



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES  
NO RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

**“ESTUDIO COMPARATIVO TÉCNICO Y DE FACTIBILIDAD DE LOS  
ESTÁNDARES DE RADIODIFUSIÓN DIGITAL TERRESTRE IBOC (CANAL  
DENTRO DE BANDA) Y DRM (RADIO DIGITAL MUNDIAL) PARA LA  
IMPLEMENTACIÓN EN LA CIUDAD DE LOJA”**

TESIS DE GRADO PREVIO A OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
--

**AUTOR:**

Victor Javier Guachisaca Paccha

**DIRECTOR:**

Ing. Juan Pablo Cabrera Samaniego

**LOJA-ECUADOR**

**2013**

## **CERTIFICACIÓN**

Ing. Juan Pablo Cabrera Samaniego

DIRECTOR DE TESIS

### **CERTIFICA:**

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, en su proceso de investigación cuyo tema versa en **“Estudio comparativo técnico y de factibilidad de los estándares de radiodifusión digital terrestre IBOC (Canal dentro de banda), y DRM (Radio Digital Mundial) para la implementación en la ciudad de Loja”**, previa a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, realizado por los señor egresado: **Victor Javier Guachisaca Paccha**, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Loja, Septiembre del 2013



Ing. Juan Pablo Cabrera Samaniego

DIRECTOR DE TESIS

## AUTORÍA

Yo, Victor Javier Guachisaca Paccha, declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

**Autor:** Victor Javier Guachisaca Paccha

**Firma:** ..... 

**Cédula:** 1104691306.

**Fecha:** 21 de noviembre de 2013.

**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.**

Yo Victor Javier Guachisaca Paccha, declaro ser autor de la tesis titulada: “Estudio Comparativo Técnico y de Factibilidad de los Estándares De Radiodifusión Digital Terrestre IBOC (Canal Dentro De Banda) Y DRM (Radio Digital Mundial) para implementar en la Ciudad De Loja”, como requisito para optar al grado de: Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones; autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el repositorio digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 21 días del mes de noviembre del dos mil trece, firma el autor.

**Firma:** ..... 

**Autor:** Victor Javier Guachisaca Paccha

**Cédula:** 1104691306

**Dirección:** Cdla. Chofer las Pitas **Correo Electrónico:** javier-13g@hotmail.com

**Teléfono:** 2540-590. **Celular:** 593-0989057699.

**DATOS COMPLEMENTARIOS**

**Director de Tesis:** Ing. Juan Pablo Cabrera Samaniego.

**Tribunal de Grado:** Ing. Klever Filiberto Carrión Gordillo, Mg. Sc.

Ing. Juan Manuel Galindo Vera.

Ing. Henry Francisco Cueva Bravo.

## **DEDICATORIA**

*El presente proyecto de tesis es dedicado con mucho cariño a mis queridos padres **Victor y Cruz** quienes son mi más claro ejemplo de superación y por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo y más aún para la culminación de mi carrera profesional. A mis queridos hermanos **Byron, Juan** y a mi sobrinita **Domenica** por su apoyo incondicional y a todos mis amigos que creyeron en mí y que de una u otra manera me han llenado de sabiduría para terminar la tesis.*

## **AGRADECIMIENTO**

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a todos quienes hicieron posible la culminación de la presente investigación:

A DIOS y a la Virgen del Cisne por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haberme puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis padres por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, y por sus motivaciones constantes que me han permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A la Universidad Nacional de Loja, al **ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES**, a través de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, donde se obtuvo los conocimientos técnicos que han contribuido a nuestra formación profesional.

También quiero dejar constancia de agradecimiento a los Ing. Juan Pablo Cabrera Samaniego e Ing. Andy Vega, por sus valiosas sugerencias en el desarrollo de presente proyecto de Tesis.

A mis compañeros de clases quienes me acompañaron en esta trayectoria de aprendizaje y conocimientos.

## TABLA DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN.....	I
AUTORÍA.....	II
CARTA DE AUTORIZACIÓN.....	III
DEDICATORÍA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
TABLA DE CONTENIDO.....	VI
a. TÍTULO.....	1
b. RESUMEN.....	2
c. INTRODUCCIÓN.....	4
d. REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
<b>d.1. CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA RADIODIFUSIÓN SONORA DIGITAL</b> .....	7
d.1.1. Historia De La Radio.....	7
d.1.2. Sistema de comunicación.....	10
d.1.3. Radiodifusión Digital.....	11
d.1.4. Multiplexación Por División De Frecuencia Ortogonal Codificada (COFDM).....	13
d.1.5. Características De La Radio Digital Terrestre.....	22
d.1.6. Estándares De Radiodifusión Sonora.....	24
d.1.7. Situación actual del estándar IBOC en el mundo.....	25
d.1.8. Situación Actual Del Estandar DRM En El Mundo.....	27
d.1.9. Situación actual de la radiodifusión Sonora Digital en Ecuador.....	29
e. MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
<b>e.1. ESTÁNDAR DE RADIODIFUSIÓN IBOC</b> .....	32
e.1.1. Descripción Técnica Del Sistema IBOC.....	33
e.1.2. Sistema General Del Estándar Digital IBOC.....	34
e.1.3. Característica del sistema de Transmisión RF.....	38
e.1.4. Características Del Codificador De Audio.....	45
e.1.5. Modos de Funcionamiento.....	46
e.1.6. Diagrama de Bloques de Transmisión y Recepción IBOC.....	52
<b>e.2. ESTÁNDAR DE RADIODIFUSIÓN DIGITAL DRM</b> .....	56

e.2.1.	Características generales del sistema de Radiodifusión DRM .....	57
e.2.2.	Arquitectura del Sistema DRM .....	60
e.2.3.	La Trama .....	70
e.2.4.	Transmisión DRM.....	72
e.2.5.	DRM+ (DRM PLUS).....	76
e.2.6.	Servicios De Datos .....	82
<b>e.3.</b>	<b>MODOS DE TRANSICIÓN DE RADIODIFUSIÓN ANALÓGICA A RADIO DIGITAL TERRESTRE .....</b>	<b>85</b>
e.3.1.	Sistema Digital IBOC.....	85
e.3.2.	Sistema Digital DRM.....	92
e.3.3.	Máxima distancia de separación entre transmisores .....	100
<b>f.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>102</b>
<b>f.1.</b>	<b>ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ESTÁNDARES DIGITALES IBOC Y DRM... ..</b>	<b>102</b>
f.1.1.	Estándar Digital IBOC .....	102
f.1.2.	Estándar Digital DRM.....	107
<b>f.2.</b>	<b>CUADRO COMPARATIVO DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DEL SISTEMA IBOC – DRM.....</b>	<b>112</b>
f.2.1.	Análisis del cuadro de parámetros de los sistemas digitales .....	113
<b>g.</b>	<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>119</b>
<b>g.1.</b>	<b>VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS DIGITALES .....</b>	<b>119</b>
g.1.1.	Ventajas IBOC .....	119
g.1.2.	Desventajas IBOC .....	120
g.1.3.	Ventajas del Estándar DRM .....	121
g.1.4.	Desventajas Estándar DRM.....	122
<b>g.2.</b>	<b>EVALUACIÓN DE PARÁMETROS.....</b>	<b>122</b>
g.2.1.	Aspecto regulatorio .....	123
g.2.2.	Utilización eficaz del espectro .....	123
g.2.3.	Calidad de audio y Método de codificación.....	124
g.2.4.	Multiservicio .....	124
g.2.5.	Capacidad de Transmisión .....	124
g.2.6.	Capacidad Híbrida.....	124



g.2.7.	Compatibilidad con los transmisores nuevos y existentes .....	124
g.2.8.	Adquisición de Receptor fijo.....	124
g.2.9.	Costo de Receptor fijo.....	125
g.2.10.	Costo de conversión del sistema Analógico al sistema Digital.....	125
g.2.11.	Estándar.....	125
g.2.12.	Funcionamiento de la red a una sola frecuencia.....	125
g.2.13.	Interferencia .....	125
g.2.14.	Sintonía rápida y adquisición de canal .....	126
g.2.15.	Norma única .....	126
<b>g.3.</b>	<b>PROPUESTA DEL ESTÁNDAR DIGITAL PARA LAS RADIODIFUSORAS EN LA CIUDAD DE LOJA.....</b>	<b>128</b>
<b>g.4.</b>	<b>IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE RADIO DIGITAL DRM .....</b>	<b>130</b>
<b>h.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>133</b>
<b>i.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>135</b>
<b>j.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>137</b>
<b>k.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>146</b>
<b>k.1.</b>	<b>Servidor de Contenido.....</b>	<b>146</b>
<b>k.2.</b>	<b>Equipo Radioenlace.....</b>	<b>148</b>
<b>k.3.</b>	<b>Equipo Modulador DRM+ .....</b>	<b>149</b>
<b>k.4.</b>	<b>Transmisor.....</b>	<b>150</b>
<b>k.5.</b>	<b>Equipo de Monitoreo.....</b>	<b>151</b>
<b>k.6.</b>	<b>Antena .....</b>	<b>152</b>
<b>k.7.</b>	<b>Receptor GPS.....</b>	<b>153</b>

