, tanto como una descripción textual, dirección de un sitio web o número telefónico. El campo UFID contiene una identificación única que identifica la grabación. Es recomendable usar uno de los monitores de HD Radio profesionales que muestran el contenido del texto PSD para verificar la implementación PSD ya que tienen mayor precisión que los receptores comerciales.

La información de título y artista está extraída del sistema de audio en disco duro de la emisora, y cada elemento de información está transferido al campo PSD correspondiente. La información de título y artista debería cambiarse con cada canción en forma dinámica, para que esté actualizada en la pantalla del receptor cuando comience la canción nueva. La información tiene que convertirse al formato requerido para el sistema de HD Radio antes de mandársela al Exporter (para el canal HD1) o al Importer (para los canales HD2, HD3 y HD4). Típicamente esa conversión se hace en un dispositivo o software intermediario de terceros que se instala entre el sistema de disco duro de la emisora y el Importer o Exporter. (The Radio Experience TRE de Broadcast Electronics, Jump2Go, Enco Padapult, Arctic Palm, WireReady o sus equivalentes). Los radiodifusores que prefieren crear su propia solución podrán pedir una herramienta de software gratis disponible de iBiquity (La “HDP PSD reference SDK”), y ellos pueden usarla para crear sus propios aplicativos internos para cumplir esta función. Este software de interfaz PSD puede

instalarse en una computadora dedicada, o puede operar en una computadora existente en la red.

Aquí hay un ejemplo de la manera que uno de estos dispositivos funciona para extraer y transmitir el texto PSD dinámico. El producto explicado aquí es el “Jumpgate”, y está disponible de la empresa Jump2Go para usarse con cualquier sistema de audio:

La emisora tiene que proveer cinco datos de su sistema de disco duro:

- Número de identificación de la grabación (“Cut ID”)
- Tipo de audio = comercial o música (“Type”)
- Nombre de la artista (“ArtistName”)
- Título de la canción (“SongTitle”)
- Duración de la grabación en minutos y segundos (“Duration”).

Las comunicaciones entre el sistema de disco duro, la caja JumpGate y el sistema de HD Radio se hacen a través de conexiones Ethernet. El sistema tiene que mandar la información a una Puerta de Escucha (“Listen Socket”) en la computadora anfitriona (“Host PC”) que está operando el software del sistema de audio en disco duro. La caja JumpGate se conecta a esa puerta y espera una actividad de evento. Cuando se detecte información nueva en esa puerta, el JumpGate convierte la

información al formato de datos correcto y la mande al Exporter de HD Radio (para el canal principal) o al Importer (para los canales de Multiprogramación).

## **Mensajes PSD Fijos**

Si no es posible o deseable implementar los PSD dinámicos, se puede llenar el campo de Título de Canción con un lema de la emisora, o con cualquier otro mensaje de hasta 64 caracteres. El campo de Artista debería permanecer vacío para no causar confusión a los receptores que tengan la característica de iTunes Tagging. El uso correcto de estos dos campos asegura una buena experiencia para el oyente. Favor de referirse al manual operacional del Importer o Exporter para averiguar las instrucciones para la programación de un mensaje fijo. También existe el aplicativo “PSD Sender” de iBiquity, que está disponible gratis a los radiodifusores digitales. Ese aplicativo opera con el sistema operativo Windows XP, y se instala en una computadora conectada al Exporter o Importer para programar los mensajes estáticos para cualquier canal de HD Radio. Una vez que el mensaje haya sido programado, se puede desconectar la computadora del sistema, o puede permanecer conectada para permitir la programación manual de nuevos mensajes PSD en cualquier momento.

## iTunes® Tagging

iTunes® Tagging se ha vuelto una característica popular en varios receptores de HD Radio en el mercado. Con esa característica, el oyente puede almacenar la información sobre cualquier canción oída dentro de su radio simplemente oprimiendo el botón TAG en el receptor. Más adelante, esta información se transfiere a su iPod o iPhone, permitiendo que el oyente pueda fácilmente comprar la música en la tienda virtual iTunes de Apple.

Para que el consumidor tenga una experiencia de iTunes Tagging positiva, iBiquity sugiere que todas las emisoras de HD Radio adopten las siguientes prácticas en sus emisoras que operan con texto de PSD dinámico o fijo.

- Cuando se utilice el texto PSD dinámico, el título de la canción y nombre del artista siempre deben aparecer en sus campos PSD correspondientes. Estos campos deben contener la misma información durante toda la canción.
- Si no se utilice el texto PSD dinámico, la emisora debe llenar NADA MAS el campo de título de canción con un lema de la emisora u otro mensaje. En esta condición, el campo de artista PSD se queda vacío.

Se puede usar un receptor de HD Radio que tenga la característica de iTunes Tagging para verificar que esa función esté operando correctamente.



*Figura 22. Botón TAG de iTunes Tagging en la pantalla de HD Radio de un vehículo Ford iBiquity Digital*

## **Implementación de Experiencia de Artista**

Además de texto, ahora es posible transmitir imágenes dinámicas asociadas con el audio, y que aparecen en las pantallas de muchos de los últimos modelos de radios. Estas imágenes pueden ser logotipos de la emisora, portadas de discos compactos, o imágenes promocionales asociadas con un patrocinador, evento o concurso. La respuesta del público ha sido muy positiva para las emisoras que han implementado correctamente esa característica. Sin embargo, existe la complicación de que la mayoría de los sistemas de almacenamiento en disco duro todavía no soportan el almacenamiento y transmisión de imágenes asociadas con elementos de audio. (Es

de esperar que esta circunstancia se cambie en el futuro, a la medida que la característica se vuelve cada vez más común).

Aun cuando una emisora haya decidido no implementar la transmisión de imágenes dinámicas en este momento, es posible programar el logotipo de la emisora en el Importer para su transmisión continua (estática).

La mejor manera de implementar la transmisión dinámica de imágenes es utilizar un producto de empresas terceras, como el sistema Jump2Go que se instala entre el sistema de audio y el Importer. Ese dispositivo lee la información de título y artista de los datos PSD y baja la imagen de la portada del disco compacto desde una base de datos en el Internet. Si la imagen pedida no se encuentra disponible en la base de datos, el logotipo de la emisora u otra imagen de reserva están transmitida. (Nota: El servicio que mantiene la base de datos está ubicado en los Estados Unidos. Por lo tanto, es posible que algunas canciones desde afuera de ese país no estén disponibles.)

Las imágenes de Experiencia de Artista tienen una resolución nominal de 200 x 200 píxeles, y un tamaño de archivo máximo de 24 kB. El sistema está optimizado para aprovecharse al máximo del ancho de banda disponible, basado en los siguientes factores.

- Tamaño de la imagen
- Cantidad de repeticiones de la imagen
- Velocidad de transferencia de datos de la imagen

Favor de comunicarse con iBiquity para conseguir mayor información sobre la implementación de Experiencia de Artista y sus requisitos de ancho de banda.

Cada imagen está transmitida antes del comienzo de su canción asociada, y debe estar cargado en los equipos de transmisión al menos medio segundo antes del comienzo de cada segmento o canción nueva, para que se pueda sincronizar la imagen precisamente con la canción. La transmisión de logotipos de las emisoras es crítica, porque el receptor utiliza ellos como imágenes de respaldo cuando no estén disponibles las imágenes sincronizadas.



**Figura 23.** La Implementación de Experiencia de Artista.

Más detalles para la implementación del servicio de Experiencia de Artista:

- Las imágenes pueden ser de los formatos JPEG o PNG.
- Se transmite cada imagen por lo menos una vez, y preferiblemente dos veces.
- Las imágenes de la portada del disco pueden ser acompañadas por mensajes promocionales en el campo PSD comercial – por ejemplo, información sobre la compra de la canción y/o el nombre de una tienda de música.
- Se manda un “XHDR frame trigger” dentro cada tag ID3.
- Los Importers deberán correr el software de la versión 4.3.1P1 o después.
- El Importer tiene que ser configurado para cumplir los requisitos del sistema de Experiencia de Artista.
- Los Exporter deberán correr el software de la versión 4.3.2 o después.
- El software de Soporte de Imágenes del Cliente/Automatización se base en LOT SDK v4.3.3
- Los sistemas de automatización deberán incorporar el software HDP PSD SDK de HD Radio de la versión 4.7 o después.

Hay receptores comerciales disponibles que se pueden usar como una herramienta de monitoreo para la verificación de este servicio.

### 1.3 Fundamentos teóricos

**Banda ancha:** “El ancho de banda de una señal de información no es más que la diferencia entre las frecuencias máxima y mínima contenidas en la información, y el ancho de banda de un canal de comunicaciones es la diferencia entre las frecuencias máxima y mínima que pueden pasar por el canal (es decir, son su banda de paso)” (TOMASI, 2003, p. 8). Mientras mayor sea el ancho de banda y el tiempo de transmisión es posible enviar mayor información.

**Broadcast:** Es un término que designa el servicio de emisión de señales de radio y televisión para uso público generalizado o muy amplio.

**CODFM:** (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) es una técnica compleja demodulación de banda ancha utilizada para transmitir información digital a través de un canal de comunicaciones, que combina potentes métodos de codificación más el entrelazado para la corrección de errores en el receptor. COFDM modula la información en múltiples frecuencias portadoras ortogonales donde cada una está modulada en amplitud y fase y lleva una tasa de símbolos muy baja además de tener una alta eficiencia espectral.

**DAB:** Siglas del término en inglés digital audio broadcasting es un estándar de emisión de radio digital desarrollado por EUREKA como un proyecto de investigación para la Unión Europea (Eureka 147). El DAB está diseñado para

receptores tanto de uso doméstico como portátiles para la difusión de audio terrestre y mediante satélites, la cual también permite introducir datos. (WorldDAB, 2015)

**CLOUDRF:** La interfaz CLOUDRF es una herramienta de planificación de radio en línea para su uso en cualquier ordenador o dispositivo móvil, ofreciendo una alternativa rentable muy de software de planificación de escritorio legado y en el campo se convierte en una capacidad de planificación bolsillo versátil que le permite aprovechar el software de gran alcance como una aplicación web.

**DVB-T:** es el estándar para la transmisión de televisión digital terrestre (TDT) creado por la organización europea Digital Video Broadcasting (DVB). Este sistema transmite audio, video y otros datos a través de un flujo MPEG-2, usando una modulación de “Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal Codificada” (COFDM).

**FM:** Es una técnica de modulación que permite transmitir información a través de una onda portadora variando su frecuencia. En aplicaciones analógicas, la frecuencia instantánea de la señal modulada es proporcional al valor instantáneo de la señal moduladora.

**HD Radio:** es la marca registrada de iBiquity Digital Corporation quien desarrollo el estándar de radio digital llamado In-band on-channel (IBOC), la cual es una tecnología que permite a las estaciones FM y AM para transmitir audio y datos a

través de una señal digital emitido en relación con sus señales analógicas tradicionales (una técnica llamada en la banda y en canal). (iBIQUITY, 2015)

**IBOC:** Canal dentro de banda es un sistema de broadcast digital desarrollado por iBiquity Digital Corporation. La principal característica de este sistema de radiodifusión digital es la permisividad de envío híbrido, es decir, la convivencia de señal analógica y digital, lo que permite una transición gradual de sistema analógico digital. (iBIQUITY, 2015)

**Journalie:** Es una nueva aplicación de datos para el estándar DAB y DRM aplicados a los sistemas radio digital el cual provee jerárquicamente estructurado información textual donde los usuarios pueden fácilmente e inmediatamente asesar y acompañar el programa de audio con informaciones interactivas tales como: noticias, gráficas y tema radial. (IIS, 2015).

**MFN:** son un tipo de red donde distintas frecuencias (canales de RF o radiofrecuencias) son utilizadas para transmitir contenido audiovisual. Hay dos tipos destacados de redes de frecuencia múltiple, las horizontales y las verticales. (Consortium, 2015)

**Multiplexación:** Técnica que hace posible la transmisión de varias señales por un mismo canal de comunicación. El proceso inverso se conoce como

desmultiplexación. Un concepto muy similar es el de control de acceso al medio.  
(Vega, 2004)

**ODFM:** La modulación por multiplexado por división de frecuencia ortogonal es una técnica de modulación de banda ancha que utiliza múltiples portadoras ortogonales, cada una modulada en amplitud y fase. Cuando la OFDM se emplea junto con codificación de canal para detección y corrección de errores, se designa como COFDM. (Vega, 2004, p. 1)

**SFN:** Es una tipología de red que puede ser empleada en múltiples campos, en este caso para radiodifusión donde distintos transmisores emiten la misma señal en fase en el mismo canal de frecuencia.

## **CAPITULO 2: DISEÑO DE LA HD RADIO Y RED SFN**

### **2.1 Selección de Herramientas y Equipamientos.**

#### **2.1.1 Frecuencia de Trasmisión.**

La frecuencia de operación de la emisora fue escogida aleatoriamente, y concluyo en los 88.5 MHz.

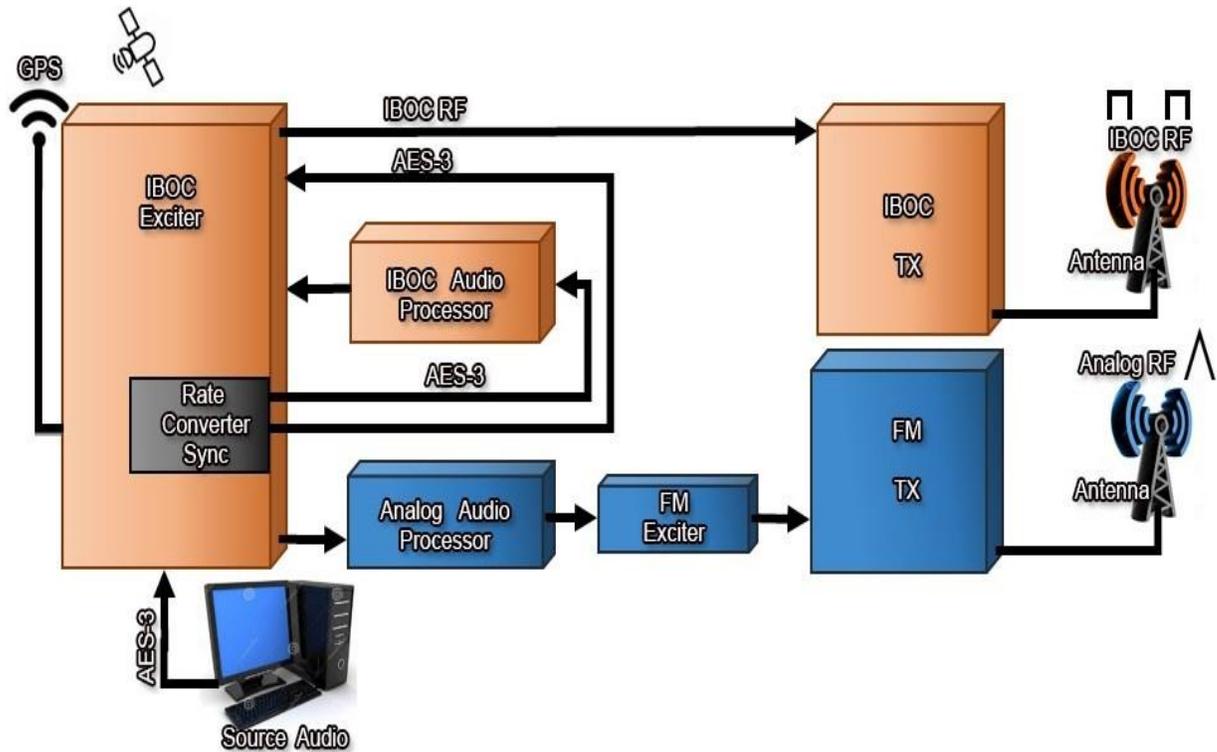
#### **2.1.2 Arquitectura de la Red.**

La arquitectura más conveniente para la republica Dominicana es la de combinación espacial debido a sus ventajas y bajos costos de implementación al mercado, la misma ofrece que las emisoras podrán continuar con el uso de su transmisor análogo existente, sin ninguna modificación y el mismo no requiere de potencia de reserva adicional, este sistema de trasmisión no tiene pérdidas, por lo cual no es necesario que el transmisor digital adquirido tenga capacidad de potencia extra, tiene la mayor eficiencia del sistema de trasmisión resulta en menor consumo de energía eléctrica y la eficiencia del sistema de trasmisión análoga no es reducida,

se puede utilizar un transmisor digital con antenas de baja potencia, resultando en un menor costo en equipos y una instalación más sencilla. Se puede operar con potencias elevadas hasta  $-10\text{dBc}$  lo que implica una alta potencia digital, el sistema digital no afecta la operación del sistema análogo, dado que dos sistemas completamente aislados. (Favor de ver la Sección Arquitectura IBOC para mayor información sobre los modos).

### **2.1.3 Diagrama en bloques Arquitectura de combinación Espacial.**

Para una estación existente puede utilizar su transmisor analógico antiguo, solo se añade una segunda antena y esta solo transmitirá señal digital (Radio HD IBOC) a través de ella, La ventaja es que el transmisor IBOC puede ser una unidad pequeña para la cual no se necesitaría espacio adicional, La desventaja es que la estación tendrá que utilizar espacio adicional torre de operación del sistema análogo, dado que son dos sistemas completamente aislados.



**Figura 24.** Diagrama en bloques Arquitectura de Combinación Espacial.

Fuente: Elaboración propia.

### 2.1.4 Potencia Digital.

El IBOC trabaja en 3 rangos principales de potencia -20dB, -14dB, y -10dB.

El rango de operación será de -14 dB (4% de la P.R.A. análoga). Debido a que posee lo mejor de los dos rangos extremos, -20dB y -10dB, (véase sección ¿Cuánta potencial digital se necesita?) este viene siendo un punto medio de equilibrio, muchos expertos consideran que este nivel de potencia da la mejor cobertura digital

asemejándose a la cobertura análoga minimizando de causar interferencia a la señal análoga de la misma emisora.

### **2.1.5 Modo de Operación.**

El modo de operación será forma de onda híbrida (MP1), si en un futuro si se decide añadir un nuevo canal de transmisión solo se deberá cambiar el ancho de banda de las bandas laterales híbridas para pasar de MP1, al MP# deseado (ver Figura 11), esto extenderá las bandas laterales hacia la señal analógica de FM para incrementar la capacidad digital obteniendo más programación en digital, este espectro adicional localizado en el borde interno de cada banda lateral PM es denominado banda lateral Primaria Extendida, esta forma de onda mejora la capacidad de transmisión y cobertura digitales pero a su vez la cobertura analógica se verá afectada, ya que el ancho de banda analógico se reduce.

### **2.1.6 Topología de Red.**

La topología a usar será la topología en árbol (también conocida como topología jerárquica) puede ser vista como una colección de redes en estrella ordenadas en una jerarquía. Éste árbol tiene nodos periféricos individuales, como en las redes en diagonal convencionales, los nodos individuales pueden quedar aislados de la red por un fallo puntual en la ruta de conexión del nodo. Si falla un enlace que conecta con un nodo, queda aislado.

### **2.2.7 Medio de Trasmisión de la red**

El medio de trasmisión y conexión de los diferentes puntos geológicos será realizado a través de microondas terrestres, Los sistemas de microondas terrestres han abierto una puerta a los problemas de trasmisión de datos, sin importar cuales sean, aunque sus aplicaciones no estén restringidas a este campo solamente (telematicaupoliyolanda, 2015).

Para la comunicación y transporte de data IBOC se necesita como mínimo un enlace unidireccional de 384 Kbps, la frecuencia de enlace junto a las ventajas de que es una frecuencia libre para la trasmisión, será de 5.8 GHz.

### **2.2.8 Puntos estratégicos de cobertura**

El objetivo final de este proyecto de grado es diseñar una red la cual opere a una frecuencia única para cubrir todo el país, para esto se eligieron puntos estratégicos de comunicación y trasmisión a lo largo y ancho de Republica Dominicana. Para la mayor penetración posible de este estándar.

Para la mayor cobertura a nivel nacional escogimos y sometimos a prueba a través de CloudRF software varios transmisores en varios puntos del país tales como, el transmisor principal y estación emisora ubicada en UNAPEC-CAFAM, Santo Domingo, El Mogote en la provincia Espaillat, La Hoz, Polo Barahona, Pena Alta,

Hato Mayor, Higüey , La Altagracia, Loma Güanito en San Juan de la Maguana, Alto Bandera, La vega como enlace hacia la región del Cibao, este y Suroeste, estos enlaces de transmisión son a través de vía Microondas hacia todos los Feeds del territorio nacional con una frecuencia operacional de 5.8 GHz.

### **2.3 Enlaces Microondas**

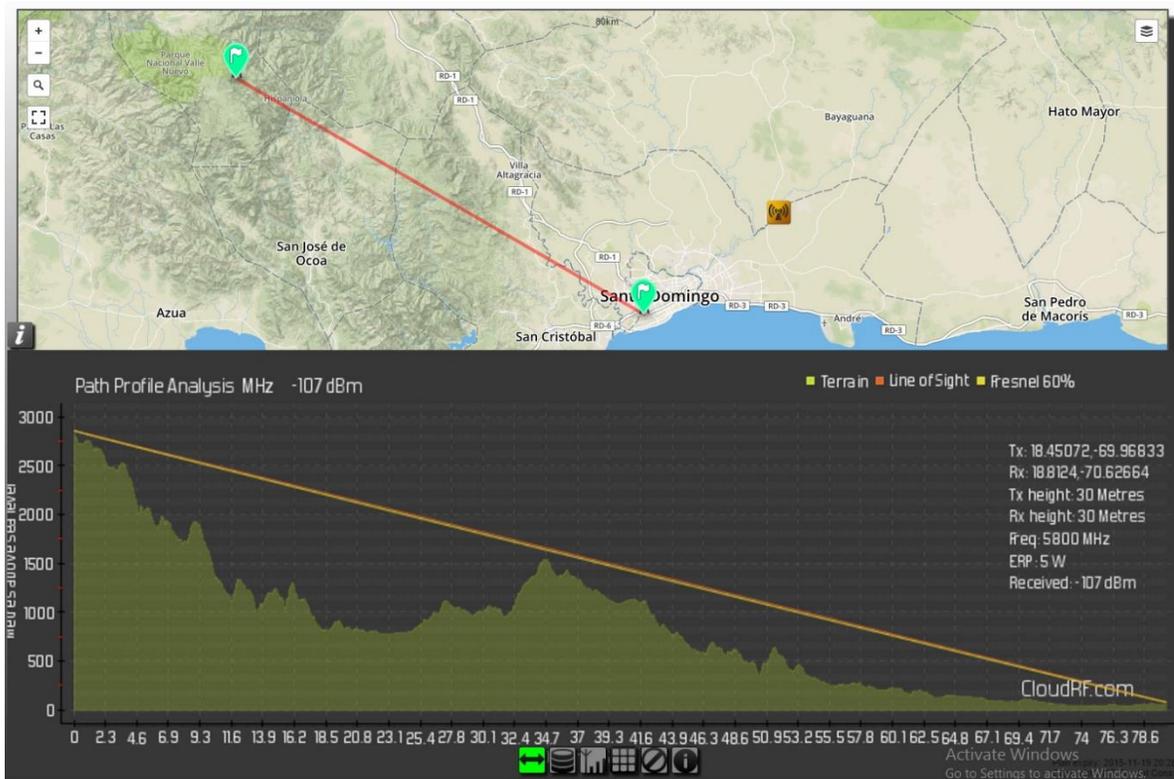
La cabina principal y estación emisora estará ubicada en UNAPEC-CAFAM, Santo Domingo este será punto de salida. En primera instancia contemplamos un enlace desde CAFAM (Santo Domingo) (18.450720, -69.968328), hasta Alto Bandera (18.812402, -70.626651) con una altura inicial de 69 mts, y una altura final de 2821 mts, con una distancia de 80.8 Km.

El proyecto tiene contemplado utilizar el edificio #2 de dicho recinto que cuenta con una altura 12 metros, la torre donde se instalara la antena contara con unos 30 metros, altura permitida dentro de los rangos para una torre no auto soportada.

El receptor estará situado en Alto Bandera (18.812402, -70.626651), este lugar fue elegido por su altura y la distancia en que se encuentra del Distrito Nacional, Alto Bandera nos proveerá una altura 2821 metros y conexión a distintos puntos del país, otro factor determinante para elegir Alto Bandera es porque la misma es un punto estratégico y es una localidad para nuestro receptor ya que en este se encuentra varias torres de comunicación de diferentes servicios de la Republica Dominicana

por lo que ya contamos con camino para llegar al área, personal para mantenimiento y que nos permite la opción de rentar un espacio en una torre ya instalada que sería una opción económica en corto plazo o instalar nuestra propia torre de comunicación, la altura que contemplamos para instalar nuestro receptor es 30 metros, por lo que podemos usar una torre auto soportada sin ningún contratiempo de terreno.

Enlace simulados a través de Cloud RF, Potencia 5 Watts, Frecuencia de operación 5.8Ghz.



**Figura 25.** Perfil de elevación y zona de Fresnel enlace CAFAM-Alto Bandera.

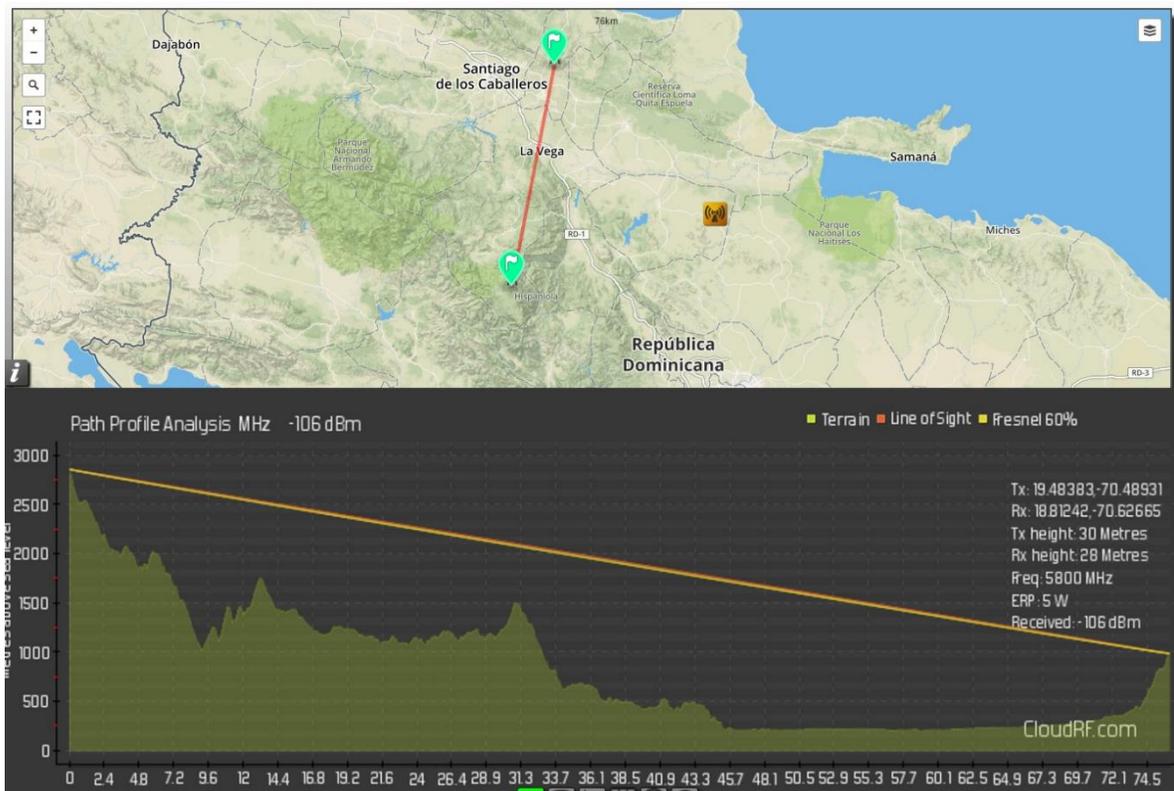
Fuente: RF cloud.

**Tabla 4.** Análisis del perfil de trayectoria CAFAM-Alto Bandera.

<b>Análisis del perfil de trayectoria</b>	
<b>Transmitter site: Tx</b>	
Site location:	18.4507 North / 69.9683 West
Ground elevation:	54.00 meters AMSL
Antenna height:	30.00 meters AGL / 84.00 meters AMSL
Distance to Rx:	80.18 kilometers
Azimuth to Rx:	300.21 degrees
Elevation angle to Rx:	+1.6251 degrees
<b>Receiver site: Rx</b>	
Site location:	18.8124 North / 70.6266 West
Ground elevation:	2832.00 meters AMSL
Antenna height:	30.00 meters AGL / 2862.00 meters AMSL
Distance to Tx:	80.18 kilometers
Azimuth to Tx:	120.00 degrees
Depression angle to Tx:	-2.3456 degrees
Propagation model:	Irregular Terrain Model
Model sub-type:	Suburban / Average
Earth's Dielectric Constant:	15.000
Earth's Conductivity:	0.005 Siemens/meter
Atmospheric Bending Constant (N-units):	301.000 ppm
Frequency:	5800.000 MHz
Radio Climate:	5 (Continental Temperate)
Polarisation:	1 (Vertical)
Fraction of Situations:	50.0%
Fraction of Time:	50.0%
Transmitter ERP:	5.0 Watts (+36.99 dBm)
Transmitter EIRP:	8.2 Watts (+39.13 dBm)
<b>Summary for the link between Tx and Rx:</b>	
Free space path loss:	145.82 dB
Computed path loss:	145.67 dB
Attenuation due to terrain shielding:	-0.15 dB
Field strength at Rx:	45.99 dBuV/meter
Signal power level at Rx:	-106.54 dBm
Signal power density at Rx:	-99.80 dBW per square meter
Voltage across 50 ohm dipole at Rx:	1.35 uV (2.59 dBuV)
Voltage across 75 ohm dipole at Rx:	1.65 uV (4.35 dBuV)
Longley-Rice model error number:	0 (No error)
No obstructions to LOS path due to terrain were detected	
The first Fresnel zone is clear.	
60% of the first Fresnel zone is clear.	

### 2.3.1 Alto Bandera–Mogote

La tercera instancia está dirigida desde Alto Bandera, La Vega Alto Bandera (18.812402, -70.626651), El Mogote, provincia Espaillat (19.483846, -70.489392) con una altura inicial de 2821 mts y una altura final de 900 mts.



**Figura 26.** Perfil de elevación y zona de Fresnel. Enlace Alto Bandera-Mogote.

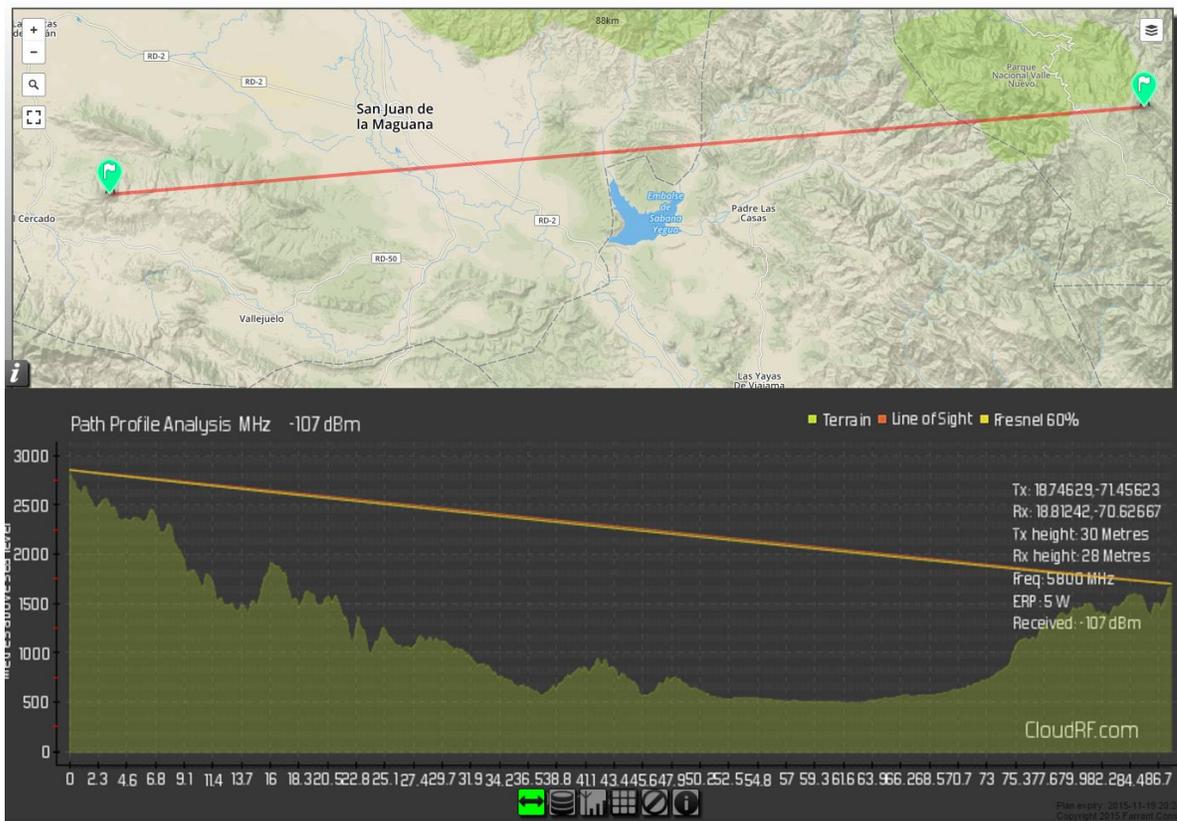
Fuente: RF cloud.

**Tabla 5.** Análisis del perfil de trayectoria Alto Bandera-Mogote.

<b>Análisis del perfil de trayectoria</b>	
<b>Receiver site: Rx</b>	
Site location:	19.4838 North / 70.4893 West
Ground elevation:	959.00 meters AMSL
Antenna height:	30.00 meters AGL / 989.00 meters AMSL
Distance to Rx:	76.04 kilometers
Azimuth to Rx:	190.96 degrees
Elevation angle to Rx:	+1.0681 degrees
<b>Transmitter site: Tx</b>	
Site location:	18.8124 North / 70.6266 West
Ground elevation:	2832.00 meters AMSL
Antenna height:	28.00 meters AGL / 2860.00 meters AMSL
Distance to Tx:	76.04 kilometers
Azimuth to Tx:	10.91 degrees
Depression angle to Tx:	-1.7516 degrees
Propagation model:	Irregular Terrain Model
Model sub-type:	Suburban / Average
Earth's Dielectric Constant:	15.000
Earth's Conductivity:	0.005 Siemens/meter
Atmospheric Bending Constant (N-units):	301.000 ppm
Frequency:	5800.000 MHz
Radio Climate:	5 (Continental Temperate)
Polarisation:	1 (Vertical)
Fraction of Situations:	50.0%
Fraction of Time:	50.0%
Transmitter ERP:	5.0 Watts (+36.99 dBm)
Transmitter EIRP:	8.2 Watts (+39.13 dBm)
<b>Summary for the link between Tx and Rx:</b>	
Free space path loss:	145.36 dB
Computed path loss:	145.27 dB
Attenuation due to terrain shielding:	-0.09 dB
Field strength at Rx:	46.39 dBuV/meter
Signal power level at Rx:	-106.14 dBm
Signal power density at Rx:	-99.39 dBW per square meter
Voltage across 50 ohm dipole at Rx:	1.41 uV (2.99 dBuV)
Voltage across 75 ohm dipole at Rx:	1.73 uV (4.75 dBuV)
Longley-Rice model error number:	0 (No error)
No obstructions to LOS path due to terrain were detected	
The first Fresnel zone is clear.	
60% of the first Fresnel zone is clear.	

### 2.3.2 Alto Bandera–San Juan de la Maguana

La tercera instancia está dirigida desde Alto Bandera, La Vega Alto Bandera (18.812402, -70.626651), Loma Güanito, San Juan de la Maguana (18.746307, -71.456189) con una altura inicial de 2821 mts y una altura final de 1600 mts.



**Figura 27.** Perfil de elevación y zona de Fresnel enlace Alto Bandera- San Juan de la Maguana.

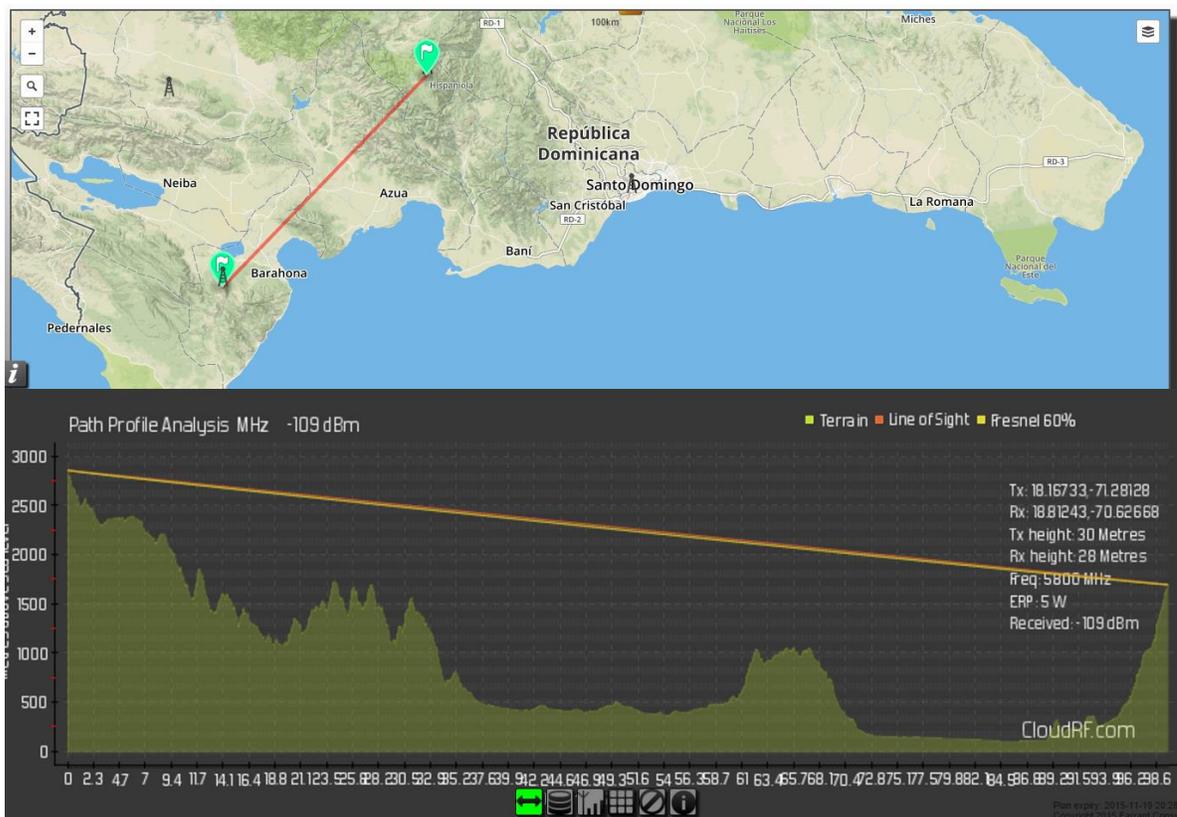
Fuente: RF cloud.

**Tabla 6.** Análisis del perfil de trayectoria Alto Bandera-San Juan de la Maguana.

<b>Análisis del perfil de trayectoria</b>	
<b>Transmitter site: Tx</b>	
Site location:	18.7463 North / 71.4562 West
Ground elevation:	1675.00 meters AMSL
Antenna height:	30.00 meters AGL / 1705.00 meters AMSL
Distance to Rx:	87.65 kilometers
Azimuth to Rx:	85.05 degrees
Elevation angle to Rx:	+0.3611 degrees
<b>Receiver site: Rx</b>	
Site location:	18.8124 North / 70.6267 West
Ground elevation:	2832.00 meters AMSL
Antenna height:	28.00 meters AGL / 2860.00 meters AMSL
Distance to Tx:	: 87.65 kilometers
Azimuth to Tx:	265.32 degrees
Depression angle to Tx:	: -1.1490 degrees
Propagation model:	Irregular Terrain Model
Model sub-type:	Suburban / Average
Earth's Dielectric Constant:	15.000
Earth's Conductivity:	0.005 Siemens/meter
Atmospheric Bending Constant (N-units):	301.000 ppm
Frequency:	5800.000 MHz
Radio Climate:	5 (Continental Temperate)
Polarisation:	1 (Vertical)
Fraction of Situations:	50.0%
Fraction of Time:	50.0%
Transmitter ERP:	5.0 Watts (+36.99 dBm)
Transmitter EIRP:	8.2 Watts (+39.13 dBm)
<b>Summary for the link between Tx and Rx:</b>	
Free space path loss:	146.59 dB
Computed path loss:	146.48 dB
Attenuation due to terrain shielding:	-0.11 dB
Field strength at Rx:	45.18 dBuV/meter
Signal power level at Rx:	-107.35 dBm
Signal power density at Rx:	-100.61 dBW per square meter
Voltage across 50 ohm dipole at Rx:	1.23 uV (1.78 dBuV)
Voltage across 75 ohm dipole at Rx:	1.50 uV (3.54 dBuV)
Longley-Rice model error number:	0 (No error)
No obstructions to LOS path due to terrain were detected	
The first Fresnel zone is clear.	
60% of the first Fresnel zone is clear.	

### 2.3.3 Alto Bandera – La Hoz Barahona

La cuarta instancia está dirigida desde Alto Bandera, La Vega (18.812402, -70.626651), La Hoz, Barahona (18.746307, -71.456189) con una altura inicial de 2821 mts y una altura final de 1600 mts.



**Figura 28.** Perfil de elevación y zona de Fresnel enlace Alto Bandera- La Hoz Barahona.

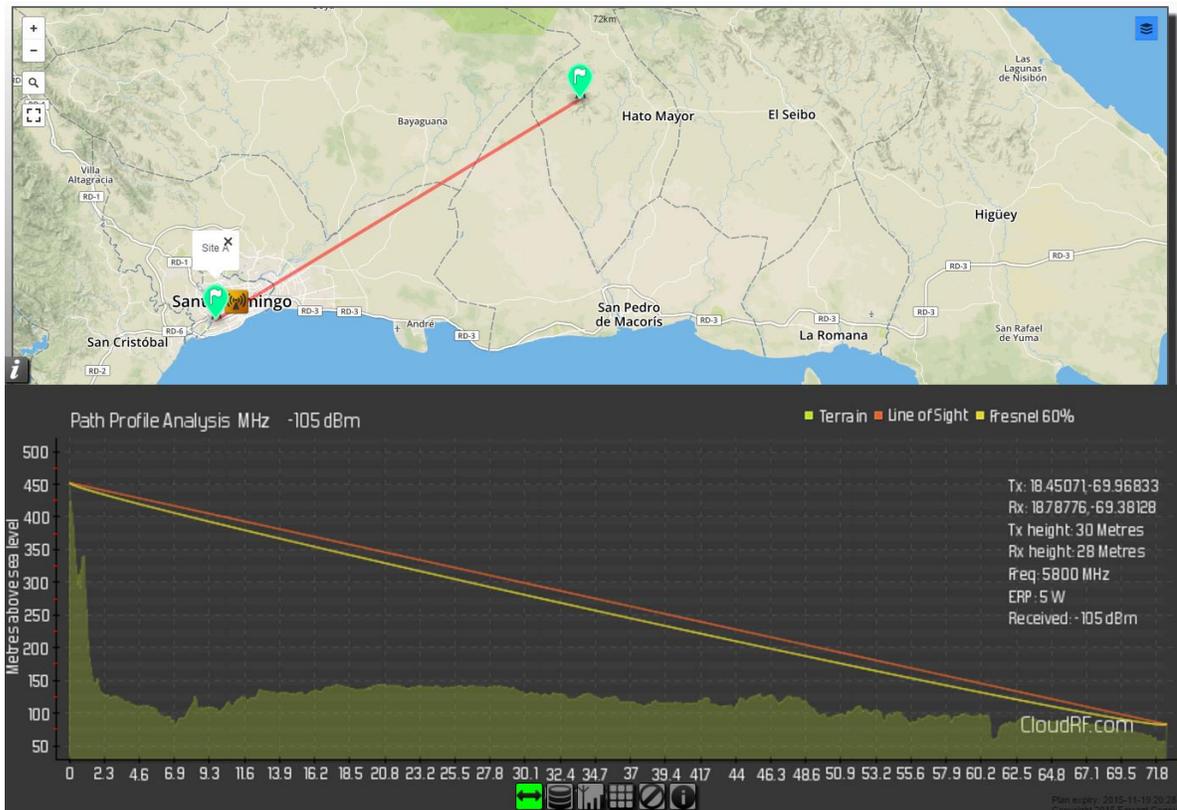
Fuente: RF cloud.