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> <i>Comparación Técnica de los estándares de Radiodifusión Digital</i> .....	24
<b>Tabla 2.</b> <i>Países donde se encuentran establecido el sistema IBOC</i> .....	26
<b>Tabla 3.</b> <i>Países que se encuentran establecido el sistema DRM</i> .....	28
<b>Tabla 4.</b> <i>Modos de códec de Audio</i> .....	46
<b>Tabla 5.</b> <i>Banda de frecuencias donde operan las regiones ITU</i> .....	56
<b>Tabla 6.</b> <i>Sistemas de Codificación</i> .....	62
<b>Tabla 7.</b> <i>Modos de Transmisión DRM</i> .....	66
<b>Tabla 8.</b> <i>Parámetros del sistema DRM+</i> .....	77
<b>Tabla 9.</b> <i>Costos de equipos indispensables para el sistema de transmisión IBOC en FM</i> .....	104
<b>Tabla 10.</b> <i>Costos de equipos indispensables para el sistema de transmisión IBOC en AM</i> .....	105
<b>Tabla 11.</b> <i>Modelos de Receptores IBOC</i> .....	106
<b>Tabla 12.</b> <i>Costos de equipos indispensables para el sistema de transmisión DRM/DRM+</i> .....	110
<b>Tabla 13.</b> <i>Receptores con tecnología DRM</i> .....	111
<b>Tabla 14.</b> <i>Comparación de los estándares de transmisión IBOC y DRM</i> .....	112
<b>Tabla 15.</b> <i>Costo Comparativo de receptores de radio digital</i> .....	118
<b>Tabla 16.</b> <i>Evaluación de los sistemas digitales</i> .....	127

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Sistema comunicación de Guillermo Marconi en el año de 1901 .....	8
<b>Figura 2.</b> Diagrama de bloques simplificado de un sistema de comunicaciones. ....	11
<b>Figura 3.</b> Esquema de un Sistema de radio digital. ....	12
<b>Figura 4.</b> Diagrama de subportadoras en el dominio del tiempo y frecuencia .....	14
<b>Figura 5.</b> Transmisor COFDM.....	15
<b>Figura 6.</b> Señal COFDM de salida.....	16
<b>Figura 7.</b> Receptor COFDM.....	17
<b>Figura 8.</b> Modulador COFDM.....	17
<b>Figura 9.</b> Tipos de Modulaciones empleadas por las Portadoras COFDM .....	17
<b>Figura 10.</b> Modulación Uniforme y no uniforme de modulación QAM-16 .....	18
<b>Figura 11.</b> El ancho de banda del canal y el ancho de banda de COFDM. ....	19
<b>Figura 12.</b> Ancho de banda COFDM y el número de puntos IFFT.....	19
<b>Figura 13.</b> EL efecto en 8 portadoras de un eco de 0 dB de retraso prolongado. ....	21
<b>Figura 14.</b> Países en planes de implementación de IBOC. ....	26
<b>Figura 15.</b> Mapa del DRM Consortium que muestra la distribución de DRM en el mundo. ....	28
<b>Figura 16.</b> Logotipo de la tecnología HD Radio .....	32
<b>Figura 17.</b> Estructura General del sistema Digital IBOC.....	34
<b>Figura 18.</b> Diagrama en bloques del Subsistema FM de Transmisión/RF. ....	38
<b>Figura 19.</b> Diagrama de bloques funcional de la interfaz capa 1 del sistema digital IBOC en FM. ....	39
<b>Figura 20.</b> Ejemplo de entrelazado. ....	41
<b>Figura 21.</b> Diagrama de bloques conceptual del entrelazado .....	42
<b>Figura 22.</b> Diagrama Conceptual del Sistema de Control de Procesos.....	43
<b>Figura 23.</b> Diagrama de bloques conceptual del Mapeo de las Subportadoras OFDM.....	43
<b>Figura 24.</b> Diagrama de bloques del subsistema de transmisión banda AM. ....	44
<b>Figura 25.</b> Ordenamiento de Subportadoras OFDM .....	45
<b>Figura 26.</b> Modo Híbrido en IBOC AM. ....	47
<b>Figura 27.</b> Modo Totalmente Digital en IBOC AM.....	49
<b>Figura 28.</b> Modo híbrido en IBOC FM. ....	50
<b>Figura 29.</b> Modo híbrido Mejorado en IBOC FM. ....	51
<b>Figura 30.</b> Estándar IBOC FM, totalmente digital. ....	52
<b>Figura 31.</b> Diagrama de Bloques de un transmisor AM IBOC. ....	53
<b>Figura 32.</b> Diagrama de Bloque de un receptor AM IBOC Híbrido.....	54
<b>Figura 33.</b> Diagrama de bloques de un transmisor FM IBOC.....	55
<b>Figura 34.</b> Diagrama de bloques de un receptor FM IBOC. ....	55
<b>Figura 35.</b> Logotipo del estándar de Radiodifusión DRM .....	56
<b>Figura 36.</b> Bandas de frecuencia en la que opera el estándar DRM .....	57
<b>Figura 37.</b> Tipos de redes de radiodifusión (a) Red Convencional MFN. (b) Red SFN .....	59
<b>Figura 38.</b> Opciones Simulcast de 10 kHz.....	60
<b>Figura 39.</b> Diagrama en bloques de entrada al Transmisor DRM o Modulador DRM. ....	61
<b>Figura 40.</b> Fuente de Audio del sistema digital DRM. ....	63