**Tabla 7.** Análisis del perfil de trayectoria Alto Bandera-La Hoz Barahona.

<b>Análisis del perfil de trayectoria</b>	
<b>Transmitter site: Tx</b>	
Site location:	18.8124 North / 70.6267 West
Ground elevation:	2832.00 meters AMSL
Antenna height:	28.00 meters AGL / 2860.00 meters AMSL
Distance to Rx:	99.56 kilometers
Azimuth to Rx:	224.00 degrees
Elevation angle to Rx:	-1.1162 degrees
<b>Receiver site: Rx</b>	
Site location:	18.1673 North / 71.2813 West
Ground elevation:	1668.00 meters AMSL
Antenna height:	30.00 meters AGL / 1698.00 meters AMSL
Distance to Tx:	99.56 kilometers
Azimuth to Tx:	43.80 degrees
Depression angle to Tx:	+0.2212 degrees
Propagation model:	Irregular Terrain Model
Model sub-type:	Suburban / Average
Earth's Dielectric Constant:	15.000
Earth's Conductivity:	0.005 Siemens/meter
Atmospheric Bending Constant (N-units):	301.000 ppm
Frequency:	5800.000 MHz
Radio Climate:	5 (Continental Temperate)
Polarisation:	1 (Vertical)
Fraction of Situations:	50.0%
Fraction of Time:	50.0%
Transmitter ERP:	5.0 Watts (+36.99 dBm)
Transmitter EIRP:	8.2 Watts (+39.13 dBm)
<b>Summary for the link between Tx and Rx:</b>	
Free space path loss:	147.70 dB
Computed path loss:	147.58 dB
Attenuation due to terrain shielding:	-0.11 dB
Field strength at Rx:	44.07 dBuV/meter
Signal power level at Rx:	-108.45 dBm
Signal power density at Rx:	-101.71 dBW per square meter
Voltage across 50 ohm dipole at Rx:	1.08 uV (0.68 dBuV)
Voltage across 75 ohm dipole at Rx:	1.32 uV (2.44 dBuV)
Longley-Rice model error number:	0 (No error)
No obstructions to LOS path due to terrain were detected	
The first Fresnel zone is clear.	
60% of the first Fresnel zone is clear.	

### 2.3.4 Santo Domingo CAFAM – Peña Alta Hato Mayor

La quinta instancia está dirigida desde un enlace CAFAM (Santo Domingo) (18.450720, -69.968328), Peña Alta, Hato Mayor (18.787770, -69.381279) con una altura inicial de 69 mts, y una altura final de 400 mts.



**Figura 29.** Perfil de elevación y zona de Fresnel enlace CAFAM-Peña Alta.

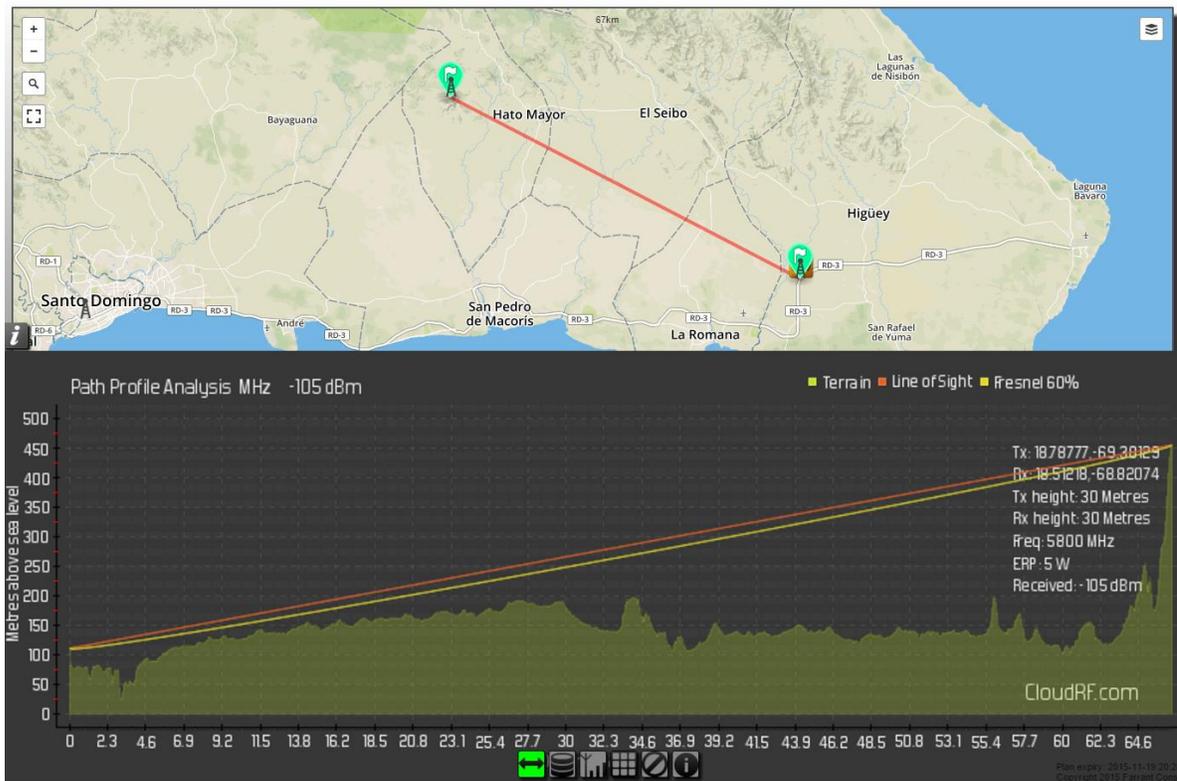
Fuente: RF cloud.

**Tabla 8.** Análisis del perfil de trayectoria CAFAM-Peña Alta Hato Mayor.

<b>Análisis del perfil de trayectoria</b>	
<b>Transmitter site: Tx</b>	
Site location:	18.4507 North / 69.9683 West
Ground elevation:	54.00 meters AMSL
Antenna height:	30.00 meters AGL / 84.00 meters AMSL
Distance to Rx:	72.33 kilometers
Azimuth to Rx:	58.70 degrees
Elevation angle to Rx:	-0.0329 degrees
<b>Receiver site: Rx</b>	
Site location:	18.7878 North / 69.3813 West
Ground elevation:	425.00 meters AMSL
Antenna height:	28.00 meters AGL / 453.00 meters AMSL
Distance to Tx:	72.33 kilometers
Azimuth to Tx:	238.88 degrees
Depression angle to Tx:	-0.6175 degrees
Propagation model:	Irregular Terrain Model
Model sub-type:	Suburban / Average
Earth's Dielectric Constant:	15.000
Earth's Conductivity:	0.005 Siemens/meter
Atmospheric Bending Constant (N-units):	301.000 ppm
Frequency:	5800.000 MHz
Radio Climate:	5 (Continental Temperate)
Polarisation:	1 (Vertical)
Fraction of Situations:	50.0%
Fraction of Time:	50.0%
Transmitter ERP:	5.0 Watts (+36.99 dBm)
Transmitter EIRP:	8.2 Watts (+39.13 dBm)
<b>Summary for the link between Tx and Rx:</b>	
Free space path loss:	144.92 dB
Computed path loss:	144.56 dB
Attenuation due to terrain shielding:	-0.37 dB
Field strength at Rx:	47.10 dBuV/meter
Signal power level at Rx:	-105.43 dBm
Signal power density at Rx:	-98.68 dBW per square meter
Voltage across 50 ohm dipole at Rx:	1.53 uV (3.70 dBuV)
Voltage across 75 ohm dipole at Rx:	1.88 uV (5.46 dBuV)
Longley-Rice model error number:	0 (No error)
No obstructions to LOS path due to terrain were detected	
The first Fresnel zone is clear.	
60% of the first Fresnel zone is clear.	

### 2.3.5 Peña Alta Hato Mayor – Higüey la Altagracia

La sexta instancia está dirigida desde un enlace Peña Alta, Hato Mayor (18.787770, -69.381279) hasta la autopista el Coral en las afueras de Higüey (18.512173, -68.820754) con una altura inicial de 400 mts, y una altura final de 80 mts.



**Figura 30.** Perfil de elevación y zona de Fresnel enlace Peña Alta - Higüey.

Fuente: RF cloud.

**Tabla 9.** Análisis del perfil de trayectoria Peña Alta Hato Mayor-Higüey La Altagracia.

<b>Análisis del perfil de trayectoria</b>	
<b>Transmitter site: Tx</b>	
Site location:	18.7878 North / 69.3813 West
Ground elevation:	425.00 meters AMSL
Antenna height:	30.00 meters AGL / 455.00 meters AMSL
Distance to Rx:	66.54 kilometers
Azimuth to Rx:	117.33 degrees
Elevation angle to Rx:	-0.5954 degrees
<b>Receiver site: Rx</b>	
Site location:	18.5122 North / 68.8207 West
Ground elevation:	81.00 meters AMSL
Antenna height:	30.00 meters AGL / 111.00 meters AMSL
Distance to Tx:	66.54 kilometers
Azimuth to Tx:	297.51 degrees
Depression angle to Tx:	-0.0030 degrees
Propagation model:	Irregular Terrain Model
Model sub-type:	Suburban / Average
Earth's Dielectric Constant:	15.000
Earth's Conductivity:	0.005 Siemens/meter
Atmospheric Bending Constant (N-units):	301.000 ppm
Frequency:	5800.000 MHz
Radio Climate:	5 (Continental Temperate)
Polarisation:	1 (Vertical)
Fraction of Situations:	50.0%
Fraction of Time:	50.0%
Transmitter ERP:	5.0 Watts (+36.99 dBm)
Transmitter EIRP:	8.2 Watts (+39.13 dBm)
<b>Summary for the link between Tx and Rx:</b>	
Free space path loss:	144.20 dB
Computed path loss:	143.85 dB
Attenuation due to terrain shielding:	-0.35 dB
Field strength at Rx:	47.81 dBuV/meter
Signal power level at Rx:	-104.72 dBm
Signal power density at Rx:	-97.97 dBW per square meter
Voltage across 50 ohm dipole at Rx:	1.66 uV (4.41 dBuV)
Voltage across 75 ohm dipole at Rx:	2.04 uV (6.17 dBuV)
Longley-Rice model error number:	0 (No error)
No obstructions to LOS path due to terrain were detected	
The first Fresnel zone is clear.	
60% of the first Fresnel zone is clear.	

### 2.3.6 Red Completa



Figura 31. Bosquejo completo y Tipología de la Red.

Fuente: RF cloud.

### 2.4 Antenas

Para la radiodifusión de las emisoras se utilizarán antenas de doble entrada debido que son la mejor opción ante la combinación espacial IBOC, poseyendo entradas distintas para la señal analógica y digital, dando como resultado que todos los elementos radiados por la antena se transmitan igualmente en ambas señales brindando patrones de cobertura idénticos en los ejes horizontal y vertical para la

señal analógica y digital asegurando patrones de radiación idénticos, aislamiento de 40 dB entre entradas analógicas, ambas señales tienen la misma ganancia. (Ver sección Equipos LYNX™ Series II Circularly Polarized Dual Input FM Antenna).

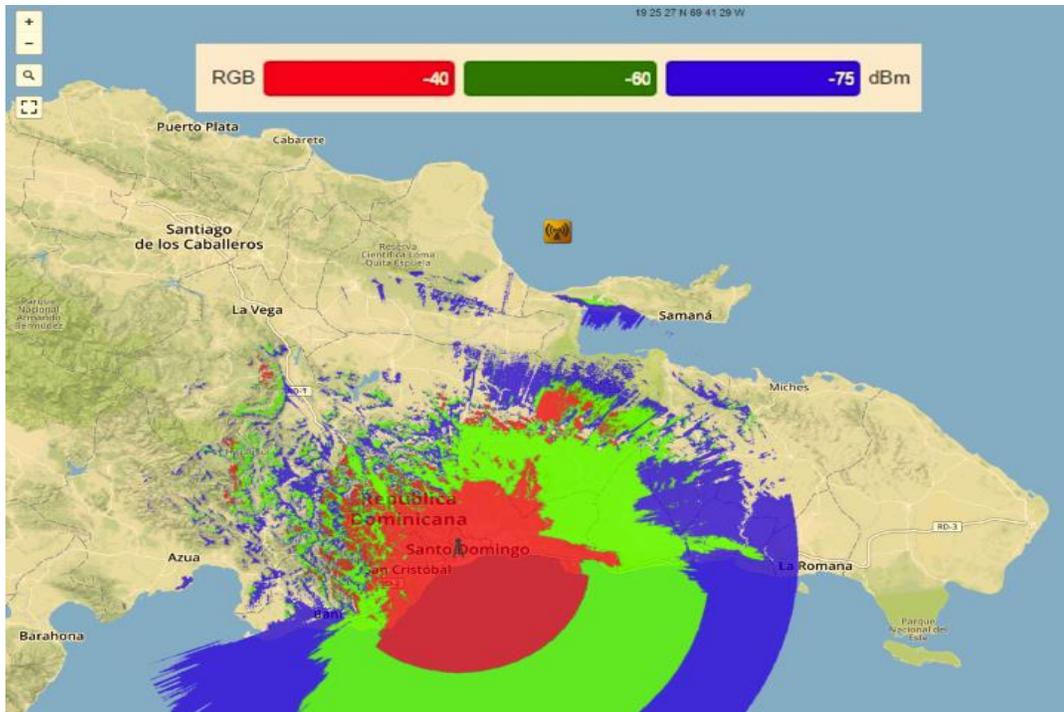
## **2.5 Potencia Transmisores Digitales**

Para el cálculo de las potencias en los transmisores digitales se procedió a simular a través de CloudRF (Software de simulación) sabiendo que en el rango de potencia a trabajar será de -14dB (Ver sección potencial Digital) la cobertura entre la señal analógica y digital son aproximadamente las mismas, aparte con el uso de antenas de doble entrada las cuales aseguran un patrón de radiación de idéntico entre ambas señales la opción ante la combinación espacial IBOC brindando patrones de cobertura idénticos horizontal y vertical, por estas razones se comenzó a proceder a calcular la cobertura analógica en los diferentes puntos estratégicos (Ver sección puntos estratégicos de cobertura y enlaces microondas) elegidos para la transmisión de HD Radio, dando así la cobertura analógica necesaria para cubrir dichas zonas y a su vez dándonos la potencia necesaria para la cobertura digital de las mismas.

## 2.5.1 Transmisor análogo Principal CAFAM-UNAPEC

El transmisor está ubicado en CAFAM (Santo Domingo) (18.450720, -69.968328) en una torre de 30mts de altura para una altura total de 80 mts sobre el nivel del mar, para el cálculo de este transmisor se hicieron varias pruebas a diferentes rangos de potencia 10kW, 20kW, 25kW, para las potencias de 10kw y 20 kW se utilizó el arreglo DI-4A, y para la potencia de 25kW se procedió a utilizar el arreglo DI-6<sup>a</sup>. Para mayor información consultar Tabla 11. Los Resultados arrojados dieron como mejor opción, una potencia análoga de 25kW bajo el arreglo DI-6<sup>a</sup>.

### Resultados



**Figura 32.** Transmisor principal CAFAM-UNAPEC señal análoga 25kW.

Fuente: RF cloud.

## 2.5.2 Transmisor Digital CAFAM UNAPEC

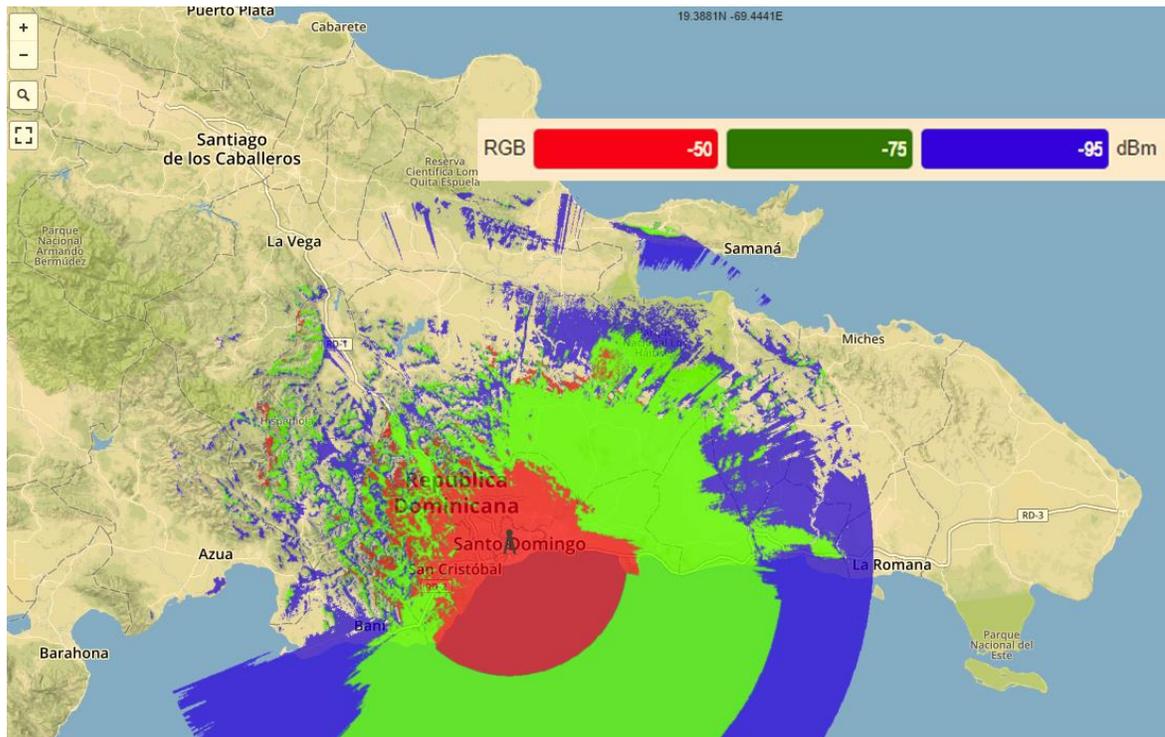
Para el cálculo de la potencia digital la cual será -14dB de la potencia análoga 25kW.

$$PD = -14dBPA \quad ; \quad PD = 1 \times 10^{\frac{-14}{10}} PA$$

$$PD = \frac{PA}{1 \times 10^{1.4}} \quad : \quad PD = \frac{PA}{25.11}$$

$$PD = 4\%PA \quad ; \quad PD = 1kW$$

Prueba Cobertura digital los mismos parámetros a -14dB.



**Figura 33.** Transmisor principal CAFAM-UNAPEC señal digital 1kW.

Fuente: RF cloud.

### 2.5.3 Transmisor análogo El Mogote

EL transmisor estará ubicado en El Mogote, Provincia Espaillat (19.483846, -70.489392) en una torre de 30 mts a una altura total sobre los 930 mts sobre el nivel del mar, para el cálculo de este trasmisor se hicieron varias pruebas a diferentes rangos de potencia 5 kW, 8kW, 10kW, para las potencias anteriormente mencionadas se utilizó el arreglo DI-4<sup>a</sup>, Consultar Tabla 11. Los Resultados arrojados dieron como mejor opción, una potencia análoga de 10kW bajo el arreglo DI-4A.

#### Resultados:

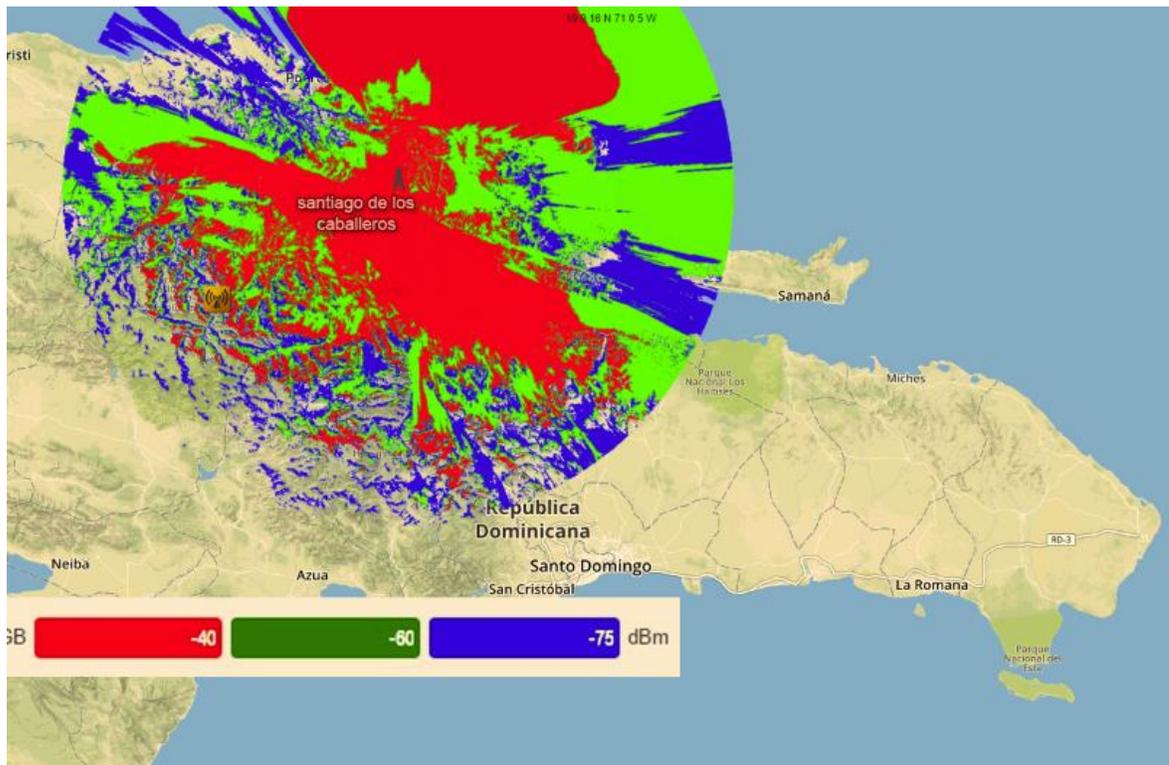


Figura 34. Cobertura Trasmisor El Mogote señal análoga 10kW.

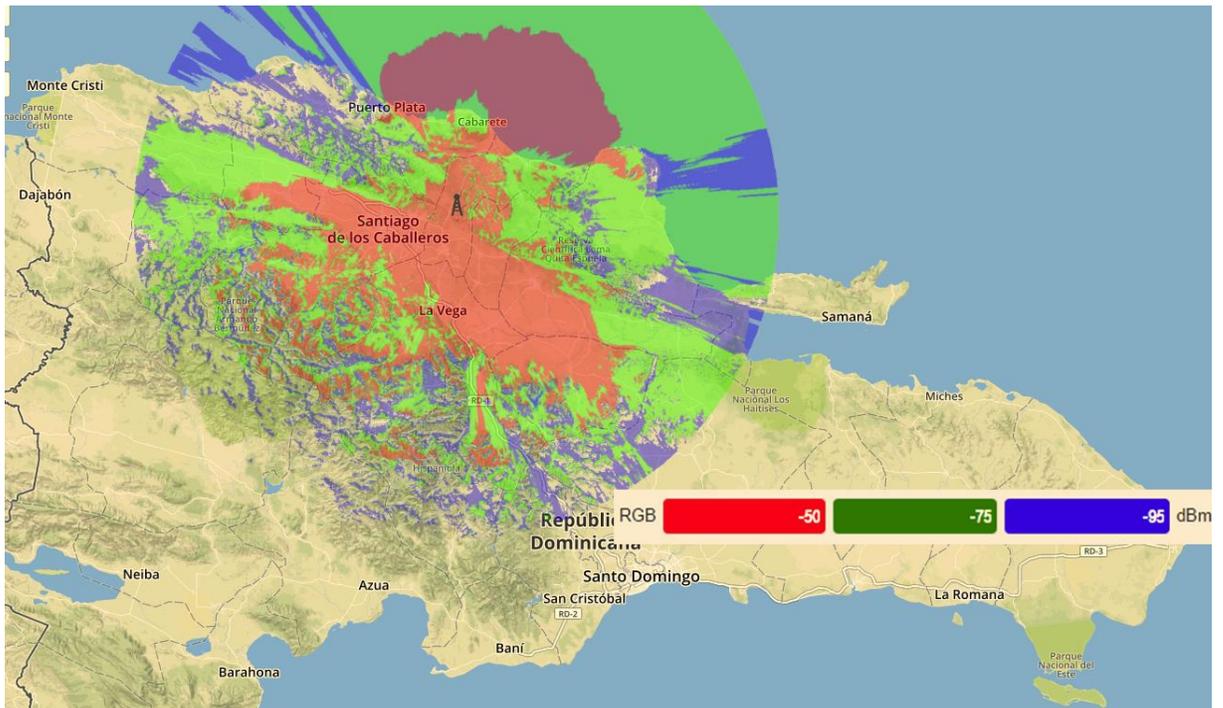
Fuente: RF cloud.

## 2.5.4 Transmisor digital El Mogote

Para el cálculo de la potencia digital la cual será -14dB de la potencia análoga 10kW.

$$PD = 4\%PA \quad ; PD = 400W$$

Prueba Cobertura digital mismos parámetros a -14dB.



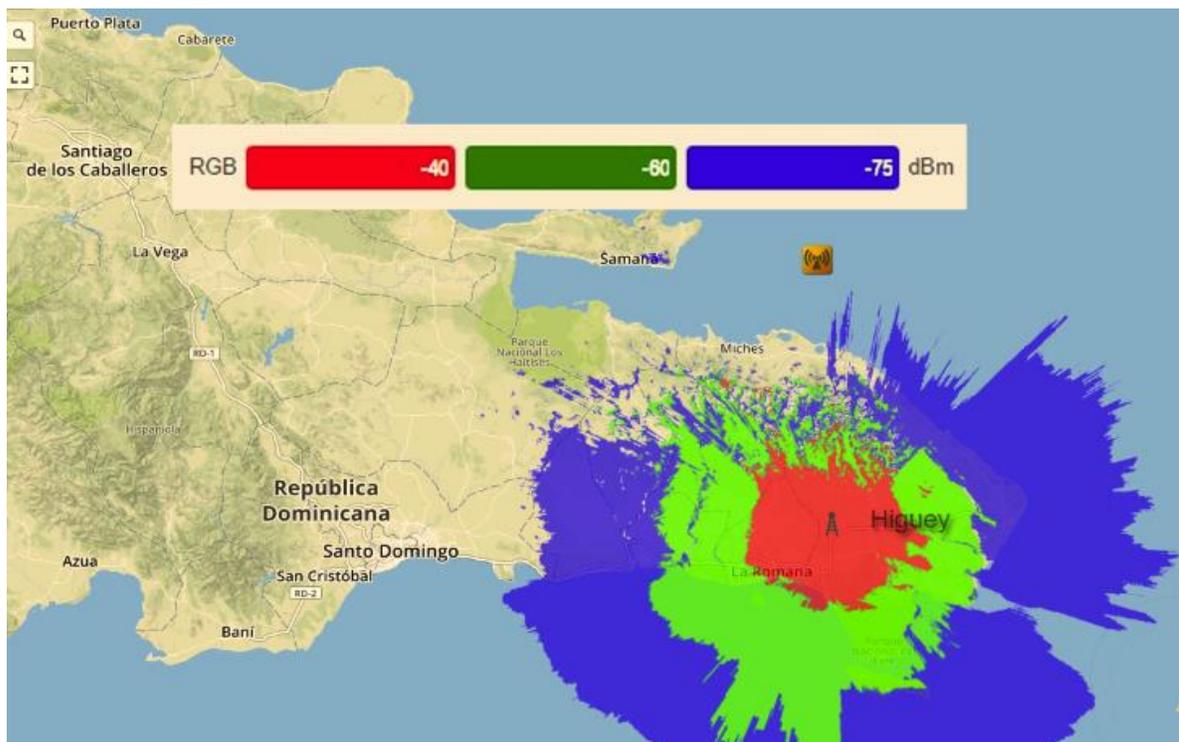
**Figura 35.** Cobertura Transmisor El Mogote señal análoga 400W.

Fuente: RF cloud.

## 2.5.5 Transmisor análogo Higüey

El transmisor estará ubicado en la autopista el Coral en las afueras de Higüey (18.512173, -68.820754) en una torre de 30 mts de altura, para una altura total de 83mts sobre el mar, para el cálculo de este trasmisor se hicieron varias pruebas a diferentes rangos de potencia 5 kW, 8kW, 10kW, para las potencias anteriormente mencionadas se utilizó el arreglo DI-4A, consultar Tabla 11. Los Resultados arrojados dieron como mejor opción, una potencia análoga de 10kW bajo el arreglo DI-4A.

### Resultados:



**Figura 36.** Resultados transmisor Higüey señal Análoga 10kW.

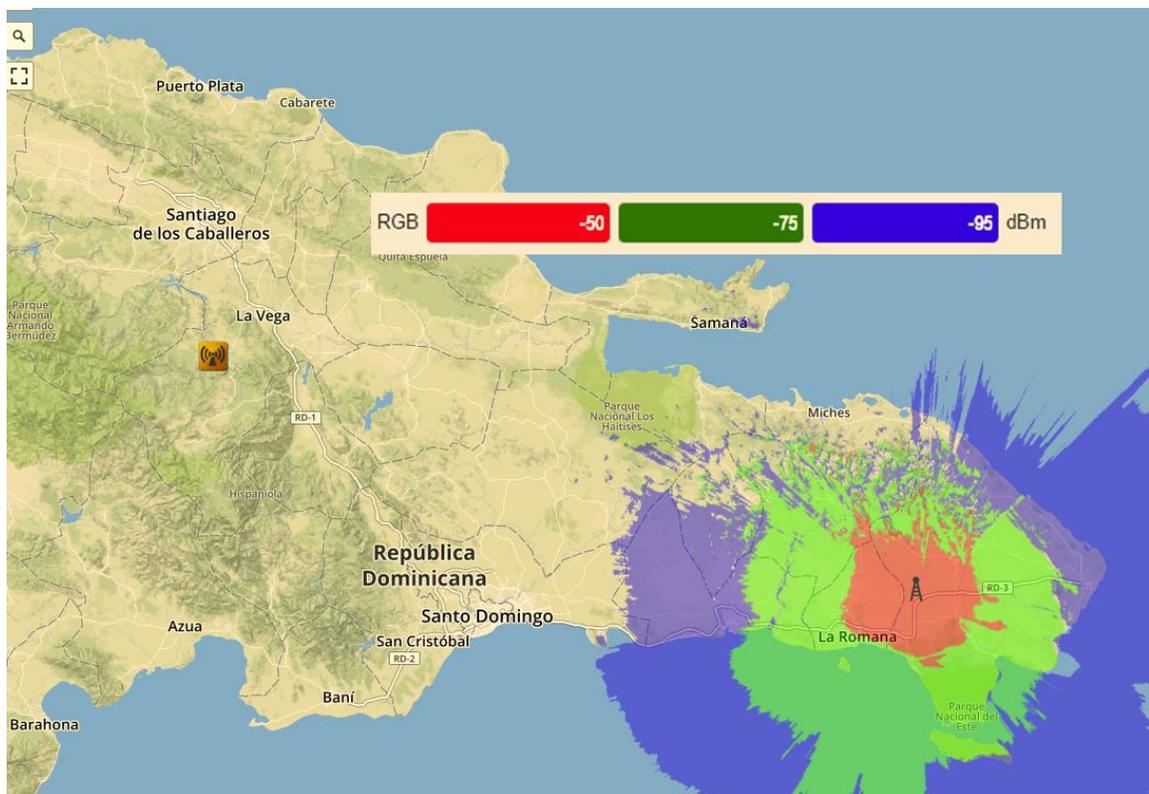
Fuente: RF cloud.

## 2.5.6 Transmisor Digital Higüey

Para el cálculo de la potencia digital la cual será -14dB de la potencia análoga 10kW.

$$PD = 4\%PA \quad ; PD = 400W$$

Prueba Cobertura digital mismos parámetros a -14dB.



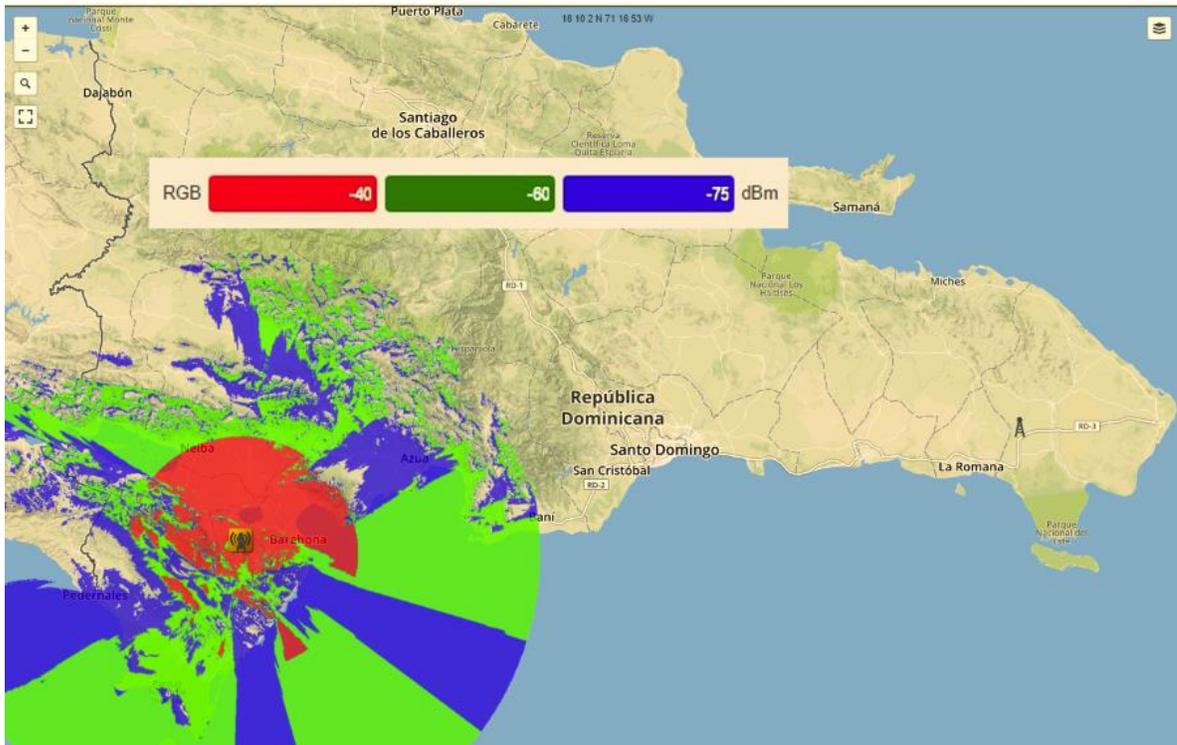
**Figura 37.** Resultados transmisor Higüey señal digital 400W.

Fuente: RF cloud.

## 2.5.7 Transmisor Análogo Barahona la Hoz

El transmisor estará ubicado en La Hoz, Barahona (18.746307, -71.456189) en una torre de 30 mts de altura, para una altura total de 1660 mts sobre la altura del mar, para el cálculo de este transmisor se hicieron varias pruebas a diferentes rangos de potencia 0.5 kW, 0.7kW, 1 kW, para las potencias anteriormente mencionadas se utilizó el arreglo DI-4A, consultar Tabla 11. Los Resultados arrojados dieron como mejor opción, una potencia análoga de 1 kW bajo el arreglo DI-4A.

### Resultados:



**Figura 38.** Cobertura transmisor Barahona la Hoz señal Análoga 1kW.

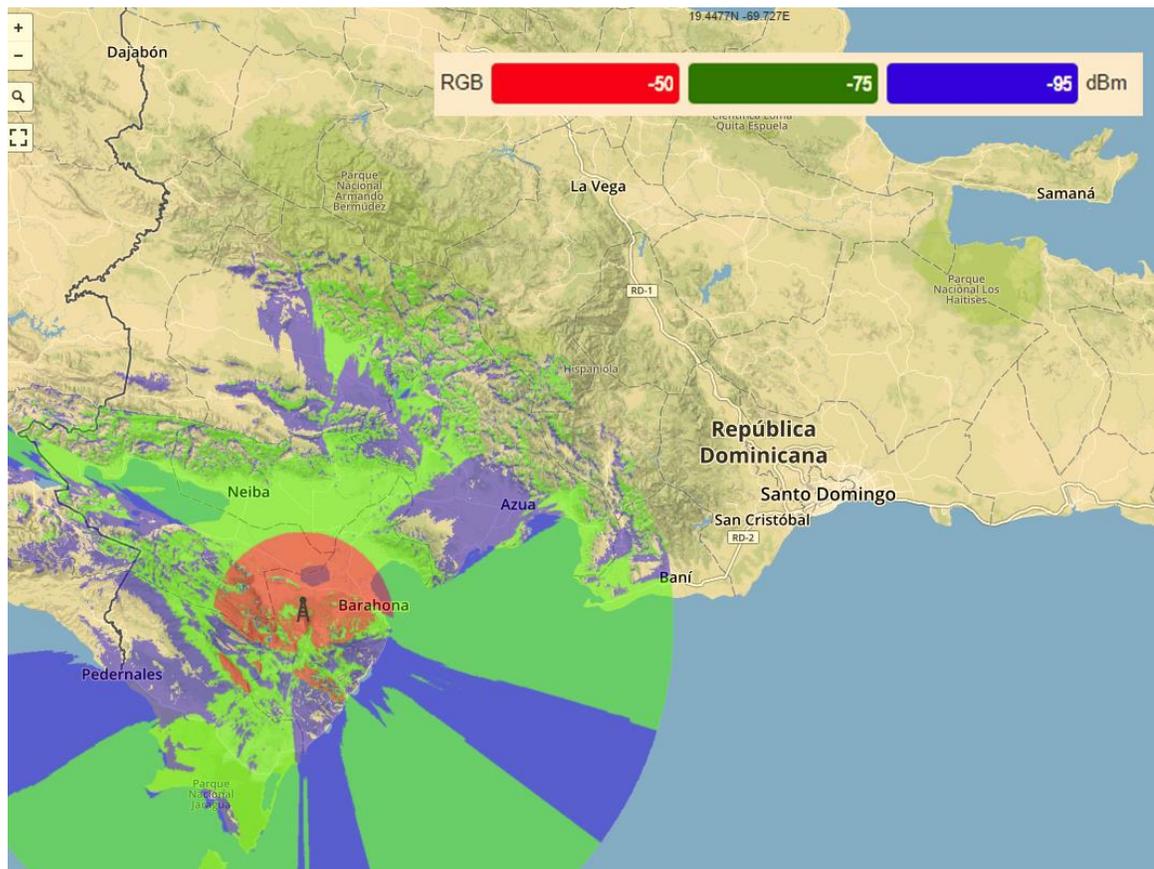
Fuente: RF cloud.

## 2.5.8 Transmisor Digital Barahona la Hoz

Para el cálculo de la potencia digital la cual será -14dB de la potencia análoga 1kW.

$$PD = 4\%PA \ ; PD = 40W$$

Prueba Cobertura digital mismos parámetros a -14dB.

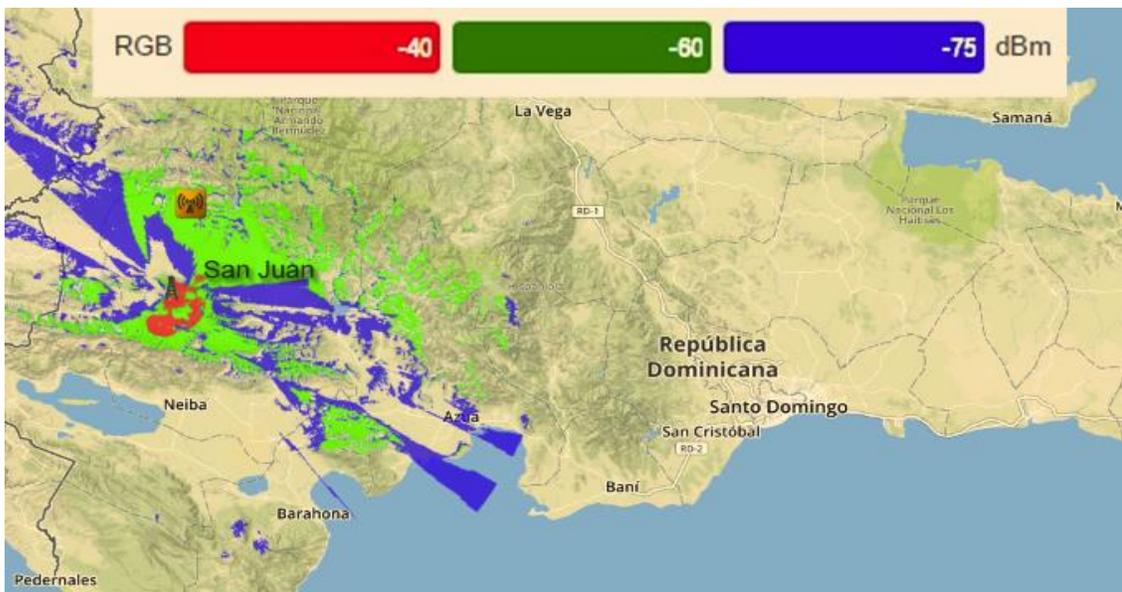


**Figura 39.** Cobertura transmisor Barahona la Hoz señal digital 50 W.

Fuente: RF cloud.

## 2.5.9 Transmisor Güanito San Juan de la Maguana

El transmisor estará ubicado en Loma Güanito, San Juan de la Maguana (18.746307, -71.456189) en una torre de 30 mts de altura, para una altura total de 1680 mts sobre la altura del mar, para el cálculo de este transmisor se hicieron varias pruebas a diferentes rangos de potencia 100 W, 125 W, 200 W, para las potencias anteriormente mencionadas se utilizó el arreglo DI-4A, consultar Tabla 11. Los Resultados arrojados dieron como mejor opción, una potencia análoga de 125 W bajo el arreglo DI-4A Nota: para San Juan de la Maguana debido a la cercanía de la frontera y el respeto al espacio radio eléctrico de otra nación dígame Haití, la antena debe estar direccionada a  $127^{\circ}$  y una inclinación de  $27^{\circ}$  para evitar que la señal entre hacia territorio haitiano.