<b>Figura 41 . Ejemplo de Inserción determinística de Bits .....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 42. Ejemplo de Símbolos (células) QAM.....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 43. Ejemplo entrelazado de símbolos .....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 44 . Opciones de Entrelazado .....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 45. Portadoras Pilotos.....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 46 . Distribución de Símbolos QAM .....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 47. Señal de Salida del Generador OFDM con la IFFT. ....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 48. Proceso de generación de la Señal DRM. ....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 49. Proceso de Recepción de la señal DRM. ....</b>	<b>70</b>
<b>Figura 50. Trama de canal de acceso Rápido FAC .....</b>	<b>71</b>
<b>Figura 51 . Trama SDC .....</b>	<b>71</b>
<b>Figura 52. Estructura de la Trama DRM (modos DRM30 Y DRM+). ....</b>	<b>72</b>
<b>Figura 53. Aplicación de DCP en el sistema DRM .....</b>	<b>73</b>
<b>Figura 54. Diagrama de Bloques del servidor de Contenidos .....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 55. Esquema del Modulador DRM .....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 56. Servicios de Audio y Datos dentro del Multiplex .....</b>	<b>78</b>
<b>Figura 57. Velocidades de datos escalables del sistema DRM+.....</b>	<b>78</b>
<b>Figura 58. Redes de radiodifusión digital heterogéneas. DRM+. ....</b>	<b>79</b>
<b>Figura 59. Comparación entre sistema digital DRM + con el sistema analógico FM. ....</b>	<b>79</b>
<b>Figura 60 . Diagrama de un sistema DRM+ combinado, con su respectivo espectro de salida. ..</b>	<b>80</b>
<b>Figura 61 . Modo híbrido DRM+.....</b>	<b>81</b>
<b>Figura 62. Modo totalmente digital DRM+ .....</b>	<b>81</b>
<b>Figura 63. Simulcast para el modo E (FM).....</b>	<b>82</b>
<b>Figura 64. Ejemplo de configuración con 2 estaciones de FM y DRM+. ....</b>	<b>82</b>
<b>Figura 65. Sistema FM IBOC usando Combinación de bajo Nivel.....</b>	<b>86</b>
<b>Figura 66. Sistema FM IBOC usando Combinación de Alto Nivel .....</b>	<b>87</b>
<b>Figura 67. Sistema FM IBOC usando Antena Separada.....</b>	<b>89</b>
<b>Figura 68. Sistema AM IBOC usando combinación de bajo nivel .....</b>	<b>89</b>
<b>Figura 69. Sistema IBOC AM sin la conmutación bypass.....</b>	<b>90</b>
<b>Figura 70. Sistema de radiación IBOC en AM.....</b>	<b>91</b>
<b>Figura 71. Sistema Radiante para IBOC FM .....</b>	<b>91</b>
<b>Figura 72. Arquitectura del sistema DRM .....</b>	<b>92</b>
<b>Figura 73. Arquitectura simplificada del sistema DRM.....</b>	<b>93</b>
<b>Figura 74. Arquitectura DRM Avanzada. ....</b>	<b>94</b>
<b>Figura 75. Transmisor DRM+ con amplificador lineal de potencia.....</b>	<b>95</b>
<b>Figura 76. Combinación por acoplador direccional (alto nivel). ....</b>	<b>96</b>
<b>Figura 77. Combinación con antenas separadas. ....</b>	<b>97</b>
<b>Figura 78. Combinación con antena de polarización circular. ....</b>	<b>97</b>
<b>Figura 79. Combinación de bajo nivel. ....</b>	<b>98</b>
<b>Figura 80. Modelo de radiación y posición de la antena. ....</b>	<b>99</b>
<b>Figura 81. Antena horizontal con dipolo cruzado desarrollado por la compañía TRANSRADIO</b>	<b>100</b>
<b>Figura 82. Distancia máxima entre estaciones de una red SFN. ....</b>	<b>101</b>
<b>Figura 83. Evaluación de parámetros de los estándares digitales IBOC y DRM.....</b>	<b>128</b>

<b>Figura 84.</b> Estación de radio digitalizado con el sistema DRM. ....	131
<b>Figura 85.</b> Estación de radio digitalizado con el sistema DRM+ .....	132

## ANEXOS

<b>Figura 86.</b> Servidor de Contenido Fraunhofer DRM ContentServer .....	146
<b>Figura 87.</b> Diagrama de funcionamiento del Servidor de Contenido Fraunhofer DRM ContentServer.....	147
<b>Figura 88.</b> Equipo INTRAPLEX STL PLUS de la compañía HARRIS .....	148
<b>Figura 89.</b> DRM+ SOPRANO+ DRM+ Modulator/Exciter de la marca DIGIDIA .....	149
<b>Figura 90.</b> Transmisor Harris Flexiva <sup>TM</sup> Compact Class .....	150
<b>Figura 91.</b> DRM+ Monitoring Receiver DT 4120.....	151
<b>Figura 92.</b> Antena Dipolo AKG/11 alta potencia.....	152
<b>Figura 93.</b> Diapason DRM GPS Receiver.....	153

**a. TÍTULO**

Estudio comparativo técnico y de factibilidad de los estándares de radiodifusión digital terrestre IBOC (Canal dentro de banda), y DRM (Radio Digital Mundial) para la implementación en la ciudad de Loja.

## **b. RESUMEN**

El presente proyecto es un estudio comparativo técnico y de factibilidad de los estándares de radiodifusión digital terrestre IBOC (Canal dentro de banda), y DRM (Radio Digital Mundial), el desarrollo de la investigación es con la finalidad de establecer el estándar de radiodifusión sonora digital más apropiado para una futura implementación en las estaciones de radio de la ciudad de Loja. La implementación de un sistema digital permitiría a las radiodifusoras ofrecer una mejor calidad de sonido, brindar a los usuarios servicios adicionales a lo que actualmente ofrecen, y explotar de mejor manera el espectro radioeléctrico asignado a cada una de las estaciones de radio.

Para el desarrollo del proyecto de tesis se emplearon los métodos analítico y comparativo, lo que permitió realizar un estudio previo de los estándares de radiodifusión sonora digital IBOC y DRM, donde se analizó las diferentes arquitecturas, los servicios que ofrecen estos sistemas digitales, las características y topologías de los sistemas digitales IBOC y DRM. Para posteriormente mediante un análisis comparativo de los parámetros técnicos, se procedió a realizar la evaluación de cada uno de los parámetros y se determinó que el estándar digital **Digital Radio Mondiale (DRM)** es el que mejor se acoplaría como sistema digital en las estaciones de radio en la ciudad de Loja con el 80% en comparación con el 60% del sistema IBOC. Para complementar este trabajo de tesis se desarrolló un esquema general de una estación de radio digitalizado para las bandas de frecuencia de AM y FM con sus respectivos equipos digitales DRM.

## ABSTRACT

This project is a comparative technical and feasibility research of earthbound digital broadcasting standards IBOC (In-band on the channel), and DRM (Digital radio Mondiale), the development of this research is targeting to establish an appropriate digital broadcasting standard for future deployment in the radio stations in Loja city. Implementation of a digital system would allow radio stations to offer better quality sound, provide to users additional services which are currently offered, and take advantage in a better way the radio spectrum assigned to each one of the radio stations.

Comparative and analytical methods were used in the development of the thesis project, allowing a prior study of the digital broadcasting standards IBOC and DRM, where was analyzed the different architectures, services offered by these digital systems, characteristics and topology of digital systems IBOC and DRM. Subsequently, through a comparative analysis of technical parameters, we proceeded to carry out the assessment of each of the parameters and we determined that the digital standard **Digital Radio Mondiale (DRM)** is the best to adapt as a digital system in the radio stations in Loja with the 80% compared with 60% of the IBOC system. To complement this thesis work a general scheme of a digitalized radio station was developed for the frequency bands AM and FM with their respective DRM digital equipment.



### **c. INTRODUCCIÓN**

Las comunicaciones han sido importantes desde los principios de la humanidad cuando el hombre trataba de comunicarse a través del fuego, el humo o cualquier otro medio que le permitiese relacionarse no sólo con aquellos de su entorno sino con los que vivían en ecosistemas distantes a su lugar de ubicación. Con los nuevos avances tecnológicos que existen en el campo de las telecomunicaciones transforman al mundo de las comunicaciones. Hoy en día vivimos en un mundo en donde los sistemas de comunicación y servicios son totalmente digitales, de tal forma que las transmisiones radiales están inmersas a nuevas etapas de acuerdo con el avance de la tecnología. La radiodifusión es la producción y difusión de señales de audio o video a través de ondas radioeléctricas o cable destinadas al público en general o bien a un sector del mismo. La radiodifusión sonora (radio) es un medio de difusión masivo que llega al radioescucha de forma personal, además es el medio de mayor alcance, ya que llega a todas las clases sociales y además ofrece cierto grado de participación en el acontecimiento o noticia que se está transmitiendo. Como medio de comunicación la radio brinda la oportunidad de alcanzar un mercado con un presupuesto mucho más bajo del que se necesita en otros medios, y es el medio de mayor la audiencia.

En los últimos años a nivel mundial, los procesos de producción de las estaciones de radio están sufriendo cambios digitales, a partir del cambio de cinta convencional de audio analógico a la grabación digital en una cinta magnética o un disco duro, de igual manera en el procesamiento de señal digital en mesas de mezcla y enlaces de transmisión digital en los procesos de distribución, con la finalidad de buscar mejoras en la calidad de sonido de radio, en la transmisión, recepción y entre otros aspectos técnicos. Ecuador debe estar siempre inmerso a estos procesos de cambios digitales al igual como lo están los radiodifusores en otros países, gracias a que la digitalización brinda muchas ventajas para radiodifusores nacionales e internacionales y difusores de información, por lo que se ve la necesidad de contar con este servicio en forma digital.