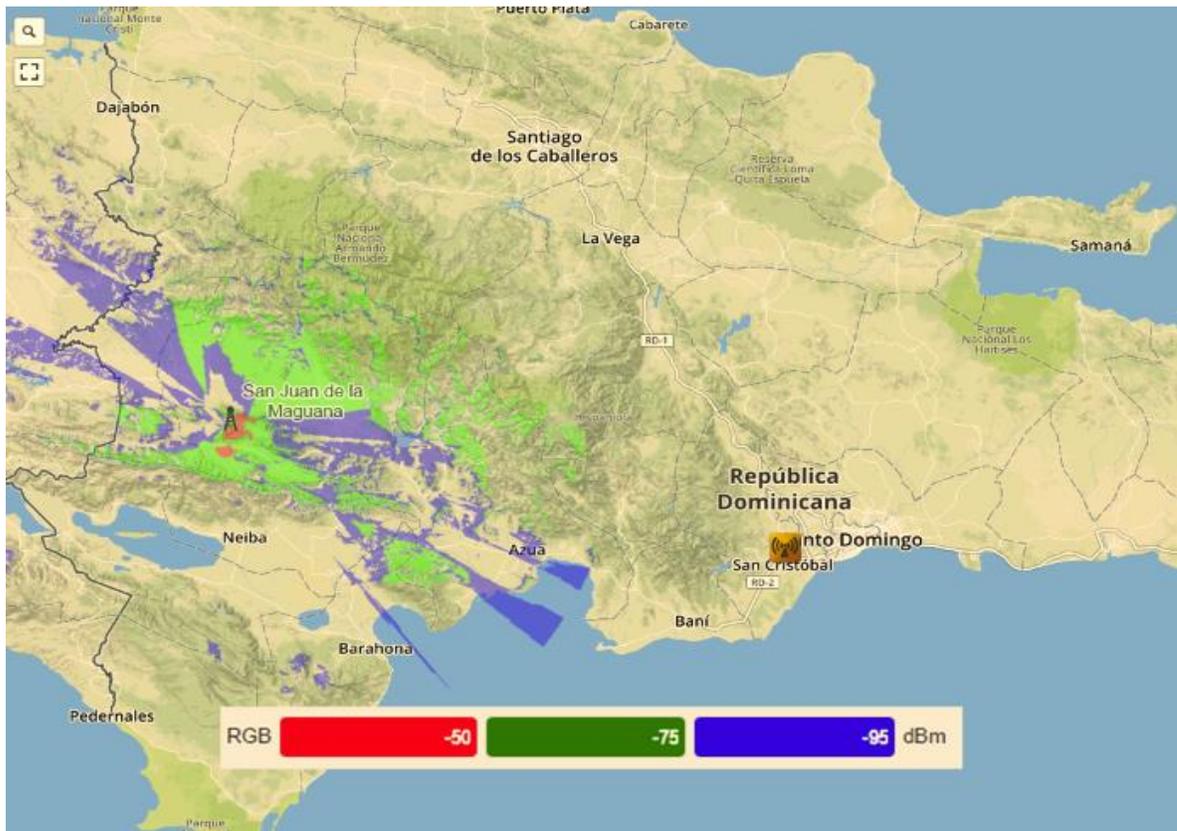
**Figura 40.** Cobertura Güanito San Juan de la Maguana Análogo 125W.

Fuente: RF cloud.

Para el cálculo de la potencia digital la cual será -14dB de la potencia análoga 125W.

$$PD = 4\%PA \ ; PD = 5W$$

Prueba Cobertura digital con los mismos parámetros a -14dB.



**Figura 41.** Cobertura Güanito San Juan de la Maguana digital 5W.

Fuente: RF cloud.

## 2.5.9 Mapa de cobertura total análoga.

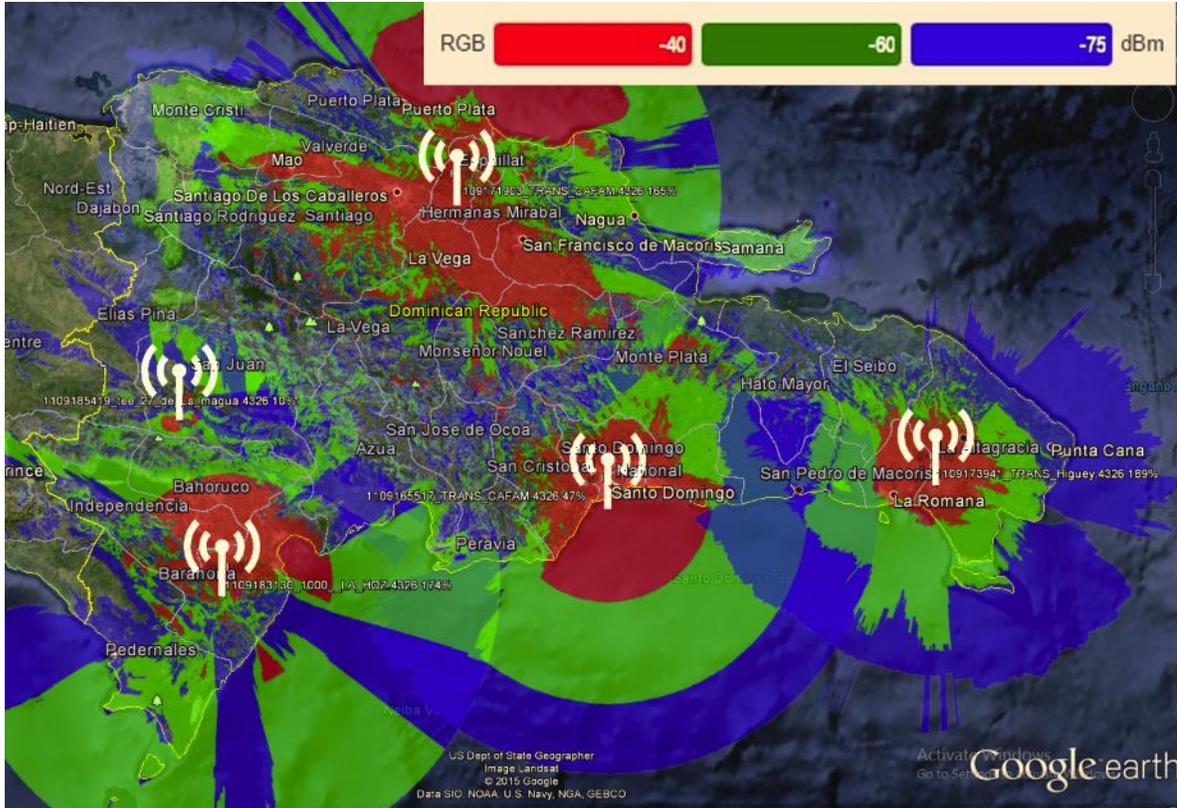
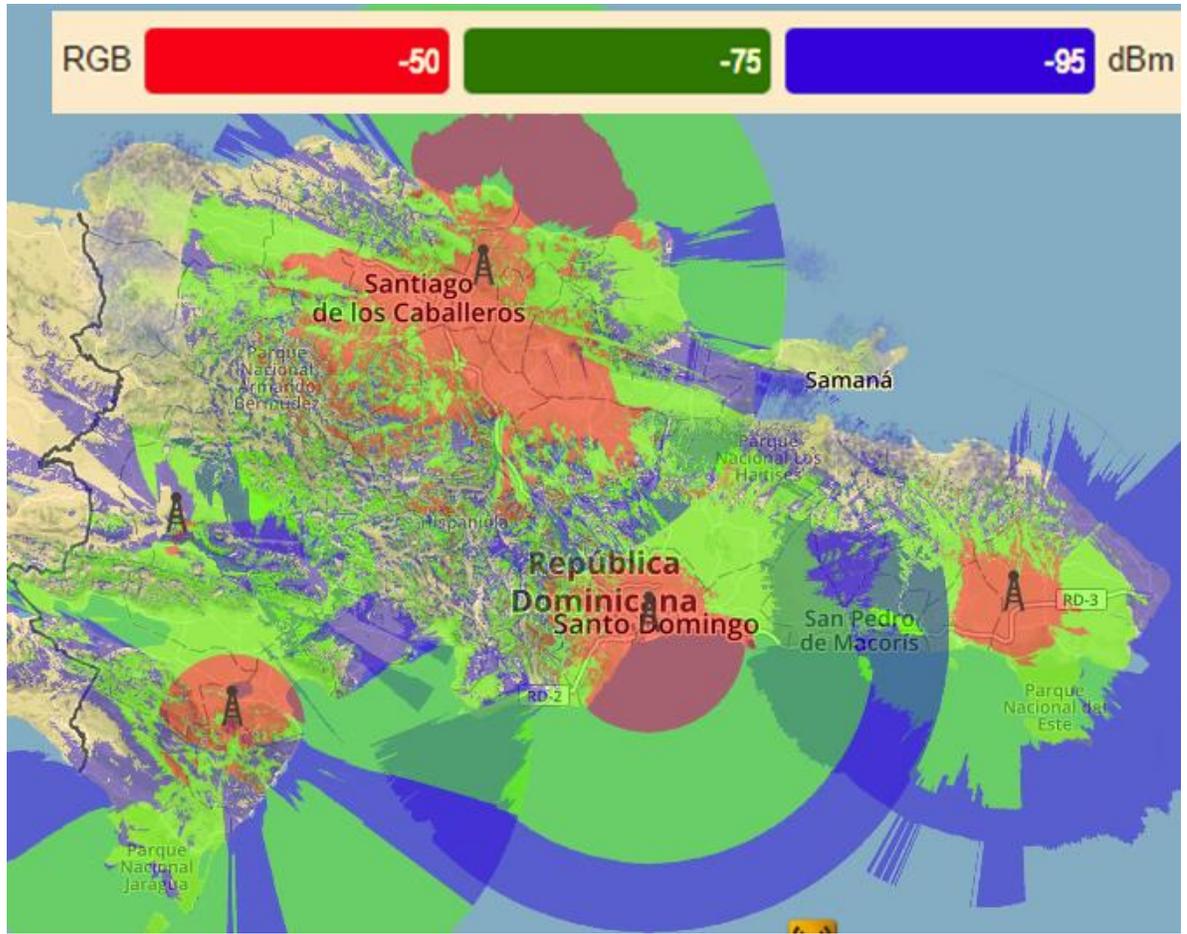


Figura 42. Cobertura total análoga.

Fuente: RF cloud.

## 2.5.10 Mapa de cobertura total digital.



**Figura 43.** Cobertura total digital.

Fuente: RF cloud.

## **2.6 Equipos y consideraciones para el sistema de transmisión**

### **2.6.1 Espacio en la Caseta de Transmisión**

Los sistemas de combinación en alto nivel o medio nivel ocupan más espacio que los otros métodos porque utilizan transmisores digitales más potentes y requieren líneas de transmisión externas, pero para los transmisores de baja potencia utilizados para la combinación especial frecuentemente son montados en rack los mismo ocupan poco espacios, con el beneficio que todos los equipos adicionales pueden instalarse en un gabinete rack de 19 pulgadas.

### **2.6.2 Servicio de Energía Eléctrica**

El sistema de combinación espacial van a consumir menos energía que las otras arquitecturas del IBOC, por lo tanto es recomendable hacer un cálculo del consumo de energía total para cada uno de los métodos de transmisión, se debe tener en cuenta el costo de aumentar el servicio eléctrico por si el sistema por algún cambio lo requiera, se debe tener considerar, el gasto adicional del sistema de enfriamiento.

### **2.6.3 Requisitos de la Torre**

Si la emisora piensa usar la combinación espacial, las emisoras que cuentan con un transmisor análogo y quieren cambiar hacia la transmisión híbrida digital deben tener en cuenta ciertas consideraciones tales como:

- La torre existente posee el espacio adicional suficiente para montar la antena digital.
- Es posible montarla de tal manera que tenga un patrón de cobertura similar a la antena análoga.
- Puede ser remplazarlas con antenas de doble entrada para la mejor cobertura análoga-digital.
- La estructura existente de la torre es capaz de soportar el peso y carga de viento adicional causados por los cambios al sistema de radiación.

### **2.6.4 Tener Cuidado Escogiendo al Proveedor de Equipos**

Los transmisores y excitadores FM digitales IBOC son productos especializados que tienen que cumplir una cantidad de parámetros de linealidad y retardo de grupo bien específicos para dar buen rendimiento en el campo y mantener las señales dentro de la máscara espectral del canal. Los fabricantes de transmisores que han sido licenciados por iBiquity Digital Corporation para fabricar y vender productos de transmisión FM de HD Radio hicieron mucho esfuerzo para asegurar que sus

productos cumplan estos requisitos, así que el comprador puede estar seguro que los productos comprados funcionan dentro de las especificaciones. Tenga cuidado con fabricantes que no han sido calificados por iBiquity pero que dicen que sus transmisores son “preparados para el IBOC”.

iBiquity proporciona una lista de fabricantes que ofrecen transmisores que cumplen con los requisitos bajo licencia de iBiquity está disponible en: [http://www.ibiquity.com/broadcasters/quality\\_implementation/broadcast\\_equipment\\_partners](http://www.ibiquity.com/broadcasters/quality_implementation/broadcast_equipment_partners).

### **2.6.5 Instalar un Sistema No Break (UPS)**

Sin importar donde se instalen el exporter e importe se necesita el uso de un sistema de no break un UPS, ya que la perdida momentánea de la corriente que alimenta estos equipos puede causar interrupción que va desde unos cuantos segundo a unos minutos entre los cuales los equipos reinician el sistema.

### **2.6.6 Evitando Enlaces Que Utilizan la Compresión de Datos**

Para lograr la mayor calidad de audio posible, los radiodifusores que transmiten la radio digital deberían evitar el uso de cualquier equipo que se aproveche de los algoritmos de compresión de datos (MPEG2, MP3, APTX, AAC, etc.). Por eso, enlaces digitales que utilicen la compresión de datos no son recomendables.

### **2.6.7 El Uso de Enlaces Análogos y Digitales Separados**

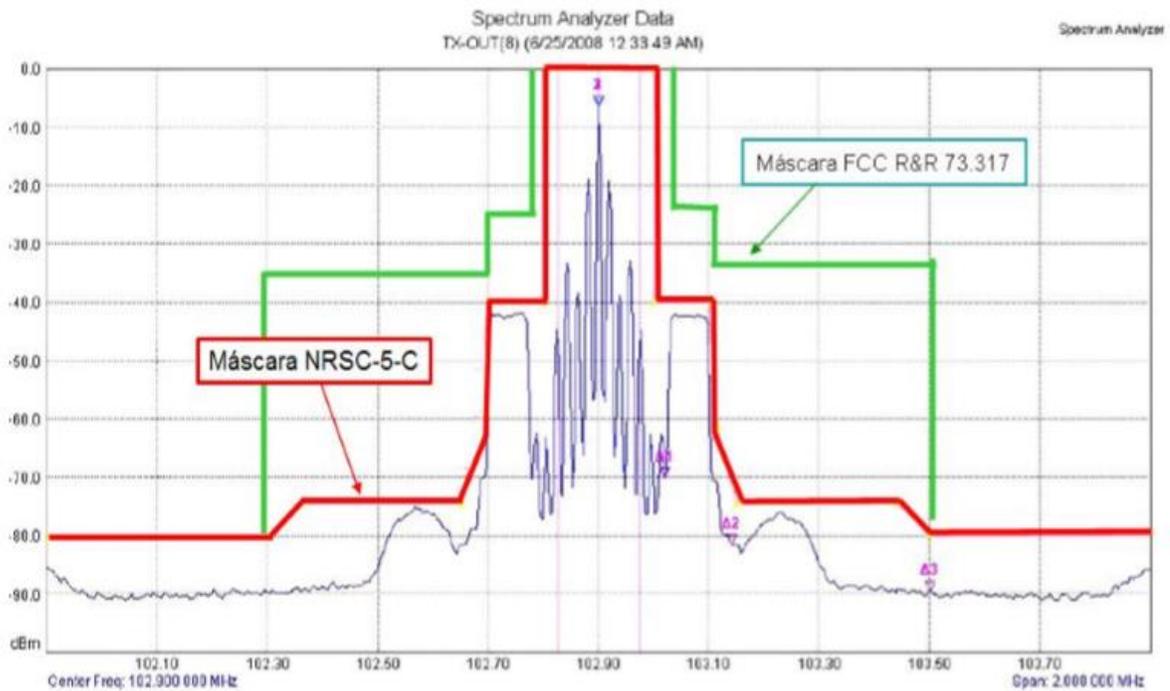
Los radiodifusores FM pueden decidir a usar un enlace análogo separado, como sus radioenlaces actuales, para entregar su audio análogo FM, en cuyo caso nada más se necesitarán un enlace digital capaz de entregar la señal Ethernet UDP de 350+ kbps desde el Exporter.

### **2.6.8 Confirmar la Compatibilidad Entre Productos De Transmisión de Fabricantes Diferentes Antes de la Compra.**

Con un transmisor FM análogo, normalmente es posible usar cualquier marca de excitador con cualquier otra marca de transmisor. Sin embargo, esto muchas veces no es el caso con transmisores FM de HD Radio, cada fabricante utiliza alguna forma de pre distorsión – siendo fijo o dinámico – donde la forma de onda modulada del excitador está distorsionada en forma invertida para cancelar las no linealidades del amplificador de RF. De esa manera, muchos fabricantes han diseñado sus excitadores y amplificadores como un sistema, y estos productos están hechos para trabajar en conjunto, por lo tanto puede ser que el uso de un excitador digital con un amplificador híbrido o digital de marca diferente no dé el resultado deseado.

## 2.6.9 Medición de la máscara espectral

Para la correcta transmisión digital hay que verificar que la emisora cumpla con la máscara espectral FM internacionalmente reconocido. La información digital de HD Radio está transmitida en una serie de portadoras OFDM de bajo nivel ubicadas entre +100 y +200 kHz en cada lado de la frecuencia de portadora FM. Esta máscara debe cumplir el requisito para que las emisoras FM limiten sus señales espurias a por lo menos -25 dBc debajo de la potencia de portadora sin modulación. Garantizando la pureza espectral mínima del transmisor.



**Figura 44.** Una Señal IBOC FM dentro de las máscaras de la FCC y la NRSC-5-C.

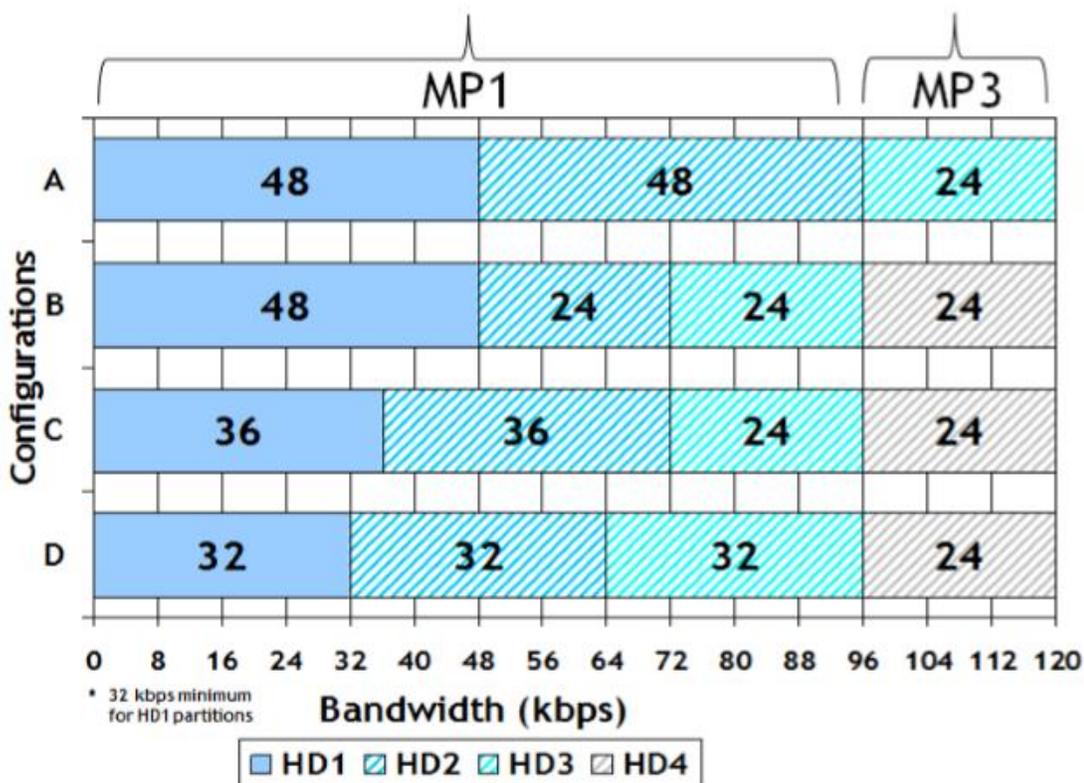
## 2.6.10 La Multiprogramación

La Emisora trabajara en el modo de operación MP1 Híbrido, para pruebas optimas del estándar bajo su modo operable más estable, una vez crezca o decida mudarse del modo MP#, el costo incremental de agregar la multiprogramación es relativamente modesto, el único producto adicional esencial es un equipo que se llama el IMPORTER. Este dispositivo recibe los audios de los programas adicionales y divide la señal de datos de HD Radio en segmentos distintos, cada uno asignado a un canal de HD Radio diferente. El Importador de HD Radio tiene mucha flexibilidad en su capacidad de dividir el ancho de banda disponible y alocar las diferentes porciones entre el canal HD1 y uno o más canales de multiprogramación. El radiodifusor decide como alocar su anchura de banda en el software del Importer de acuerdo con el número de canales y el estilo de programación que está transmitiendo.

**Tabla 10.** Modos y velocidades de Transmisión.

Modo	Velocidad de Transmisión de Datos
MP1	98.4 Kbps
MP2	110.8 Kbps
MP3	123.2 Kbps
MP11	148 Kbps

Las reglas en los Estados Unidos y México requieren que la calidad de audio del canal HD1 sea por lo menos igual al canal análogo, indicando que la emisora tiene que elegir una frecuencia de muestreo de por lo menos 32 kHz para el canal HD1.



**Figura 45.** Configuraciones posibles para la división del ancho de banda de la señal digital IBOC FM entre varios servicios de programas en los modos MP1 y MP3.

### 2.6.11 Configuración Importer- Exporter

El Exporter a utilizar será el Xpi-10esp ubicando los procesadores de audio, Importer y Exporter en los estudios. Esta es la configuración más cómoda ya que de esta manera se puede ajustar el procesamiento de audio y la mayoría de las funciones de HD Radio en los estudios. El importer será utilizado en caso de que la emisora

quiera implementar el modo de IBOC Híbrido extendido, de no ser así, en el modo híbrido normal este equipo no es requerido.

El audio FM estereofónico análogo, estará en formato I/D, compuesto o AES3 con una Conexión UDP Ethernet de 350 kbps para todo los demás audios de programa y datos.

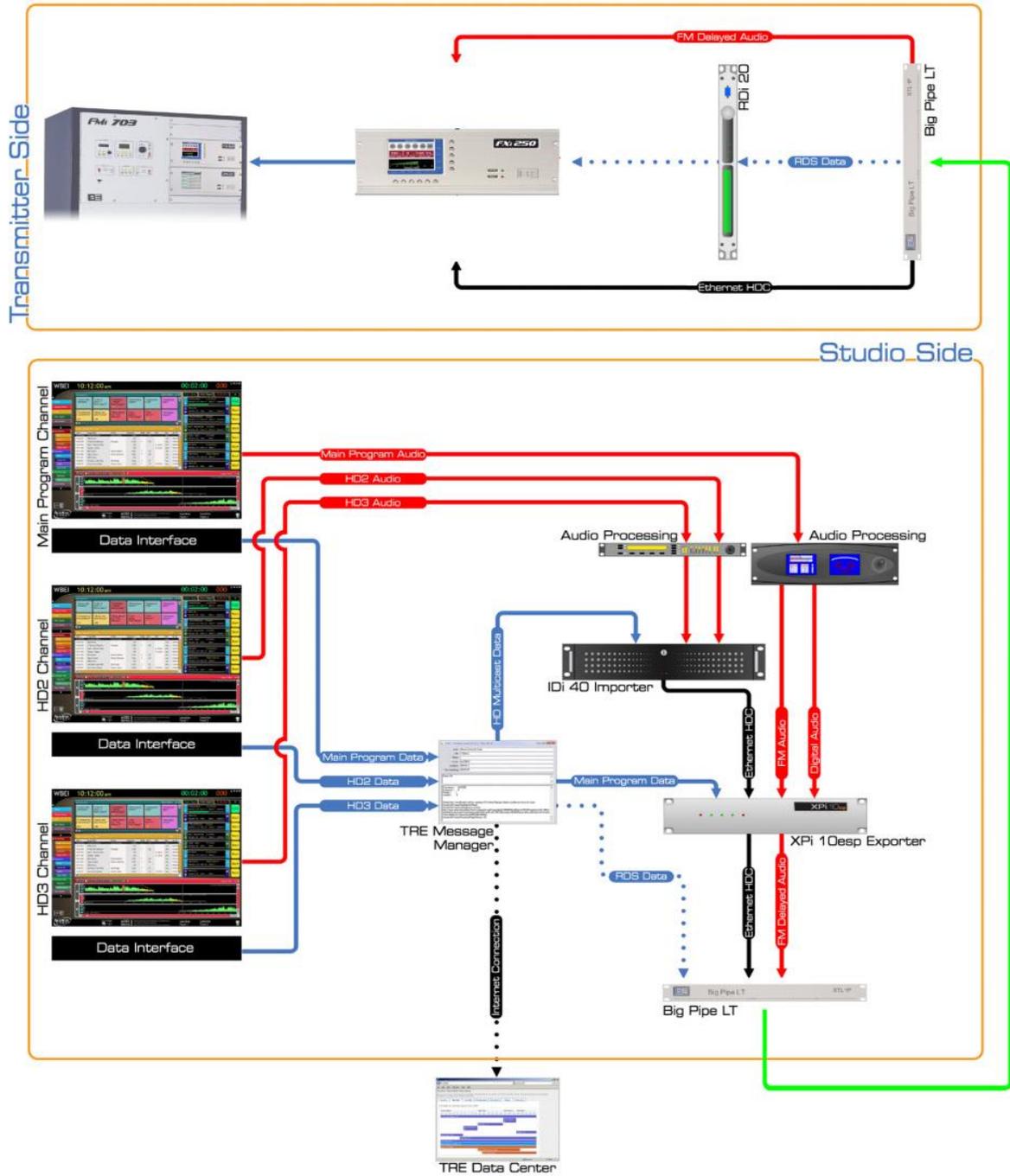


Figura 46. Importer y exporter en los estudios (Cortesía Broadcast Electronic).

### **2.6.12 Sincronización de la red SFN**

El modulo GPS para utilizar será el Wi125 GPS Timing Receiver por su alta precisión y ventajas de diseño, para la sincronización de la red se utilizara la siguiente configuración dentro de estudio, (Si todos los equipos de audio AES se encuentran en el mismo lugar, el asunto de la sincronización de los relojes se simplifica. Se puede usar la señal de reloj de cualquier equipo como referencia, distribuyendo esta señal a los demás equipos en el edificio).

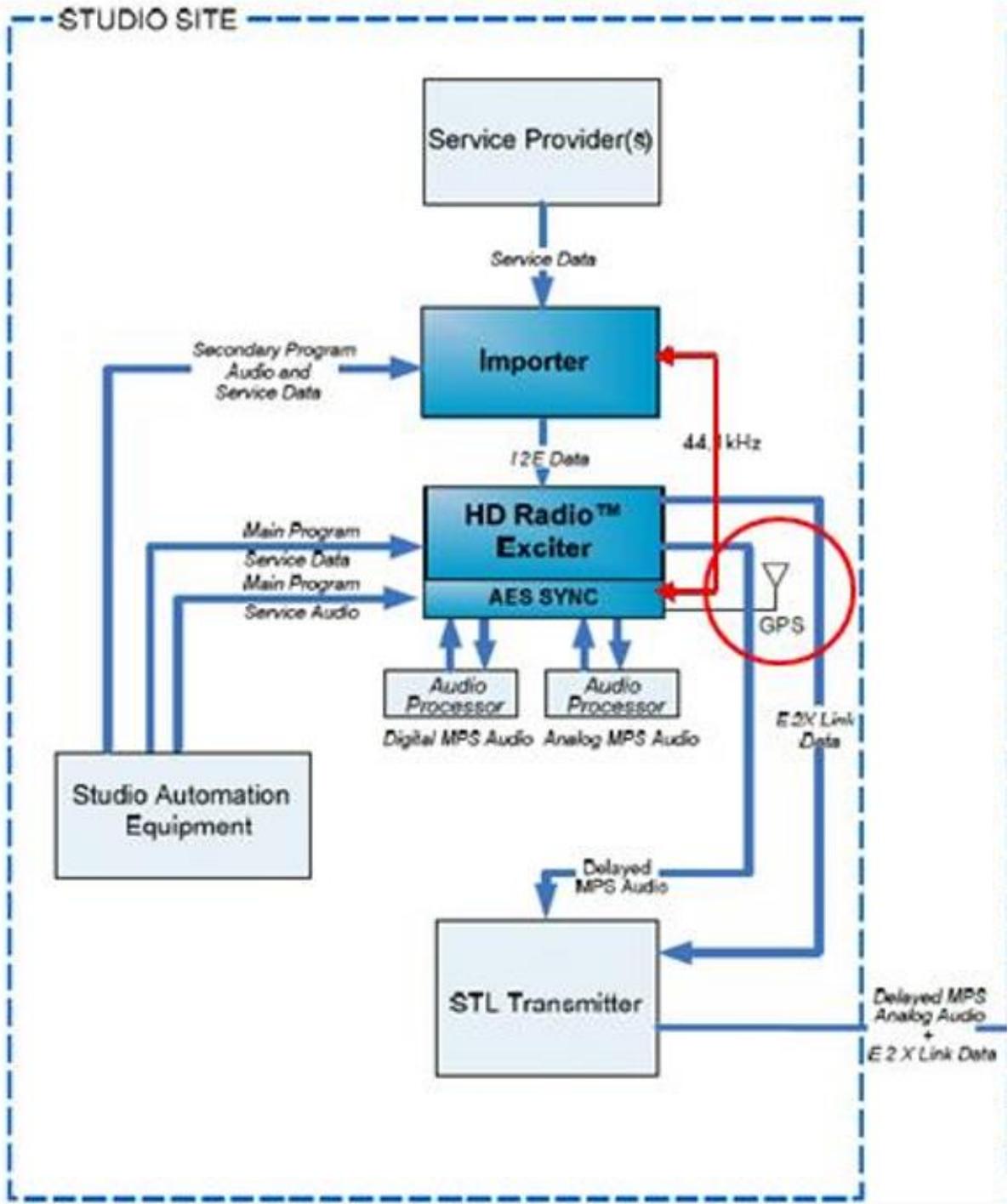


Figura 47. Configuración para sincronización de la red.

### **2.6.13 Alineación de Tiempo**

Para demorar el audio análogo y este se pueda alinear con el audio digital, se dará a lugar mediante el retardo interno del exporter a través de una línea de retardo de audio programable la cual es una característica integrada del Exporter de HD Radio.

Para el alineamiento de tiempo el modulo GPS a utilizar será el mismo que viene integrado al exciter Xpi10Esp y el equipo para monitoreo y correcto alineamiento de la señal será el AUDEMAT Monitor(Goldean Eagle FM), para tener una precisa sincronización de tiempo se necesitan monitores de modulación, se necesitan monitores de HD Radio que miden el alineamiento entre los canales FM análogo y HD1 directamente, estas unidades indicaran la diferencia de tiempo entre los dos canales en muestras de audio y segundos, son fáciles de usar y ofrecen la manera más precisa para alinear el audio.



**Figura 48.** Monitoreo Golden eagle FM al aire.

## 2.6.14 Mantenimiento Alineación de Tiempo

Ya ajustado precisamente, existe la inclinación a que las señales análoga/digital y los diferentes transmisores pierdan el alineamiento con el tiempo, por ende es imprescindible y necesario realizar los alineamientos de las señales durante un periodo de tiempo no mayor de 2 a 3 semanas, actualmente hay equipos capaces de corregir automáticamente y continuamente cualquier desfasaje o error de alineamiento. Los equipos operan recibiendo información de los monitores de modulación, los equipos reciben la información monitores de modulación brindando

los valores exactos y fases de ambas señal para así reparar el error de alineamiento y corregirlo automáticamente.

### **2.6.15 La Frecuencia de Muestreo de Audio Digital**

La frecuencia de muestreo para la audio digital será mayor a 44.1kHz, para que la radio HD radio tenga calidad cercana a la de un disco compacto, con un rango de frecuencia de hasta 20 kHz, en casi que se utilice una menor frecuencia 32kHz o 36 kHz, no sería posible entregar el rango completo de altas frecuencias. Por eso es de vital importancia a la hora de escoger el modelo exporter a trabajar que estos acepten entradas de audio AES3 con una frecuencia de 44.1 kHz o mayor. En caso que no, será necesario instalar un convertidor de frecuencia de muestreo antes del Exporter.

### **2.6.16 Compresión de Datos**

El algoritmo de compresión utilizado será HDC. Este sistema es capaz de entregar una alta calidad de audio al oyente dentro de un solo canal FM. Nota si es usa otro tipo de compresión podrá dar un sonido aceptable pero no con la calidad del formato HDC. A toda costa se debe evitar la compresión de datos en el enlace estudio-planta, también se debería evitarla en los estudios, especialmente en las fuentes de música.

## 2.7 EQUIPOS

### Transmisor FM de baja potencia STX LP 1KW



**Figura 49.** Transmisor STX LP de 1KW.

BE STX LP fue el primer transmisor de baja potencia para combinar con eficacia la calidad, características y soporte que desea a un precio excepcional. Con STX LP Generación II, ahora hay aún más valor. Con características integradas que no se encuentran en modelos de la competencia, BE le ahorra más que el costo del equipo externo adicional. Menor tamaño rack, instalación más rápida y los tiempos de preparación, mantenimiento reducido y futuras opciones de expansión del sistema lo pone en una ventaja competitiva al tiempo que garantiza la fiabilidad general del sistema.

## **Diseñado para durar**

Aprovechando la tecnología de probarse, la STX LP da estaciones de baja potencia un impulso con un diseño mejorado PA, el aumento de la redundancia y la flexibilidad extrema. El diseño verdaderamente escalable acomoda dos configuraciones de sistema actuales y futuras, incluyendo principal-alternativo, booster de FM y N + 1 aplicaciones, lo que garantiza su compra hoy se adapte a sus necesidades de mañana. A medida que cambian las necesidades de su estación, por lo que puede su transmisor, que le ahorra dinero en costosas actualizaciones del sistema.

### **Características principales:**

- HD Radio y DRM+ Compatible.
- Diseño escalable permite configuraciones de 1 kW, 2 kW, 3 kW y 5 KW.
- Filtro interno de paso bajo.
- Excitador digital estándar integrado.
- Nueva guía con acceso a todos los parámetros del transmisor importantes.
- Configuración rápida y fácil.
- Panel de distribución de energía para una instalación rápida y fácil.
- Conectividad IP en cualquier momento y en cualquier lugar de acceso.
- SNMP Nivel de control 3 y Protección.

En la sesión de anexo se encuentra la Tabla 16 con las especificaciones técnicas del transmisor.

## STXe 60



*Figura 50. Transmisor STXe 60.*

El STXe cuenta con la adición de VPe, Vector de alimentación Enhancement, este nuevo excitador también puede operar en HD Radio <sup>™</sup> o DRM + aplicaciones, proporcionando la capacidad de ser utilizado en aplicaciones elevadas a nivel de HD o en DRM + instalaciones que desean un análogo FM y DRM + transmisión de una sola transmisor. Con la línea STXe Exciters, usted elige su estándar digital y el STXe está listo para usted. Incluso está aprobado para LPFM.

### Características principales

- FM, FM + HD Radio, HD Radio, DRM + o FM + DRM + modos de funcionamiento

- Aprobado para LPFM
- Rendimiento de audio incomparable
- Pequeña huella de pie
- Estándar de S de BE y transmisores Serie T FM
- Rango de potencia de 5 W a 60 W
- Diseñado y fabricado en los EE.UU.

## **Transmisor STXe 500**

El STXe Con la adición de VPe, Vector de alimentación Enhancement, este nuevo excitador también puede operar en HD Radio <sup>™</sup> o DRM + aplicaciones, proporcionando la capacidad de ser utilizado en aplicaciones elevadas a nivel de HD o en DRM + instalaciones que desean un análogo FM y DRM + transmisión de una sola transmisor. Con la línea STXe Exciters, usted elige su estándar digital y el STXe está listo para usted. Incluso está aprobado para LPFM.



**Figura 51.** Transmisor STXe 500.

## Características principales

- FM, FM + HD Radio, HD Radio, DRM + o FM + DRM + modos de funcionamiento.
- Aprobado para LPFM.
- Rendimiento de audio incomparable.
- Pequeña huella de pie.
- Estándar en los transmisores de la serie T de FM de BE.
- Rango en el poder desde 25 W a 500 W.
- Diseñado y fabricado en los EE.UU.

## Procesador Dual Analógico/Digital DSPXtra-FM FM Audio



**Figura 52.** *Procesador Dual Analógico/Digital DSPXtra-FM FM.*

Ningún otro procesador de FM, tiene tanto, un Broadcast de seis bandas limitador de pre análisis y un nivelador RMS integrado. El DSPXtra-FM le da una ventaja competitiva permitiendo conseguir el sonido y el volumen necesario para que su estación tenga una calidad de sonido distintiva.

Cuando usted no quiere pagar el alto precio de muchos procesadores tradicionales de FM, pero no puede permitirse cualquier cosa menos que lo mejor para su FM y servicios de difusión digitales, el DSPXtra-FM es su mejor opción.

El DSPXtra-FM aprovecha 22 DSP para mantener el sonido de su estación consistentemente fuerte y libre de purulencias. Además de limitar la multi-banda y el nivelador de Ariane, el núcleo de procesamiento incluye mejora de paramétrica de bajos y la plataforma, junto con el recorte de material compuesto con la protección del piloto.

Las rutas de procesamiento dual hacen que el DSPXtra-FM pueda realizar efectivamente dos procesos en uno, alimentando tanto el transmisor analógico y un servicio digital, tales como HD Radio, DAB, DRM o un flujo de Internet. El procesador análogo FM tiene un clipper de distorsión controlada multibanda, mientras que el segundo camino, a través de vía analógica, posee conectores de salida digital AES / EBU, incorporando una tasa de bits optimizado. El compacto DSPXtra-FM está diseñado para una fiabilidad sin igual y un funcionamiento sin problemas en instalaciones más desafiantes del mundo.

El DSPXtra-FM posee, un panel LED frontal para la medición de audio y configuración frontal para ayuda a la interfaz de usuario, entrada USB hacia el panel y las operaciones. Al igual que con todos los procesadores de BW Broadcast FM, la DSPXtra-FM tiene codificador estéreo de clase mundial de BW Broadcast, reloj de

tiempo real para la programación preestablecida, preestablecido conmutación A / B, pantalla gráfica LCD, además de interfaces de control remoto de serie y TCP / IP, y analógicas y AES / EBU entradas digitales con conmutación de silencio configurable.

El BW Broadcast DSPX Series presenta una serie cuidadosamente desarrollado de procesadores, con una versión diseñada para satisfacer exactamente sus necesidades y presupuesto. Para las estaciones con menos requisitos de procesamiento intensivo o presupuestos más ajustados, no busque más que el DSPX-FM y DSPXmini-FM.

### **Excitador analógico FM 250 W**



*Figura 53. Excitador analógico.*

El 250C FM de Broadcast Electronics puede traer transmisores de FM existentes a los estándares de calidad digital con la menor distorsión de cualquier excitador disponible. La tecnología de punta del 250C FM sigue siendo el estándar reconocido

para un rendimiento de audio de FM. Este producto cuenta excelentes especificaciones, estos excitadores son totalmente transparente a su señal de emisión.

### **Características principales:**

- El 250C FM puede servir como un transmisor de FM 250 vatios stand-alone fiable.
- Fase de bucle de enganche de Informática optimizada mejora enormemente respuesta de baja frecuencia.
- Contiene un MOSFET 250 vatios como dispositivo de salida.
- N Opcional + 1 tablero permite la selección de hasta 10 frecuencias diferentes en ubicaciones locales o remotas.
- Rango de frecuencias de 87 a 109 MHz programable digitalmente en incrementos de 10 kHz.

Las especificaciones de rendimiento cuentan con un rango dinámico que rivaliza con reproductor de CD con valores de distorsión armónica y de intermodulación tan bajos que son prácticamente inconmensurable.

## Audemat FM monitor



*Figura 54. Monitor AUDEMAT FM (GoldenEagle FM).*

### Características:

- Demostración en línea WebEx.
- Monitoreo simultaneo de 3 receptores 3 FM en tiempo real simultáneas (por ejemplo, conexión remota + monitoreo + grabación).
- Monitoreo de hasta 40 programas.
- El monitoreo de señales de FM (RF, MPX, Audio, Piloto, RDS), MPX Energía y contenido (audio, RDS).
- Escaneado y supervisión FM Band.
- Mediciones en tiempo real, análisis de 1 mes de historial.
- Audio y RDS en streaming.
- Notificación de alarma por correo electrónico, SMS o SNMP.
- Servicios opcionales de control.

- ScriptEasy y MasterView para la configuración de E / S y la visualización de estado actual.
- Comunicación completa vía IP: o Ethernet como estándar con una serie con módems opcionales.

### **Beneficios:**

- Realizar el seguimiento del estado en tiempo real de su señal 24/7/365.
- Notificación instantánea de cualquier condición de fuera de tolerancia.
- La búsqueda automática le avisa de posibles fuentes de transmisiones de interferencia piratas.
- Analizar las mediciones y los registros grabados de seguimiento del funcionamiento e identificación de las tendencias.
- Control remoto de los datos RDS para asegurar que los servicios RDS se gestionan correctamente y de que la señal de RDS es libre de errores.
- Escuche lo que sus oyentes escuchan con streaming de audio en tu escritorio.
- Acceso para configurar y controlar todos los equipos en el sitio de transmisión con control remoto a través de TCP / IP.

## Exportador FM HD Radio



**Figura 55.** Exportador FM HD Radio.

Diseñado para el operador de la facilidad de uso y la implementación simple de HD, el XPI 10esp Exportador Embedded de Broadcast Electronics ofrece lo último en el desarrollo de HD Radio.

Basado en el nuevo diseño integrado, el 10esp XPI elimina el equipo basado en PC en el sitio de transmisión para una mayor fiabilidad en el aire, y en última instancia, reduce el costo de implementar y mantener HD Radio.

### **Múltiples Funciones, una unidad compacta**

El 10esp XPI actúa como un eje central, la combinación de las señales primarias y secundarias de HD Radio, junto con los datos Messagecasting asociados, en una sola corriente HDC, permitiendo que todos los datos y la integración de audio, así como el procesamiento, para ser manipulados en el estudio.