Todos los sistemas de radiodifusión sonora en el Ecuador actualmente transmiten en forma analógica utilizando las bandas de frecuencia (535-1605 kHz) para Amplitud Modulada (AM), (88-108MHz) para frecuencia Modulada FM, y onda corta OC(2300 – 26100 kHz). En la ciudad de Loja actualmente existen 73 estaciones de radio de las

cuales 67 son en FM, 4 en AM y 2 estaciones en OC, de las cuales 29 estaciones tienen su centro de estudio en la ciudad de Loja los restantes se distribuyen a lo largo de la región sur.

Las señales de información tales como el sonido o audio generadas por las radiodifusoras están expuestas a múltiples interferencias, tales como la interferencia producida por otras señales de radiodifusión, es decir, cuando se emite una señal de información puede verse afectada fácilmente por medio de otra onda de igual frecuencia, pero con mayor potencia; esto se puede evidenciar fácilmente en un aparato mal sintonizado o la presencia de una emisión de radio más potente provocará que la señal que se esté recibiendo se pierda o sea por completo incomprensible. De hecho, las interferencias a las señales que emite una estación de radio no necesariamente tienen que partir de otra radiodifusora. Los equipos eléctricos como motores generan campos magnéticos que invaden las frecuencias de radio, además hay interferencias que se producen por la atmósfera (humedad, temperatura), y por los aspectos topográficos del terreno o los grandes edificios. Es por ello, que surge la necesidad de realizar un proceso de transición o abandono de la radiodifusión analógica a favor de la digital, el cambio debe efectuarse de manera armoniosa y rápida en correlación con los avances tecnológicos existentes.

La introducción de la radiodifusión digital producirá cambios positivos en las estaciones de radio, tal como se produjo en 1949, con la aparición de la radio en FM donde se estableció una auténtica revolución en el mundo. Al implementar o adoptar un sistema digital IBOC o DRM en una radiodifusora se puede reducir los costos operativos y al mismo tiempo puede continuar utilizando muchos de los transmisores y equipos existentes, además estos sistemas digitales son tecnología híbrida, es decir, que funcionan en modo analógico y modo digital simultáneamente. Los equipos para la recepción de las señales digitales de IBOC y DRM no habrá la necesidad de cambiar los receptores analógicos o de adquirir un receptor digital, por la misma razón que aún se puede seguir transmitiendo las señales análogas utilizando los sistemas digitales. Al adquirir un receptor digital se podrá visualizar servicios de datos donde se incluirá el nombre del artista, título de la canción, informe de tráfico entre otras informaciones extras. Los estándares digitales IBOC y DRM permiten una transición analógica-digital accesible tanto para los radioescuchas y para todas las estaciones de

radio en todo Ecuador gracias a que operan en la misma banda de frecuencia asignada a las radiodifusoras analógicas.

Pese a la importancia que tiene la implementación de un sistema digital en las radiodifusoras, en la ciudad de Loja las estaciones de radio no cuentan con un estudio técnico acerca de algún estándar de radiodifusión sonora digital que permita determinar cuan factible es en una futura implementación, y además que nos permita determinar los cambios que hay que realizar en la infraestructura actual. Por tal motivo y tomando en cuenta los problemas y limitaciones de la radiodifusión analógica que se presentan actualmente, se desarrolló esta investigación que consiste en un estudio comparativo técnico y de factibilidad de los estándares de radiodifusión digital terrestre IBOC y DRM para la implementación en la ciudad de Loja, y para ello se aplicó una investigación documentada en el cual se utilizó texto especializado en la materia, para luego realizar una comparación de las características principales de los estándares IBOC Y DRM, y así determinar el estándar digital que más se apege a la situación actual de las radiodifusoras en la ciudad de Loja. Además con la ayuda de herramientas tecnológicas permitieron generar información relacionada con los estándares de radiodifusión sonora digital.

Esta investigación fue desarrollada mediante el cumplimiento de los siguientes objetivos:

- ✚ Identificar los conceptos básicos de la radiodifusión Digital.
- ✚ Analizar y comparar las características técnicas y funcionales de los dos estándares de radiodifusión Digital IBOC y DRM.
- ✚ Determinar la factibilidad de Implementación de los estándares en nuestra región.
- ✚ Proponer el Estándar de Radiodifusión Digital más viable para las Estaciones de Radio FM de la ciudad de Loja.

## **d. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **d.1. CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA RADIODIFUSIÓN SONORA DIGITAL**

#### **d.1.1. Historia De La Radio**

##### **d.1.1.1. A nivel Mundial**

La radio es uno de los grandes logros de la civilización humana a finales del siglo XIX, la aparición de la radio se debe a diferentes descubrimientos que ocurrieron en el mundo, el primero de ellos se dio a principios del siglo XIX cuando Alessandro Volta construye una pila voltaica que produce electricidad, este fenómeno paso a constituir la base para nuevos descubrimientos entre los cuales tenemos el telégrafo que fue el primer invento que realizo las primeras transmisiones. Entre 1886 y 1888, el inventor Heinrich Rudolf Hertz fue el primero en validar experimentalmente la teoría de Maxwell, dio un paso agigantado al afirmar que las ondas se propagaban a una velocidad electromagnética similar a la velocidad de la luz, y ponía así las bases para el envío de las primeras señales y además propicio la creación del primer receptor de radio con limitaciones.

Las primeras emisiones de radiodifusión se llevaron a cabo a inicios del siglo XX gracias a las aportaciones de John Ambrose Fleming y Reginald Aubrey Fessenden que consiguieron la primera radiodifusión de audio en la historia, cuyo experimento consistía en transmitir desde Massachusetts señales de audio hacia buques que se encontraban en el mar, las señales que se transmitían contenían audio de Fessenden tocando el violín y leyendo un pasaje la biblia. Es difícil atribuir la invención de la radio a una única persona, en diferentes países se reconoce la paternidad al científico Aleksander Stepánovich Popov hizo sus primeras demostraciones en San Petersburgo, Rusia; Nikola Tesla en San Luis (Misuri) y Guillermo Marconi en el Reino Unido.

El primer sistema práctico de comunicación mediante ondas de radio fue del ingeniero Guillermo Marconi, quien en el año 1901 realizó la primera emisión trasatlántica radioeléctrica, utilizando diseños del poco reconocido científico Nikola Tesla, en la figura 1 se observa la primera estación de Radiodifusión creado por Guillermo Marconi en el año de 1901.



*Figura 1. Sistema comunicación de Guillermo Marconi en el año de 1901*

#### **d.1.1.2. A nivel Nacional**

La radiodifusión aunque nació en el viejo continente Europa, le bastó un corto tiempo para que se introdujera en Ecuador y pase a formar parte de un acto trascendental para la historia. La primera estación de radio en el Ecuador es “El Prado” de Riobamba, que fue fundada por Carlos Cordovez Borja, empresario textil, su primera transmisión fue el jueves 13 de junio de 1929, a las nueve de la noche desde una bodega de una fábrica de textil, se realizaron transmisiones operando en la frecuencia 6.618 Kc(Kilociclos) AM y en la onda corta de 45,31 metros, con un transmisor de 100w. En julio de 1934 se tenía la intención de transmitir en onda corta y onda larga.

El 25 de diciembre de 1931 Quito tiene la primera señal de radio, HCJB la Voz de los Andes, los pastores evangélicos propietarios de la emisora logran un permiso de operación por 25 años otorgado por el Presidente de la República Dr. Isidro Ayora, HCJB (Hoy Cristo Jesús Bendice), la concesión de la frecuencia se realizó a favor de la Confederación Mundial de Iglesias Evangélicas representada por la World Radio Misional Fellowship. En el año de 1932 HCJB realiza una venta de radio receptores que tenían una característica peculiar, estaban presintonizados y únicamente tenían la frecuencia de HCJB. Entre los equipos que utilizó dicha emisora fue un transmisor de 250w, en una frecuencia de 690 Kc Am y en 89.3 FM Estéreo y ondas

cortas de 13, 16, 19, 25 y 49 metros. Pocos años después, en la ciudad de Guayaquil, el profesional alemán Juan Behr promueve que el Diario El Telégrafo ponga al aire una emisora que llevaría el mismo nombre de la versión impresa Radio El Telégrafo en 1935. La primera emisora estatal es inaugurada en 1940; en 1960 aparece "Radio Nacional del Estado" con 100 W. En 1969 se remplaza por un transmisor de 10 kW en los 600 metros que operaba en la banda de 640kc y 4940kc. Este proceso de creación de radios se fue dando a lo largo de la historia del Ecuador.