Con la alineación de retardo diversidad automática, el apoyo a las entradas existentes de configuración y salidas, y una interfaz web flexible para la operación local y remoto, el XPi 10esp exportador incorporado desde BE le da la flexibilidad operacional necesaria para la radio de hoy.

### **Características principales**

- Procesador incorporado y no requiere sistema operativo del ordenador.
- La alineación de diversidad de retardo supervisa continuamente señales analógicas y HD en tiempo real, además puede ser automáticamente seleccionado o ajustado a la preferencia del usuario.
- FM con alineación automática de la hora.
- Basada en Java simple y eficaz lo que permite la visualización desde Windows, Linux o MAC.
- Sistema expandible con opciones de arquitectura para HD Radio FM con codificación HD del canal de audio principal.
- Sincronización integrada, función de bypass automático y el receptor GPS interno para la sincronización del sistema (10MHz y 1PPS salidas) 10MHz externa y 1PPS insumos para GPS externo operación.
- Fácil de usar interfaz gráfica de usuario avanzado proporciona diagnósticos y registro de eventos.

- **LYNX™ Series II Circularly Polarized Dual Input FM Antenna**



**Figura 56.** Antena de polarización circular de doble entrada FM.

La antena de polarización circular de doble entrada FM está diseñada específicamente para aplicaciones de FM IBOC. Esta nueva antena es capaz de transmitir tanto las señales de FM analógica y digital sin necesidad de un combinador híbrido de alta pérdida de tiempo que se mantiene un alto aislamiento entre los transmisores digitales y analógicos.

Se pueden utilizar aisladores de baja potencia los cuales pueden ser especificadas en base a las consideraciones específicas del sitio para una mayor protección al transmisor digital o

para operaciones multiplexados. El diseño cumple con el requisito actual de la F.C.C (Comisión Federal de Comunicaciones) para la notificación informal de aplicación IBOC. La antena es una verdadera entrada de antena dual que excita todos los elementos radiantes con tanto señales analógicas como digitales, el diseño permite el uso de una única antena, eliminando la pérdida de la combinación como está presente en el híbrido -10dB. Con una configuración de montaje controlada, la antena tiene la capacidad de lograr en exceso de 40-dB de aislamiento entre entradas analógicas y digitales sin necesidad de utilizar un aislador o circulador.

Dado que los mismos elementos se utilizan tanto para señales analógicas y digitales, ambos formatos tienen los mismos patrones horizontales y verticales y por lo tanto la misma ganancia. (Electronic Research, Inc., 2015).

### **Características Principales:**

Patrones idénticos horizontal y vertical para la señal analógica y digital la cual asegura patrones de radiación idénticos para la replicación cobertura completa.

- Capaz de lograr más de 40 dB de aislamiento entre entradas analógicas y digitales sin necesidad de utilizar un dispositivo de circulación con configuración de montaje controlado.
- La señal digital tiene la misma ganancia que la análoga.
- No necesita una abertura adicional.

**Tabla 11.** Especificaciones Eléctricas arreglo de LYNX™ Series II Circularly Polarized Dual Input FM Antenna.

## LYNX™ Series II

### Electrical Specifications

Type Number	Number of Bays	Bay to Bay Spacing, Wave Length	Power Gain		Analog (Digital) Female 50 Ohm Input	Analog Input Power Rating (kW)**
			Numeric	dBd		
DI-2A	2	0.750	0.942	-0.2595	3-1/8-Inch (1-5/8-inch)	24
DI-4A	4	0.750	1.842	2.6529	3-1/8-Inch (1-5/8-inch)	24
DI-6A	6	0.944	3.01	4.7857	3-1/8-Inch (1-5/8-inch)	36
DI-8A	8	0.944	4.294	6.3286	3-1/8-Inch (1-5/8-inch)	36
DI-10A	10	0.944	5.182	7.1450	3-1/8-Inch (1-5/8-inch)	36
DI-12A	12	0.944	6.139	7.8810	3-1/8-Inch (1-5/8-inch)	36

\*\* Power rating given is analog RF input power level. System power rating assumes additional digital RF input of 10% of analog power rating.

## 2.8 Distribución de equipos y costos

El importer IDI40 es utilizado cuando se requiere la transmisión de canales digitales adicionales dentro del ancho de banda disponible, lo anterior se aplica en el modo Híbrido para habilitar la multiprogramación. En caso de ser requerido el costo de este se muestra a continuación en la Tabla 18. Sin embargo, para fines de costos de implementación el Impoter no ha sido considerado en las tablas de costos totales debido que el desarrollo de esta investigación se basa en el modo Híbrido no extendido.

**Tabla 12.** Costos y distribución de equipos para Santo Domingo.

<b>Santo Domingo</b>	
<b>Equipos</b>	<b>Precios US</b>
Arreglo de 6 Antenas	\$16,300.00
Transmisor FM de baja potencia STX LP 1KW	\$7,950.00
Procesador Dual Analogico/Digital DSPXtra-FM Audio	\$3.193.00
AUDEMAT GOLDEN EAGLE FM MONITOR	\$8,370.00
Excitador analógico FM 250 W 250C FM	\$8,350.00
Exportador FM HD Radio XPi 10esp 3 <sup>th</sup> generation	\$11,720.00
Wattmetro	\$ 4,000.00
Cable Coaxial	\$ 8,000.00
<b>TOTAL</b>	<b>67,883.00</b>

**Tabla 13.** Costos y distribución de equipos para Santiago.

<b>Santiago</b>	
<b>Equipos</b>	<b>Precios US</b>
Arreglo de 4 Antenas	\$12,460.00
Transmisor STXe 500	\$6,400.00
Procesador Dual Analogico/Digital DSPXtra-FM Audio	\$3.193.00
AUDEMAT GOLDEN EAGLE FM MONITOR	\$8,370.00
Excitador analógico FM 250 W 250C FM	\$8,350.00
Exportador FM HD Radio XPi 10esp 3 <sup>th</sup> generation	\$11,720.00
Wattmetro	\$ 4,000.00
Cable Coaxial	\$ 8,000.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$62,493.00</b>

**Tabla 14.** Costos y distribución de equipos para Higüey

<b>Higüey</b>	
<b>Equipos</b>	<b>Precios US</b>
Arreglo de 4 Antenas	\$12,460.00
Transmisor STXe 500	\$6,400.00
Procesador Dual Analógico/Digital DSPXtra-FM Audio	\$3,193.00
AUDEMAT GOLDEN EAGLE FM MONITOR	\$8,370.00
Excitador analógico FM 250 W 250C FM	\$8,350.00
Exportador FM HD Radio XPi 10esp 3 <sup>th</sup> generation	\$11,720.00
Wattmetro	\$ 4,000.00
Cable Coaxial	\$ 8,000.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$62,493.00</b>

**Tabla 15.** Costos y distribución de equipos para San Juan.

<b>San Juan</b>	
<b>Equipos</b>	<b>Precios US</b>
Arreglo de 4 Antenas	\$12,460.00
Transmisor STXe 60	\$5,400.00
Procesador Dual Analógico/Digital DSPXtra-FM Audio	\$3,193.00
AUDEMAT GOLDEN EAGLE FM MONITOR	\$8,370.00
Excitador analógico FM 250 W 250C FM	\$8,350.00
Exportador FM HD Radio XPi 10esp 3 <sup>th</sup> generation	\$11,720.00
Wattmetro	\$ 4,000.00
Cable Coaxial	\$ 8,000.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$61,493.00</b>

## **CAPITULO 3**

Finalizada la investigación se han colocado conclusiones y recomendaciones las cuales pueden ser tomadas en cuenta para mejor implementación del estándar IBOC para radio HD Digital en la República Dominicana.

### **3.1 Conclusiones**

La HD Radio constituye un avance para el país, el IBOC brinda un sistema único, robusto y de fácil implementación en el mercado con la convergencia de ambas señales digital y analógica, con más beneficios, más eficiencia y mayor cobertura con menos interferencias para la radiodifusión en República Dominicana, sin afectar o cambiar bruscamente el sistema existente dejando fuera la necesidad de eliminar los viejos equipos de transmisión análoga permitiendo que los antiguos radio receptores sigan formando parte vital de la red, la tecnología IBOC es el futuro de la radio permite converger dos tecnologías para brindar la mayor calidad de radio

existente, la robustez de este sistema de transmisión otorga beneficios a las emisoras tales como gran calidad en la recepción de señales sonoras, mejor calidad de sonido equivalente a la del CD, receptores libres de interferencia dando resolución de los problemas de distorsión, solución del multipaso y multiplicación de los contenidos de programación evitando las cancelaciones de las señales FM, ofreciendo receptores de bajo costo y variedad en la información recibida dando la flexibilidad de proveer un canal digital de datos por el cual se puede entregar un amplio rango de tipos de servicios, desde audio, texto, imágenes hasta multimedia mediante el envío de información adicional visible en pantalla, algo antes nunca visto en la radio análoga, el IBOC optimiza y economiza el espectro radioeléctrico permite un mejor aprovechamiento del espacio radioeléctrico tanto así que si una emisora trabajara en el modo de operación MP1 Híbrido, para pruebas optimas del estándar bajo su modo operable más estable, esta se puede configurar para agregar la multiprogramación lo cual es relativamente modesto, el único producto adicional es el importer el cual permitiría la emisión de varios canales en el ancho de frecuencia de la misma emisora es decir donde anteriormente solo había un solo canal de programación podrán operar 4 canales o más dependiendo de la calidad de audio que quiera transmitir la emisora, alocando así las diferentes porciones entre el canal HD1 entre uno o más canales de multiprogramación pudiendo multiplexar diez o más servicios de alta calidad, faculta un mejoramiento en la relación señal ruido, proporciona una mayor cobertura a través del uso de las redes de frecuencia única llegando a lugares de difícil acceso, el IBOC es un sistema que permite eficazmente el aprovechamiento del espacio radioeléctrico y mejoramiento

de la calidad de la radio en la República Dominicana. La Radio Digital es el más significativo avance en tecnología de radio desde la introducción del FM estéreo, ofreciendo tanto a los oyentes como a las emisoras una serie de beneficios y oportunidades.

Se concluye que para las estaciones de radio AM y de onda corta, la implementación de la radio digital representara un paso de gran importancia debido a que permitirá la competencia comercialmente con las estaciones de radio FM, generando nuevas oportunidades de negocios, mejor calidad de audio , posibilidad de crecimiento de un nuevo Mercado, nuevas fuentes de ingresos para ahora y un futuro, nuevas oportunidades ilimitadas para captar nuevas audiencias, tecnologías de última generación, Multiprogramación extensiones de la misma emisora, una vía de crecimiento para las emisoras pequeñas, colocando la Republica Dominicana a la vanguardia de las últimas tecnologías para la radio digital.

En la Republica Dominicana existen más de 145 asignaciones de frecuencias para estaciones de AM y más de 250 para estación FM y alrededor de 20 en Onda corta, por lo que la asignación adicional del espectro para pruebas experimentales para la radio digital está difícil. Por tanto se concluye que opción es utilizar el estándar IBOC dado que es el único que permite y provee la facilidad de poder compartir el mismo segmento del espectro asignado para las transmisiones analógicas y digitales.

Se entiende que la HD Radio constituye un avance para el país, debido a que el IBOC brinda un sólido sistema, con más beneficios, más eficiencia mayor calidad para la radio dominicana sin afectar o cambiar bruscamente el sistema ya existente, permitiendo la fácil implementación del mismo.

En cuanto a la implementación de la radio digital estamos en la espera que el órgano regulador de la Republica Dominicana (INDOTEL) tome la decisión de regular mediante normas o resoluciones la implementación de la Radio Digital en el país, no obstante INDOTEL siempre ha apoyado la implementación de la tecnología de radio digital, y otorga permisos a cualquier emisora que quiere utilizar la tecnología.

### **3.2 Recomendaciones**

- Para la republica dominicana recomendamos el uso de la combinación espacial debido a sus ventajas y bajos costos de implementación al mercado local, debido a que las emisoras podrán continuar con el uso de su transmisor análogo existente y simplemente adquirir un transmisor digital siendo el de más bajo costo de implementación, esto permite que no haya ninguna

modificación en los antiguos equipos y el mismo no requiere de potencia de reserva adicional, este sistema de transmisión no tiene pérdidas, por lo cual no es necesario que el transmisor digital adquirido tenga capacidad de potencia extra, este sistema tiene la mayor eficiencia de transmisión resultando en menor consumo de energía eléctrica, el sistema de transmisión análoga no es reducido y se puede utilizar un transmisor digital con antenas de baja potencia, resultando en un menor costo en equipos y una instalación más sencilla.

Se puede operar con potencias elevadas hasta -10dB pero recomendamos una potencia de -14dB ya que es la más estable por su similitud a la cobertura analógica y su bajas tasas de interferencia, el trabajar en estos rangos de potencia implica una alta potencia y gran cobertura del sistema digital, el mismo no afecta la operación del sistema análogo, dado que son dos sistemas completamente aislados, en si este arquitectura IBOC es la mejor para los países que quieren abrir paso a la era digital sin dejar atrás los antiguos receptores.

- Recomendamos que se dedique tiempo a la promoción masiva de la nueva tecnología para la radio digital, incluyendo en las mismas, ofertas de precios de introducción de receptores digitales, con el fin de que la población tenga la capacidad de adquirir los equipos de recepción digital lo más pronto posible

permitiendo que el tiempo de transición hacia la transmisión completamente digital sea más rápido.

- Al momento de implementar HD Radio Digital debido a la situación económica del país recomendamos utilizar el sistema híbrido con el fin de realizar una transición flexible y económica manteniendo el uso de transmisiones para las audiencias de la radio análogas y simultáneamente para la audiencia digital. Todo esto mediante una tecnología de fácil implementación, económica y que tenga protocolos disponibles en el mercado de bajo costo. Con el objetivo de que finalmente se complete la transición hacia el sistema completamente digital.
- En cuanto a la adquisición de los receptores se recomienda inicialmente facilitar a bajo costo la radio audiencia de los receptores digitales mientras en el país se empieza a comercializar los receptores con la tecnología digital.
- Recomendamos que los expertos del tema y radiodifusores se mantengan al tanto en cuanto a capacitación y seguimiento a los distintos cambios sobre las nuevas tecnologías digitales. Tomando en cuenta los cambios que hacen los fabricantes de equipos aprovechando así las oportunidades de adiestramiento que ofrecen los fabricantes.

- Para las inversiones de equipos, se recomienda el aprovechamiento de ofertas de financiamientos internacionales o acuerdos bancarios particulares de cada país.
  
- Para evitar las interferencias entre canales adyacentes (Co-Channel) recomendamos que el órgano regulador de la República Dominicana (INDOTEL) realice un reordenamiento de la distribución de frecuencias utilizadas por las estaciones de radios actuales, con el fin de que cada estación le corresponda una frecuencia única en el territorio nacional.
  
- Dado que el INDOTEL todavía no ha tomado la decisión de regular la implementación de la Radio Digital en el país mediante normas y resoluciones, recomendamos al órgano regulador la definición urgentemente para la adopción de la Radio Digital y la iniciación de una campaña de concientización para el uso de la radiodifusión digital.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amo, L. d. (2006). *La FM Digital Sistema. IBOC FM*. España: Antena Telecomunicacion.

CIA World Factbook. (2014). *Central Intelligence Agency*. Obtenido de

<https://www.cia.gov/library/publications/resources/the-world-factbook/>

Consortium, D. (6 de 10 de 2015). *DRM Consortium*. Obtenido de DMR Web site:

[http://www.drm.org/?page\\_id=99](http://www.drm.org/?page_id=99)

COUCH, W. L. (2008). *Sistemas de comunicación digitales y analógicos* (Séptima edición ed.).

México: PEARSON EDUCACIÓN.

Digital, i. (2013). *Un Guía de Implementación de la tecnología HD Radio*. Maryland: iBiquity Digital Corporation.

Electronic Research, Inc. (9 de Noviembre de 2015). *Electronics Research, Inc*. Obtenido de

eriinc.com: <http://www.eriinc.com/Catalog/Antennas/FM-Antennas.aspx>

Farm Radio International. (2011). *farmradio.org*. Obtenido de farmradio:

<http://www.farmradio.org/wp-content/uploads/farmradioictreport20111.pdf>

Floyd, T. L. (2006). *FUNDAMENTOS DE SISTEMAS DIGITALES* (Novena Edicion ed.). Madrid:

PEARSON EDUCACIÓN S.A.

Gago, S. G. (30 de 09 de 2015). *analfatecnicos.net*. Obtenido de analfatecnicos.net:

<http://www.analfatecnicos.net/pregunta.php?id=73>

iBIQUITY. (12 de 10 de 2015). *iBiquity Digital Corporation*. Obtenido de iBiquity Digital Web site:

<https://www.ibiquity.com/about/around-world>

IIS, F. (06 de 10 de 2015). *Fraunhofer Institute for Integrated Circuits IIS*. Obtenido de Fraunhofer

IIS web site:

<http://www.iis.fraunhofer.de/en/ff/amm/prod/digirundfunk/digirundf/journaline.html>

INDOTEL. (2007). *INDOTEL.gob*. Obtenido de [http://www.indotel.gob.do/index.php/cgblog/443/La-](http://www.indotel.gob.do/index.php/cgblog/443/La-radio-ocupa-segundo-puesto-en-penetracion-despues-de-tv-que-tiene-93-Indotel-anuncia-Primer)

[radio-ocupa-segundo-puesto-en-penetracion-despues-de-tv-que-tiene-93-Indotel-anuncia-](http://www.indotel.gob.do/index.php/cgblog/443/La-radio-ocupa-segundo-puesto-en-penetracion-despues-de-tv-que-tiene-93-Indotel-anuncia-Primer)

[Primer](http://www.indotel.gob.do/index.php/cgblog/443/La-radio-ocupa-segundo-puesto-en-penetracion-despues-de-tv-que-tiene-93-Indotel-anuncia-Primer)

Rices. (15 de 10 de 2015). *RAICES* . Obtenido de Raices Radio de la Fundación Eduardo León

Jimenes, Inc. : [http://www.raicesradio.org.do/raices\\_radio\\_digital.aspx](http://www.raicesradio.org.do/raices_radio_digital.aspx)

telematicaupoliyolanda. (9 de Octubre de 2015). *Telematica* . Obtenido de Telematica Ingeneria en

Sistemas De Informacion: [https://telematicaupoliyolanda.wordpress.com/las-microondas-](https://telematicaupoliyolanda.wordpress.com/las-microondas-como-medio-de-transmision/)

[como-medio-de-transmision/](https://telematicaupoliyolanda.wordpress.com/las-microondas-como-medio-de-transmision/)

TOMASI, W. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas* (Cuarta edicion ed.). México:

PEARSON EDUCACIÓN.

UNESCO. (2012). *Los jóvenes y las competencias*:. Luxemburgo: Faber. Recuperado el 18 de 10

de 2015, de <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002180/218083s.pdf>

Vega, C. P. (26 de octubre de 2004). *PAGINA PERSONAL DE CONSTANTINO PÉREZ VEGA*.

Obtenido de <http://personales.unican.es/>:

<http://personales.unican.es/perezvvr/pdf/Modulacion%20COFDM.pdf>

WorldDAB. (30 de 9 de 2015). *About WorldDAB*. Obtenido de WorldDAB.org:

<http://www.worlddab.org/technology-rollout/introduction-to-dab-dab-plus>

## **Anexo**

## Tablas

**Tabla 16.** Especificaciones técnicas transmisor STX LP.

<b>Transmisor STX LP de 1KW.</b>	
<b>Output Power Range:</b>	
<b>FM</b>	1250-5500 W
<b>FM+HD (with VPe XG):</b>	3890W @ -20 dB; 2780W @ -14 dB; 2225W @ -10dB (All powers approximate). Actual power levels dependent upon installation and frequency).
<b>HD Only (with VPe XG):</b>	1670W (Typical. Actual output power dependent upon installation and frequency).
<b>Accuracy:</b>	+/-5%
<b>Resolution:</b>	1 W
<b>Efficiency:</b>	63% typical AC to RF (FM Only)
<b>VSWR:</b>	Rated power into 1.5:1 @ 5000w
<b>Output Impedance:</b>	50 ohms nominal
<b>Frequency:</b>	
<b>Range:</b>	87.5 MHz to 108 MHz, programmable in 10 kHz steps.
<b>Stability:</b>	Internal TCXO: +/-100 kHz, +/-4ppm aging/temp, -10 degrees C to +50 degrees C External Input: +/- accuracy of reference source.  RF Harmonics Suppression: Suppression meets all FCC/IC/ETSI requirements Modulation:
<b>Type:</b>	Direct-to-channel digitally generated FM (no analog up conversion); FM only, HD Radio only, or HD Radio + FM, DRM+.
<b>Capabilities:</b>	Up to 300 kHz
<b>Audio Inputs:</b>	AES, L&R analog, composite, SCA/RBDS/RDS external generator input, SCA audio inputs (2).
<b>Asynchronous AM S/N Ratio:</b>	Better than -65dB (-70dB Typical) referenced to average peak-to-peak carrier amplitude. 75uSec de-emphasis
<b>Synchronous AM S/N Ratio:</b>	Better than 56dB referenced to average peak-to-peak carrier amplitude. 75kHz deviation @400Hz.

<b>Spurious and Harmonic:</b>	85dB or better; low pass filter standard
<b>Power Factor:</b>	0.98 or better
<b>Regulatory:</b>	Meets all FCC/IC/CE and IEC 215 safety requirements.
<b>FM AUDIO SPECIFICATIONS WITH INTERNAL EXCITER</b>	
<b>Composite</b>	
<b>Connector Type:</b>	BNC un-balanced
<b>Input Level:</b>	3.5 V p-p nominal for 75 kHz deviation
<b>Impedance:</b>	10k ohms Amplitude Response: +/-0.03 dB, 30Hz to 53kHz; +/-0.1 dB, 53kHz to 100kHz
<b>Total Harmonic Distortion + Noise:</b>	0.005% or less @ 400Hz, 10-22kHz bandwidth, 75uSec deemphasis
<b>Intermod Dist:</b>	0.13%, SMPTE (60/7000Hz, 1:1 ratio), DIM-B: 0.008% (14KHz)
<b>S/N Ratio:</b>	85 dB below 100% modulation @ 400Hz
<b>AES Input:</b>	
<b>Connector:</b>	XLR Female Impedance: 110 Ohms, balancedLevel : -2 dBFS for 100% modulation
<b>Amplitude Response:</b>	+/-0.03 dB, 30Hz to 53kHz; +/-0.1 dB, 53Hz to 100kHz
<b>THD + Noise:</b>	
<b>Stereo:</b>	0.01% typical @ 400Hz, measured 10-22kHz, 75uSec deemphasis
<b>Mono:</b>	0.005% typical @ 400Hz, measured 10-22kHz, 75uSec deemphasis
<b>SNR:</b>	
<b>Stereo:</b>	80dB below 100% modulation @ 400Hz
<b>Mono:</b>	-74dB below 100% modulation @ 400Hz
<b>Stereo Separation:</b>	-74dB below 100% modulation @ 400Hz
<b>Preemphasis:</b>	50us, 75us, none
<b>Modes:</b>	Mono L, Mono R, Mono L+R,
<b>Stereo Analog L/R :</b>	
<b>Input Level:</b>	3.5V p-p for 100% modulation into 10k Ohms

**Tabla 17. Comparativa entre los estándares más utilizados.**

Fuente: (García, 2009)

Factores Generales	IBOC	DRM
<b>Sistema aprobado y experimentado</b>	AM and FM	AM y Onda Corta, ahora está en prueba FM
<b>Operación</b>	Hibrido = Análogo y Digital en el mismo canal	Solamente digital, requiere de espectro adicional para prueba
<b>Compatibilidad con los transmisores actuales</b>	Compatible durante la transmisión de prueba El radio escucha puede escuchar la señal análoga mientras el que tiene receptor digital puede aprovechar la calidad de sonido	No es compatible con los transmisores análogos digital produce ruido cuando es sintonizado a DRM
<b>Método de transmisión</b>	Análogo (AM) y Digital (OFDM)	Digital (OFDM) solamente.
<b>Requiere más espectro</b>	No	SI
<b>Robustez del sistema:</b>	Frecuencia y tiempo redundante, corrector de errores por el receptor	Corrección de Error, data variable. La velocidad (determina por el transmisor, no por el receptor)
<b>Nivel de Carrier relativo del análogo</b>	-28 dBc core mode; -40 dBc	-7 to -16 dBc para la misma cobertura equivalente a la señal análoga. Con el canal adyacente tiene interferencia en alta potencia la señal deber de 20 dB o mayor
<b>Niveles de desarrollo:</b>		
<b>Estaciones operando</b>	2,000 estaciones operando de tiempo. La mayoría son comerciales.	En prueba 100 estaciones operando en onda corta, solo 14 en onda media. La mayoría son estaciones no comerciales.
<b>Precios al publico</b>	Más de 100 modelos disponibles por más de 40 fabricantes distintos como Kenwood, JVC, Panasonic, Sony, Visteon, y otros.	Algunos modelos están disponibles para el público. Algunos de los fabricantes son los mismos para los modelos de USA.
<b>Compatibilidad en la Región 2:</b>		
<b>Coordinación de las interferencias por la FCC y el acuerdo de Rio-81</b>	Para los países de la Región 2 es fácil la coordinación para las no interferencias	La coordinación es problemática. Además la Región 1 y 3 no están en el acuerdo de Rio-81
<b>Algunos costos de transmisores AM:</b>		
<b>Generador de señal:</b>	\$20,000 a \$30,000	\$50,000 a \$70,000

<b>Costos de Licencia</b>	\$0 Fuera de los EEUU	\$0
<b>Condiciones de transmisión en análogo y digital</b>	Depende el caso puede ser un solo transmisor	Se necesitan dos transmisores y dos antenas
<b>Espectro ocupado en la Región 2:</b>	AM ANALOGO:	
<b>AM ocupa a nivel de espectro</b>	30 kHz	
<b>standard (10 kHz audio)</b>	HD RADIO:	DRM:
<b>Mono, calidad de audio, digital solamente digital</b>	no aplicable	10 kHz
<b>Mono, calidad de audio, digital solamente digital</b>	Hz (MA1 modo)	20 kHz (experimental only)
<b>Estero, Calidad en Música digital solamente</b>	Hz (MA3 modo)	20 kHz
<b>Música estéreo compatible AM</b>	30 Hz (MA1 modo ampliado)	30 Hz

**Tabla 18.** Equipos extras para modo híbrido extendido.

<b>Equipos Extras</b>	
<b>Equipos</b>	<b>Precios US</b>
<b>Importer Idi40</b>	\$19,900.00

## **Anteproyecto**

Universidad APEC



DECANATO DE INGENIERÍA

“PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO”

**“Diseño de una red de frecuencia única (SFN) para radio FM digital bajo el estándar in-band-On-Channel (IBOC) para la República Dominicana, Sto. Dgo. R.D. Año 2015”**

***“Proyecto de Trabajo de Grado para optar por el título de Ing. Electrónica  
Mención Comunicaciones”***

**SUSTENTANTES:**

<b>IVÁN RAFAEL RODRÍGUEZ</b>	<b>2009-1078</b>
<b>DAURY MIGUEL GONZALEZ TRINIDAD</b>	<b>2010-2380</b>

**Santo Domingo, D.N.**

**Julio del 2015**

## Índice

1. Título del Tema.....	3
2. Introducción.....	4
3. Justificación.....	5
4. Delimitación Del Tema y Planteamiento Del Problema De Investigación.....	6
5. Objetivos General y Específicos.....	8
5.1. Objetivos	
general.....	8
5.2. Objetivos	
específicos.....	8
6. Marco Teórico Referencial.....	9
7. Antecedentes.....	11
8. Diseño metodológico: Metodología y Técnicas De Investigación.....	15
8.1. Metodologías.....	15
8.2. Técnicas de Investigación.....	16
9. Fuentes de Documentación.....	17
10. Esquema Preliminar Del Contenido De Trabajo de grado.....	18

**1.0 “DISEÑO DE UNA RED DE FRECUENCIA ÚNICA (SFN)  
PARA RADIO FM DIGITAL BAJO EL ESTÁNDAR IN-BAND-  
ON-CHANNEL (IBOC) PARA LA REPÚBLICA  
DOMINICANA.”**

## **2.0 Introducción.**

Las transmisiones terrestres de radio han tenido muchos avances a través del tiempo, se han implementado varias tecnologías para hacer más eficiente las transmisiones y recepciones de las señales.

Se implementara una Red de transmisión de radio llamada Red de frecuencia única por su simplicidad, ya que trabaja con una única frecuencia la cual aplicaremos bajo la implementación del Estándar IBOC.

El estándar IBOC permite trabajar con señales digitales y análogas, el cual sitúa la señal digital sobre el nivel de ruido y la señal analógica bajo el nivel. La Red propuesta SFN (Red de Frecuencia única), será completamente digital, la cual permitirá hacer el transporte de la señal HD-Radio, en términos generales Radio FM Digital.

Este estudio aportara al sector Broadcasting–FM, un material de alto contenido de información actualizada las cuales podrán servir de consulta y referencia para el diseño de los sistemas y redes SFN, que se podrán realizar en el país.

### **3.0 Justificación.**

El presente proyecto tiene como fin, mejorar la versatilidad de los sistemas de radio difusión mediante el diseño de una red que permita la convergencia de nuevas tecnologías que faciliten el avance de la radio FM en la República Dominicana, integrando un sistema con beneficios tales como: la robustez del sistema de transmisión, gran calidad en la recepción de señales sonoras, equivalente a la del CD. Receptores libres de interferencia, baja distorsión y solución del multipaso y Multiplexación de los contenidos de programación y multimedia.

## **4.0 Delimitación del tema y Planteamiento del problema.**

En el período Sept-Dic 2015 se desarrollara la investigación base teoría del diseño de la red (SFN) de frecuencia única para radio digital FM bajo el estándar IBOC.

El número de estaciones de Radio en República Dominicana va en aumento cada día, es increíble que en pleno siglo 21 el 99% de la estaciones de radio en República Dominicana sean analógicas, solamente contando con una emisora digital la Radio de la fundación Eduardo León Jiménez (Radio Raíces) en los 102.9 FM, la calidad de la radio dominicana sigue siendo la misma desde los últimos 20 años. Entre las limitaciones que trae la radio analógica están: peor calidad de sonido, Mayor uso del espectro radioeléctrico, mayor relación señal ruido, interferencia y menor cobertura. Es necesario un sistema nuevo que permita el aprovechamiento del espacio radioeléctrico y mejoramiento de la calidad de la radio en la República Dominicana, La Radio Digital es el más significativo avance en tecnología de radio desde la introducción del FM estéreo, ofreciendo tanto a los oyentes como a las emisoras una serie de beneficios y oportunidades. Tales como: gran calidad en la recepción de señales sonoras, equivalente a la del Disco Compacto, robustez del sistema de transmisión aéreo, receptores libres de interferencia, resolución de los problemas de distorsión y cancelaciones de las señales FM, receptores de bajo costo y variedad en la información recibida como texto y multimedia.

En cuanto a las emisoras, los beneficios obtenidos son: permisibilidad de configurar Redes de Frecuencia Única, garantía de calidad elevada en recepción con niveles

de señal reducidos, mejoría en relación señal recibida y el ruido, optimiza y economiza el espectro radioeléctrico, ofrece mayor cobertura llegando a lugares de difícil acceso, flexibilidad de proveer un canal digital de datos por el cual se puede entregar un amplio rango de tipos de servicios, desde audio hasta multimedia mediante el envío de información adicional visible en pantalla DAB, al ser un canal digital, se pueden multiplexar diez o más servicios de alta calidad, el múltiplex puede ser reconfigurado dinámicamente para introducir nuevos servicios temporales o de suscripción.

La creciente necesidad de desarrollar un sistema digital de radiodifusión hizo que diversas empresas a finales del siglo XX y en los inicios del siglo XXI, se lanzarán a la búsqueda de un sistema que pudiera ser útil y rentable basándose en distintas filosofías de creación. Mientras que Europa iniciaba sus estudios mediante el proyecto Eureka 147, tratando de ganar calidad, Estados Unidos, mediante la empresa iBiquity Digital Corporation, buscaba un sistema muy adaptativo que permitiera un cambio gradual de los receptores, donde surge el IBOC.

Nuestro propósito final en el presente trabajo de grado es el diseñar una red SFN para FM digital bajo el estándar IBOC con el fin de buscar un sistema de cambio gradual el cual permita converger ambos sistemas para la modernización de la radio Dominicana.

## **5.0 Objetivos**

### **5.1 Objetivos generales.**

- Diseñar una red de frecuencia única (SFN) para Radio FM utilizando el Estándar IBOC (Digital).

### **5.2 Objetivos específicos.**

- Evaluar la importancia de implementar HD Radio FM (Digital) en la República Dominicana.
- Impacto de las redes GPS sobre el diseño de una red (SFN) para Radio FM bajo la tecnología IBOC (Digital).
- Investigar la cobertura geográfica que ofrece la utilización de una red (SFN) para HD Radio FM (Digital).
- Proponer las aplicaciones de la red de frecuencia única (SFN) en la República Dominicana.
- Cuantificar las zonas para Radio FM que hay determinadas por el INDOTEL en República Dominicana.

## 6.0 Marco Teórico Referencial

**IBOC:** o canal dentro de banda es un sistema de broadcast digital desarrollado por iBiquity Digital Corporation. La principal característica de este sistema de radiodifusión digital es la permisividad de envío híbrido, es decir, la convivencia de señal analógica y digital, lo que permite una transición gradual de sistema analógico digital.

**SFN:** es un tipo de radiodifusión donde distintos transmisores emiten la misma señal en el mismo canal de frecuencia.

**CODFM:** (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) es una técnica compleja demodulación de banda ancha utilizada para transmitir información digital a través de un canal de comunicaciones, que combina potentes métodos de codificación más el entrelazado para la corrección de errores en el receptor. COFDM modula la información en múltiples frecuencias portadoras ortogonales donde cada una está modulada en amplitud y fase y lleva una tasa de símbolos muy baja además de tener una alta eficiencia espectral.

**ODFM:** es una multiplexación que consiste en enviar un conjunto de ondas portadoras de diferentes frecuencias, donde cada una transporta información, la cual es modulada en QAM o en PSK.

**FM:** es una técnica de modulación que permite transmitir información a través de una onda portadora variando su frecuencia. En aplicaciones analógicas, la frecuencia instantánea de la señal modulada es proporcional al valor instantáneo de la señal moduladora.

**MFN:** son un tipo de red donde distintas frecuencias (canales de RF o radiofrecuencias) son utilizadas para transmitir contenido audiovisual. Hay dos tipos destacados de redes de frecuencia múltiple, las horizontales y las verticales.

**HD Radio:** es la marca registrada de iBiquity Digital Corporation para el estándar de radio digital In-band On-Channel (IBOC), la cual es una tecnología que permite la transmisión simultánea de señales análogas y digitales.

**Banda ancha:** red que tiene la capacidad para transportar información que incide en la velocidad de transmisión de la misma.

**DAB:** siglas del término en inglés digital audio broadcasting— es un estándar de emisión de radio digital desarrollado por EUREKA como un proyecto de investigación para la Unión Europea(Eureka 147).<sup>[1]</sup> El DAB está diseñado para receptores tanto de uso doméstico como portátiles para la difusión de audio terrestre y mediante satélites, la cual también permite introducir datos.

**DVB-T:** es el estándar para la transmisión de televisión digital terrestre (TDT) creado por la organización europea Digital Video Broadcasting (DVB). Este sistema

transmite audio, video y otros datos a través de un flujo MPEG-2, usando una modulación de “Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal Codificada” (COFDM).

**Broadcast:** es un término que designa el servicio de emisión de señales de radio y televisión para uso público generalizado o muy amplio.

**Multiplexación:** es la combinación de dos o más canales de información en un solo medio de transmisión usando un dispositivo llamado multiplexor. El proceso inverso se conoce como desmultiplexión. Un concepto muy similar es el de control de acceso al medio.

## **6.1 Antecedentes.**

La tecnología HD Radio™ digital es un estándar desarrollado por iBiquit Digital y reconocido por la Comisión Federal de Comunicaciones de Estados Unidos (FCC). Funciona de la misma forma que los transmisores analógicos tradicionales, con la excepción de que el audio transmitido está en formato digital y la transmisión se realiza mediante flujos continuos de datos digitales, además de la señal de forma analógica.

iBiquit Digital (2015) explica detalladamente que en el extremo final de la transmisión difundida, el audio se comprime y se transmite por un transmisor diseñado específicamente para la radiodifusión HD Radio digital. El audio también es transmitido en su forma analógica en la misma frecuencia que la señal digital, al igual que la señal de datos.

Al final de la transmisión las señales son recibidas y decodificadas para ser escuchadas por el usuario mediante un sintonizador de HD Radio en su forma digital incluyendo el texto que le acompaña o también puede ser recibida en su forma analógica para receptores análogos.

Lo anterior expuesto quiere decir que al utilizar la tecnología HD Radio™ digital se puede transmitir las señales tanto en su forma digital como analógica, por tanto los usuarios finales pueden recibir de la calidad que brinda la HD Radio™ digital utilizando un sintonizador adecuado o de igual modo recibir las señales de radios en su forma analógica en sintonizadores análogos sin verse afectados por la aplicación de esta tecnología.

Es importante destacar que posteriormente se puede realizar la transición a la transmisión únicamente digital, apagando por parte de las emisoras las señales analógicas, permitiendo así utilizar el espectro para más canales de programas digitales o aplicaciones de datos.

(Jalbani) Expone en cuanto a las redes SFN (Single Frequency Network) permiten realizar una red o arreglo de varios transmisores FM y AM los cuales transmiten la misma señal simultáneamente bajo el mismo canal de frecuencias para la cobertura de una zona geográfica.

Los beneficios más relevantes al utilizar redes SFN se detallan a continuación, mediante la combinación de varios transmisores simultáneamente permiten conseguir mayor cobertura de la zona geográfica, eficiencia de la utilización del radio espectro, menor potencia requerida, facilita la cobertura en zonas remotas, además las redes SFN pueden ser implementadas con redes de disfunción y FM tanto analógicas como digitales. Mientras que algunas de sus desventajas son: se requiere la sincronización de los transistores para evitar ruidos e interferencias debido a las señales que llegan primero que otras hacia el receptor desde las torres de transmisión, la red no puede ser dividida.

Una red de (SFN) es un tipo de radiodifusión donde distintos transmisores emiten la misma señal en el mismo canal de frecuencia haciendo que una red de estaciones que utilicen la misma frecuencia para transmitir la misma información, Una red de frecuencia única es un medio para ampliar el área de cobertura sin el uso de frecuencias adicionales. La redes SFN son de gran uso para el broadcast, el SFN se basa en el uso de Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing (COFDM

multiplexado por división de frecuencia ortogonal codificada). Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing (COFDM) es una forma de modulación que es particularmente bien adaptado a las necesidades de la radiodifusión de canales terrestre. COFDM puede hacer frente a los altos niveles de propagación Multitrayectos (Multipath reception), con una amplio retrasos entre las señales de propagación recibidas. Este concepto conduce al diseño de redes de frecuencia única (SFN) en el que muchos transmisores enviar la misma señal en la misma frecuencia, generando "multitrayecto artificial". COFDM tiene la ventaja de que es un sistema muy robusto frente a la recepción de una señal.

IBOC (In-Band On-Channel) o canal dentro de banda es un sistema de broadcast digital desarrollado por Ibiquity Digital Corporation. La principal característica de este sistema de radiodifusión digital de envío híbrido, es decir, la convivencia de señal analógica y digital, lo que permite una transición gradual de sistema analógico al digital. El ancho de banda del audio analógico en la forma de onda híbrida puede ser de 5 kHz u 8 kHz. Para el primer caso, la señal digital es transmitida en las bandas laterales primarias y en las bandas laterales secundarias, o ambos lados de la señal analógica anfitriona, IBOC facilita la introducción de la radiodifusión sonora digital (OSD) al permitir que las emisoras de FM existentes para difundir la misma programación en analógico y digital sin la necesidad para nuevas asignaciones de espectro para la señal digital.

Según lo detallado anteriormente se puede entender que la aplicación de redes SFN proveen ventajas y mejoras lo que permite idear su implementación combinando con el estándar IBOC para la HD Radio™ Digital para sacar provecho de las

ventajas que ambos estándares proveen, disminuyendo la utilización del espectro, utilizando menores potencia de transmisión, permitiendo el acceso a usuarios con equipos receptores tanto análogos como digitales.

## **7.0 Diseño metodológico: método y técnicas de investigación.**

### **7.1 Tipo de Investigación.**

Esta será una investigación de Campo, por lo cual aplicaremos lo que es un Estudio Exploratorio o Investigación Exploratoria.

### **7.2 Método de Investigación.**

El método de investigación que aplicaremos para el desarrollo de nuestra investigación es el método Cuantitativa.

### **7.3 Técnicas de Investigación.**

#### **Entrevistas.**

Se realizarán entrevistas a profesionales experimentados con experiencias en el campo de la radio Fm y redes SFN con el fin de obtener informaciones relevantes que nos permitirá analizar los diseños actuales, posibles mejoras y tendencias para un mejor diseño.

#### **Internet.**

Se consultarán documentos, bases de datos y páginas electrónicas de diseñadores, fabricantes e industrias relacionados a la temática para así consultar estudios y aplicaciones de diseños existentes.

#### **Libros.**

Se consultarán libros especializados en la temática con redes SFN Y tecnología IBOC.

#### **Simulaciones con software.**

Se realizarán simulaciones con software especializados en los diseños de redes SFN y tecnología IBOC. Para así obtener resultados lo más cercano posible a la realidad del diseño que se realizara.

## 8. Fuentes de Documentación.

- IBOC FM Transmission Specification August 2001 iBiquity Digital Corporation
- FM-IBOC Broadcast Systems Architecture Considerations for Single Frequency Networks, Philipp Schmid Nautel Limited April 19th, 2009.
- Network Planning of Single Frequency Broadcasting Networks, GÖRAN MALMGREN, April 1996.
- ITU/EBU workshop on Digital Broadcasting Sofia 8-10 June 2014, Planning of Single Frequency Networks J. Doeven.
- First results of field tests with the DAB single frequency network in Bavaria A. Lau, M. Pausch, W. Wütschner, (Bayerischer Rundfunk)
- iBiquity Digital. (2015). How It Works. Recuperado de <https://www.ibiquity.com/technology>
- Ali, J. Single Frequency Networks. Recuperado el 22 de junio de 2015. De <http://user.informatik.uni-goettingen.de/~seminar/dvb/AkhtarJalbani-reportOnSFN.pdf>

## **9.0 Esquema Preliminar de Contenido de Trabajo de Grado.**

### **1. Conceptos Generales**

1.1. Breve historia de REDES SFN y Tecnología IBOC.

1.2. Conceptos.

1.2. Generación de Tecnologías aplicadas en HD Radio.

1.3. Sistemas Digitales.

1.4. Estándares Digitales y canales Digitales.

### **2. Selección de Herramientas y Equipamientos.**

2.1. Descripción de los Equipamientos.

2.2. Sistemas de Enlaces para la Conectividad y Transporte.

2.3. Edificación, Torres y Sistemas Radiantes.

### **3. Diseño de la Red SFN.**

3.1. Topología de la Red.

3.2. Zonas de Cobertura.

### **5. Modelo y simulación.**

4.1. Simulaciones de la RED.

4.2. Modulación.

4.3. Implementación Radios GAP.

4.3. Resultados