Durante a lo largo del tiempo las radiodifusoras se fueron introduciendo en el país empezando con emisiones en AM hasta las transmisiones en FM lo que en la actualidad conocemos. A partir de 1950 tuvo un gran impulso y desarrollo la industria radiofónica, y durante los 90's, finales del siglo XX se da una concesión masiva de frecuencias a diversas instituciones. [23]

#### **d.1.1.3. A nivel Local**

A mediados del siglo XX surgieron las primeras radiodifusoras en la provincia de Loja, y fueron las radios "Ondas de Zamora" que operaba en la frecuencia de 1,430 KHz y "Radio Fátima" igualmente en AM, actualmente se encuentran desaparecidas. Uno de los pioneros de la Radio en Loja fue el señor Ariolfo Coronel Illescas, quien construyó su propio transmisor y puso en funcionamiento Radio Fátima.

El 18 de noviembre de 1956 nace la Radio Centinela del Sur, fundada por un grupo de inversionistas conformando un equipo donde; su Gerente y Propietario era el Sr. Flavio Ernesto Coronel Illescas, su Director el Tnte. Raúl Villagómez, y su Administrador el Sr. José Coronel Illescas, que se trazaron desde un inicio un alto reto en cuanto a la radiodifusión. Este grupo inversionista iniciaron esta difícil tarea, transmitiendo con una potencia de 250 Watios, más tarde mejoraron su potencia a 500 Watios. Seis meses más tarde en el mes de mayo de 1957 se realizaron las gestiones necesarias ante la Dirección Nacional de Frecuencias en Quito, es entonces cuando a "Radio Centinela del Sur" se le asigna oficialmente la frecuencia que hasta la actualidad se mantiene 1210 AM y se le otorgó además una frecuencia en Onda Corta. Cinco años después, en 1962 adquiere todas las instalaciones el Sr. José Coronel Illescas, operando la radio en las frecuencias 5030 Kc. banda de los 60 Metros. Posteriormente en 1965

creo un equipo trasmisor modesto que logró, que por primera vez, salga al aire una radio en Onda Media con frecuencia de 1505 Kc. banda de los 200 Metros y 250w de potencia, constituyéndose en la única emisora que transmitía en dos frecuencias. Para mejorar su cobertura su propietario crea un equipo trasmisor de 5000w, siendo la emisora pionera en Loja, con contar con una antena vertical de 50 Metros de altura,

En 1958, Efraín Herrera Guerrero, puso en funcionamiento Radio Nacional Progreso, formando parte de las primeras emisoras junto con la Centinela del Sur en mantenerse en funcionamiento permanente.

Las radiodifusora en frecuencia modula se introdujeron en la provincia de Loja en las décadas de los 90 del siglo XX. La primera radio de FM fue la Radio Loja 97.9 FM de propiedad de Eduardo Ruíz Luna. Para la época, predominaban las estaciones en amplitud modulada onda media, entre las que se destacaban Radio Centinela del Sur, Radio Progreso, Radio Luz y Vida, Radio Musical, Radio Nacional del Ecuador filial Loja entre otras. [22]

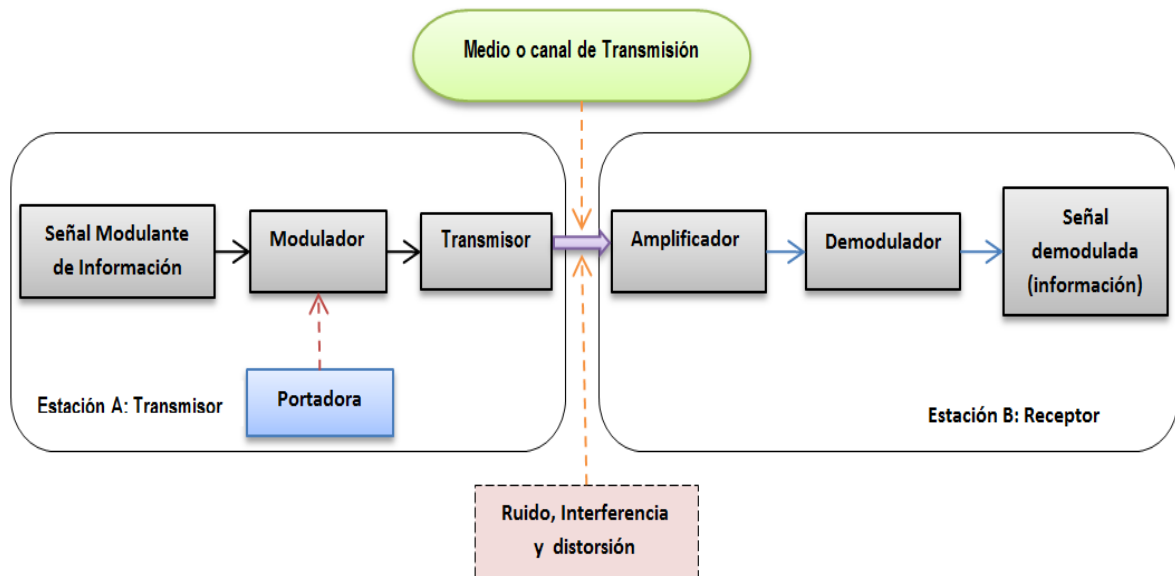
A inicios del siglo XXI, las estaciones en FM en la ciudad de Loja predominan, mientras que las estaciones en onda media prácticamente han desaparecido y tienen muy poca aceptación en la audiencia local.

#### **d.1.2. Sistema de comunicación**

Los sistemas de comunicación son más que necesarios hoy en día, el mundo en el que actualmente habitamos se basa justamente en los principios de la comunicación; si analizamos los distintos avances tecnológicos que fueron sucediendo a lo largo de la historia encontraremos que la mayoría de ellos están vinculados a la comunicación y a tornar la vida del hombre un poco más sencilla.

Podemos definir a un sistema de comunicación como un conjunto de dispositivos interconectados entre sí que intervienen en el proceso de intercambio de información que permiten que las personas puedan comunicarse o conectarse entre sí. La figura 2 se observa el diagrama en bloques simplificado de un sistema de comunicación, donde

se obtiene la relación entre la información de la fuente original, el transmisor, el medio de transmisión, y la información recibida en el destino (receptor).



*Figura 2. Diagrama de bloques simplificado de un sistema de comunicaciones.*

### **d.1.3. Radiodifusión Digital**

La radiodifusión digital es la nueva forma de transmitir y recibir señales de audio, datos, gráficos, e imágenes con calidad digital, mediante la transformación de las señales originales en bits a través de la codificación y compresión. La radiodifusión Digital de audio es una tecnología que permite transmitir señales de audio de una mejor calidad comparado con la radiodifusión analógica y además admite un eficiente uso del espectro y potencia, además permite una mejor cobertura a nivel local, regional, nacional e inclusive puede sobrepasar fronteras.

La calidad de audio es lograda gracias a una técnica muy especial de compresión de sonido adaptada para el oído humano, lo que permite un sonido de superior calidad para los oyentes, y libres de errores.

#### **d.1.3.1. Radio Digital**

La radio digital es la transmisión y recepción de audio codificado digitalmente a través de las ondas hertzianas. El transmisor de la radio digital convierte el sonido en una



serie dígitos de ceros y unos para conformar una señal, para luego ser transportada a través del espectro radioeléctrico y esta a su vez hacia un receptor que decodificada y reconstruye la señal original. Este tipo de transmisión permite un mejor aprovechamiento del espectro radioeléctrico, mejor calidad de sonido y la incorporación de servicios adicionales imágenes o textos destinados a aparatos receptores como los teléfonos celulares.

Con la nueva radio digital se eliminarán los ruidos, interferencias, desvanecimientos de la señal y todos los defectos que sufren los receptores actuales, tanto en amplitud Modulada (AM) como en frecuencia modulada (FM). Se la suele denominar “radio digital terrestre” para diferenciarla de la radio online y de la satelital. La radio digital en FM proporciona un sonido más claro libre de errores con una calidad comparable a la de los CDs, mientras que la radio digital AM puede proporcionar un sonido de calidad equivalente a la de la radio analógica FM, y suena mucho mejor que la radio analógica AM.

#### d.1.3.2. Sistema Básico

El esquema de un sistema básico de radio digital, está compuesta por una serie de dispositivos que permiten realizar el proceso de transmisión y recepción digital de las señales de audio tal como se aprecia en la figura 3.

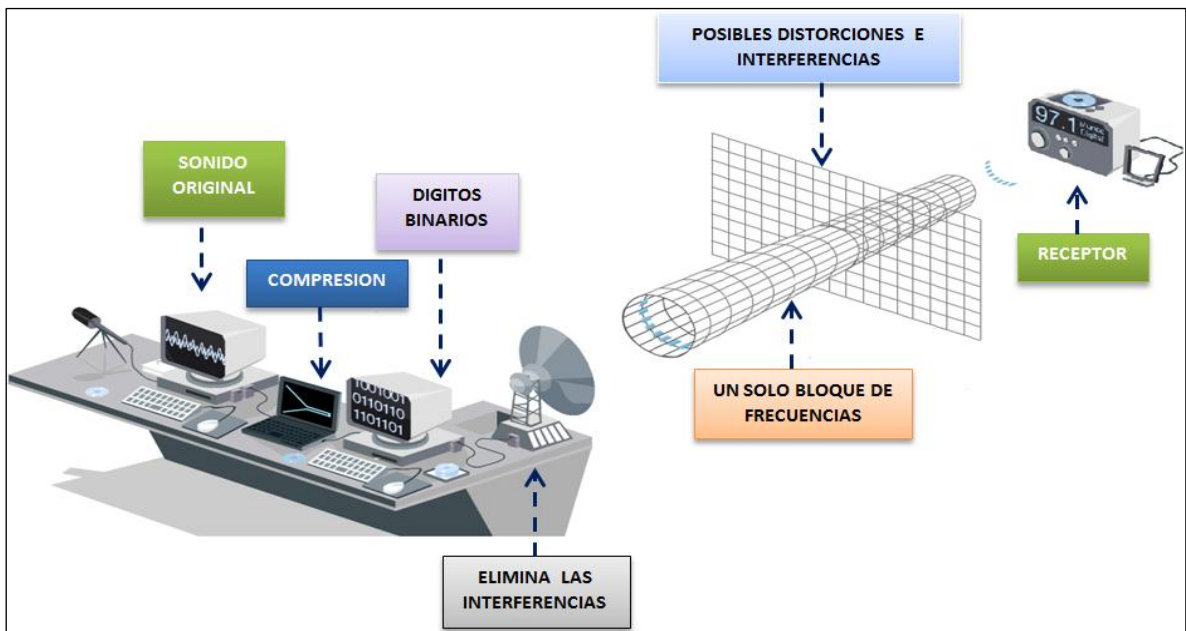


Figura 3. Esquema de un Sistema de radio digital. [36]

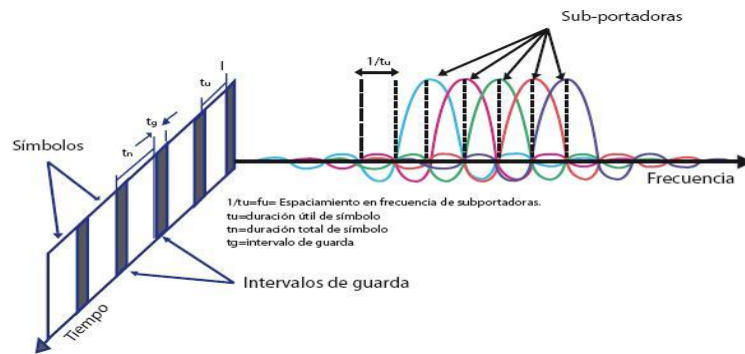
La señal de audio originado por un micrófono es transportada hacia una consola de audio, donde además existen varias fuentes de audio, tales como lector de CD, grabador de audio, reproductor de mp3 entre otros; a continuación la señal de sonido pasa a un sistema de compresión MPEG2 (Moving Pictures Experts Group) MP2 que se encarga en reducir la cantidad de información digital requerida para transmitir, luego la señal viaja hacia un dispositivo que realiza el proceso de conversión de sonido en dígitos binarios, una vez obtenida la señal binaria es trasladada hacia el transmisor y la antena, pero antes se realiza el proceso de modulación digital y eliminación de interferencias ocasionadas por la propia atmosfera, equipos eléctricos, o edificios grandes, mediante el Multiplexado por División de Frecuencia (COFDM). Al realizar el proceso de multiplexado varios programas y servicios se transmiten en un solo bloque de frecuencias permitiendo un excelente uso del espectro radioeléctrico, luego la señal llega al receptor con la calidad del sonido digital y sin tener que cambiar de sintonía si se desplaza de un lugar a otro, entre otros beneficios que presta la radio digital es la variedad de ofertas de programas que tiene el usuario debido a la información visual y textual en las pantallas de los receptores.

El funcionamiento de la radio digital se basa en la tecnología Multiplexado Ortogonal por División de Frecuencia ortogonal COFDM que a continuación se detalla:

#### **d.1.4. Multiplexación Por División De Frecuencia Ortogonal Codificada (COFDM)**

La Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales, en inglés Orthogonal Frequency Division Multiplexing (COFDM), es una técnica compleja de modulación de banda ancha utilizada para transmitir información digital a altas velocidad, a través de un canal de comunicaciones, que combina potentes métodos de codificación más el entrelazamiento para la corrección de errores en el receptor. Además del empleo de la multiplexación que consiste en enviar un conjunto de ondas portadoras diferentes frecuencias, donde cada una transporta información, la cual es modulada en cuadratura QAM o en modulación por desplazamiento en Fase PSK.

La tecnología COFDM permite explotar las trayectorias múltiples que, por la naturaleza de la modulación son constructivos. Con la adición de un intervalo de guarda en el dominio del tiempo entre símbolos consecutivos se eliminó la posibilidad de pérdida a causa de la interferencia multicanal, producida por el retardo de los ecos en la recepción respecto a la señal principal. Es decir que el receptor COFDM se alimenta del conjunto de señales que le llegan: cada eco aporta su contribución al mejoramiento de la relación señal-ruido y de la tasa de error.



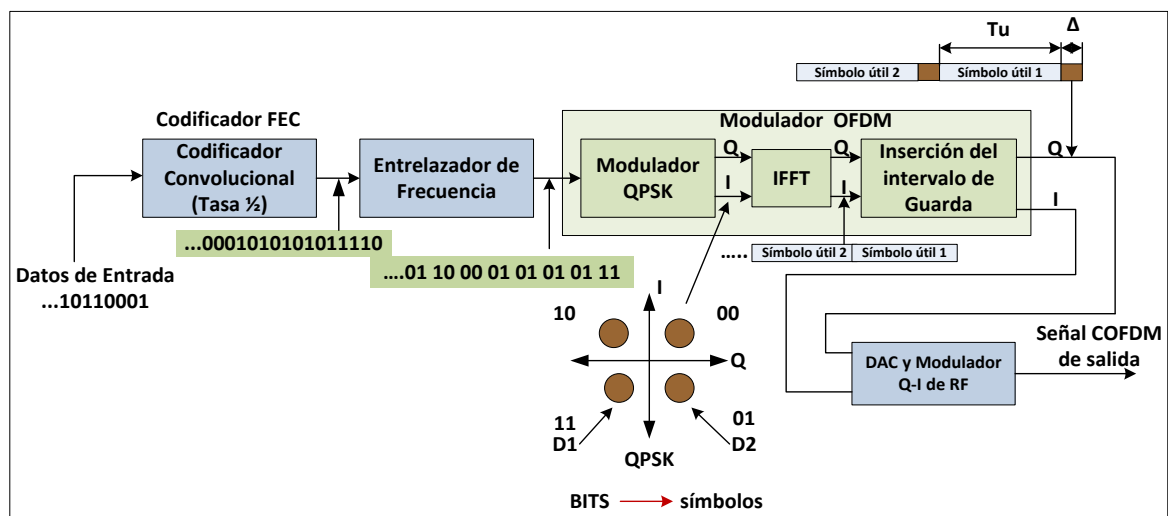
**Figura 4.** Diagrama de subportadoras en el dominio del tiempo y frecuencia

#### d.1.4.1. Modelo simplificado del sistema COFDM

En la figura 5, tenemos el modelo simplificado de un transmisor COFDM con el que se desea transmitir unos bits datos que se ingresan al codificador FEC (Forward Error-Correction), en este caso es el codificador convolucional que da redundancia a los bits transmitidos posibilitando la corrección de errores en el demodulador, luego se agrupan varios bits en el entrelazador de frecuencia para causar un desorden pseudo-aleatorio con lo que se consigue distribuir los bits de datos entre las portadoras dentro de un símbolo OFDM para así mejorar el desempeño del decodificador de Viterbi en el demodulador COFDM. Posteriormente los bits de datos codificados y entrelazados en frecuencia ingresan al modulador OFDM que tiene como función ir tomando de a dos bits para modularlo con QPSK sucesivamente pasando de bits a símbolos de datos, después se realiza la IFFT (Transformada rápida de Fourier inversa) que consisten en agrupar 8 símbolos que corresponde a 8 puntos que va procesar la IFFT a la vez para luego generar un símbolo útil formado por 8 muestra con duración  $T_u$  (duración de símbolo útil) constituido por 8 portadoras ortogonales entre sí (separadas en frecuencia en múltiplos de  $1/T_u$ ) y finalmente se inserta un intervalo de guarda que tiene como función eliminar la ISI, este último es una extensión cíclica de IFFT que es solo una

copia de un determinado número de las ultimas muestras de la salida de la IFFT que son muestras agregadas al comienzo del símbolo útil, es decir, la IFFT genera un solo símbolo que es llamado símbolo OFDM. El cual está formado por un símbolo útil y un intervalo de guarda.

Ahora la señal a transmitir se debe ajustar debido que está en banda base, la salida Q-I es todavía digital para ello es necesario convertirla a una señal analógica usando dos conversores digital-análogo (DAC), para luego ser modulada en RF usando un modulador en cuadratura.



*Figura 5. Transmisor COFDM*

La señal COFDM de salida se observa en la figura 6, posee 8 portadoras que son ortogonales entre sí que están centradas a una frecuencia central  $f_c$  en un ancho de banda, donde una trama OFDM está constituida por 4 símbolos OFDM generado por la IFFT.

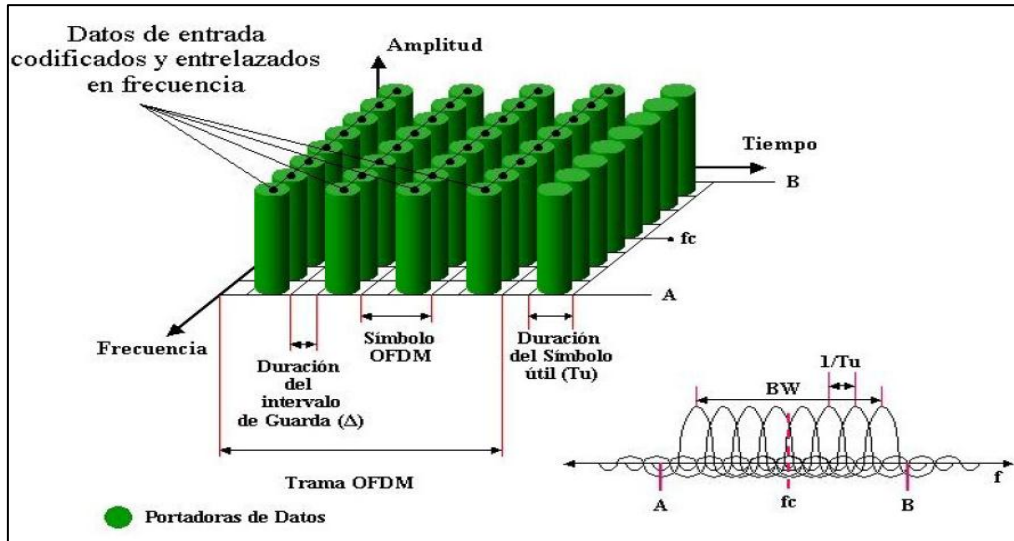
El ancho de banda (BW) es cociente entre el número de portadora ( $N_p$ ) y la duración del símbolo útil ( $T_u$ ) que está representada por la siguiente expresión:

$$BW = \frac{N_p}{T_u} (Hz)$$

La tasa binaria a transmitir ( $T_b$ ) es:

$$T_b = \frac{N_p}{T_u + \Delta} * N_{bm} * T_c (Bits/seg)$$

$N_p$  Es el número de portadora datos,  $N_{bm}$  es el número de bit por símbolo del esquema de modulación empleadas por las portadoras de datos (por ejemplo 6 bit para de QAM-64),  $T_u$  es la duración del símbolo útil,  $T_c$  es la tasa del codificador FEC y  $\Delta$  es la duración del intervalo de guarda



*Figura 6. Señal COFDM de salida.*

El receptor COFDM se encuentra en la figura 7 y se asume que la señal transmitida llega en forma íntegra, es decir, no sufre de ningún tipo de degradación o interferencia y vuelve en fase al receptor para así obviar la parte de sincronización en el receptor y ecualización. La señal recibida ingresa al demodulador de RF y la salida Q-I análogas son convertidas a Q-I digitales usando dos ADC (conversor análogo digital) para ello se hace un muestreo de la señal COFDM con un periodo de muestreo  $T_u/N_p$  (Número de portadora), luego ingresan las señales Q-I en banda base al demodulador OFDM que tiene como función eliminar el intervalo guarda con lo que se elimina las primeras muestra que contienen el intervalo de guarda, después se realiza FFT donde se agrupan 8 muestra que va procesar para entregar 8 símbolos que van hacer demodulados cada uno finalmente por el demodulador QPSK pasando de símbolo a bits. Posteriormente un grupo de bits es agrupado en el desentrelazador en frecuencia para reordenarlos y pasarlos al decodificador de Viterbi que tiene como función habilitar la corrección de errores en el receptor, recuperando así los bits de datos transmitidos. [7, pág. 18-19]

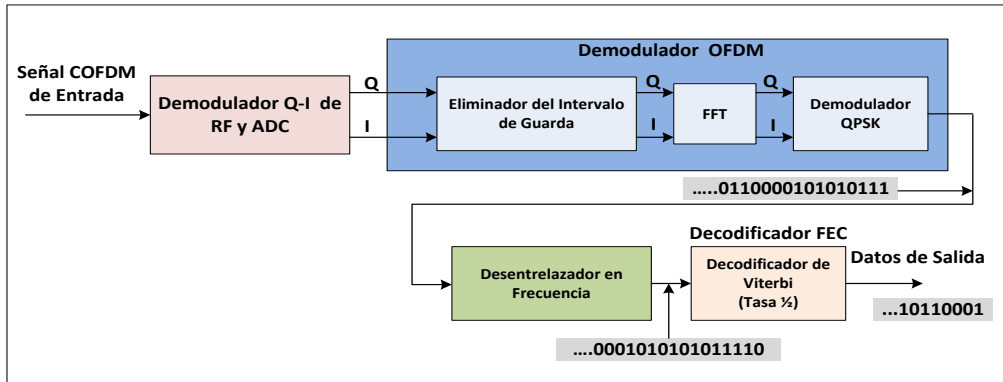


Figura 7. Receptor COFDM.

#### d.1.4.2. Esquemas de modulación de las portadoras

En cada símbolo OFDM, cada portadora es modulada (multiplicada) por un número complejo tomado desde una constelación fija que es un símbolo. Cuanto más estado hay en la constelación, más bits pueden ser transmitidos por cada portadora durante un símbolo OFDM, pero más cerca llegan a estar los puntos de la constelación, asumiendo constante la potencia transmitida. En general el modulador del esquema de modulación de las portadoras utiliza como referencia una constelación asignada, tomando  $N$  bits a su entrada y los transforma en un número complejo ( $a + jb$ ) a su salida que representa a un símbolo, debido que la IFFT trabaja con muestras de número complejo a su entrada, pero el número complejo antes deben ser multiplicado por una constante llamada factor de normalización de energía (FNE) para los símbolos. [7, pág. 29]

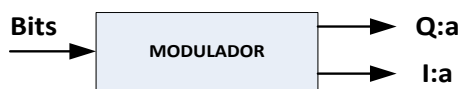


Figura 8. Modulador COFDM

Los esquemas de modulaciones de las portadoras utilizadas en COFDM son:

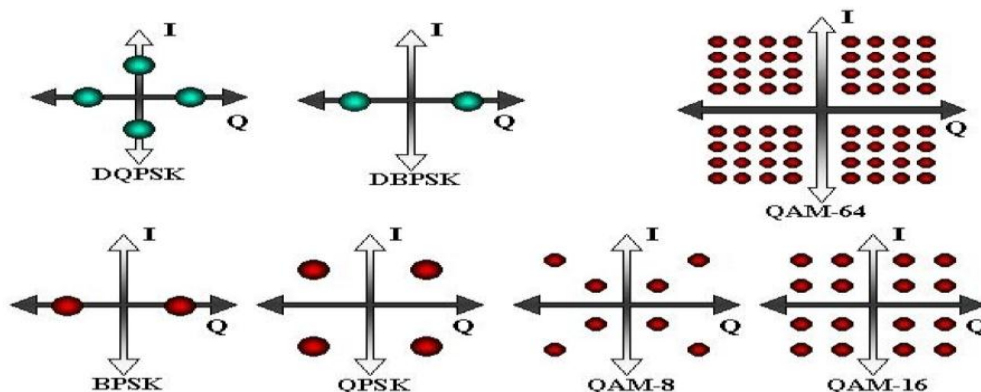


Figura 9. Tipos de Modulaciones empleadas por las Portadoras COFDM [7]

#### d.1.4.2.1. Modulación Uniforme y no uniforme en las constelaciones

**Modulación Uniforme:** Es la separación del grupo de puntos (símbolos) de cada cuadrante de la constelación (QPSK, QAM-16, BPSK, DQPSK, etc.) en uso en una proporción constante normalizada con factor  $\alpha=1$  ( $\alpha$  es una constante de la constelación).

**Modulación no Uniforme:** Es el incremento de N niveles de separación de cada cuadrante en comparación con la modulación uniforme. Por ejemplo al incrementar a  $\alpha=2$  se sube un nivel más la separación de cada cuadrante en comparación con  $\alpha=1$  y así sucesivamente mientras  $\alpha$  aumente. La ventaja de esta modulación es que mejora la SNR de cada portadora reduciendo así la interferencia entre los puntos de cada cuadrante de la constelación en uso. [7, pág. 32]

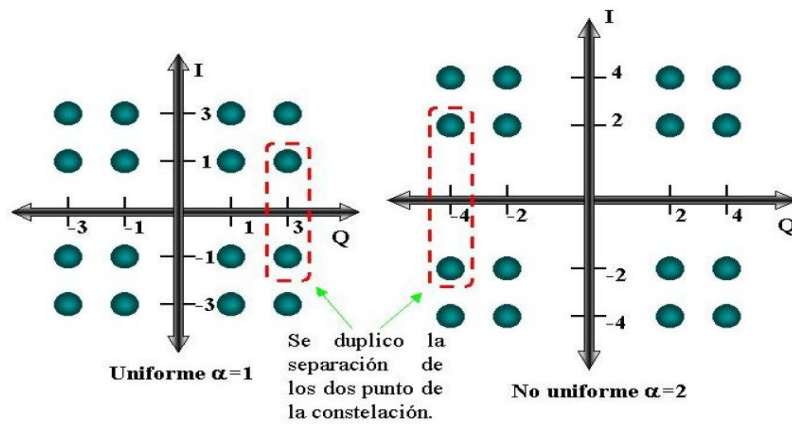


Figura 10. Modulación Uniforme y no uniforme de modulación QAM-16[7]

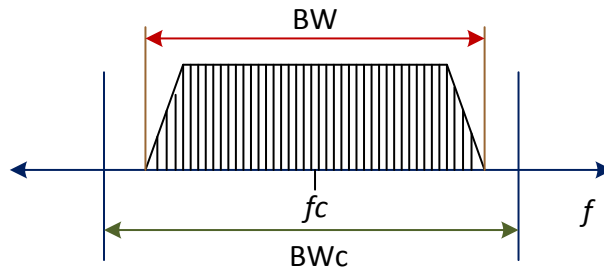
#### d.1.4.3. Ancho de Banda del Canal y COFDM

El ancho de banda del canal ( $BW_C$ ) siempre es mayor al ancho de banda de COFDM ( $BW$ ) para evitar así interferencia de banda estrecha de cocanal y por condiciones de diseño del sistema COFDM (ver figura 11). Con respecto a lo anterior se tiene la siguiente expresión:

$$BW_C > BW$$

Para obtener el ancho de banda de COFDM se debe asumir una constante  $A_c$  que esta entre 0,8 a 0,95 típicamente, obteniéndose la siguiente expresión:

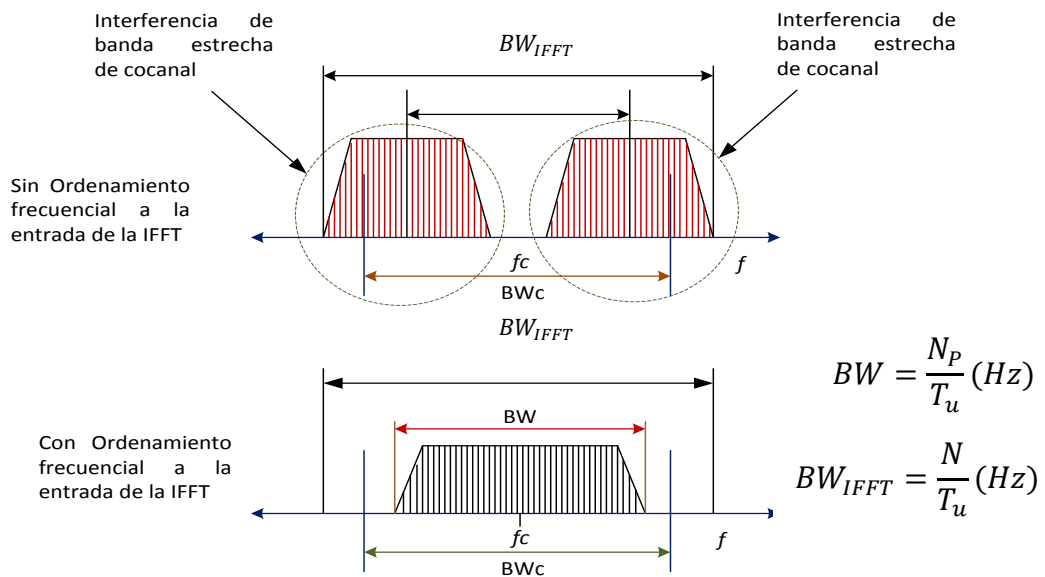
$$BW_C = A_c * BW(Hz)$$



**Figura 11.** El ancho de banda del canal y el ancho de banda de COFDM.

Como el ancho de banda de COFDM (BW) está en función del número de las portadoras ( $N_p$ ) y el número de puntos de IFFT ( $N$ ) está en función de un número exponencial en base 2, la mayoría de las veces por efecto de diseño del sistema COFDM resulta que el número de portadoras ( $N_p$ ) es menor al número de puntos de la IFFT, por lo tanto, hay algunos puntos de la IFFT que no se utilizan debiéndose entonces distribuir frecuencialmente los datos a la entrada de la IFFT para así evitar la interferencia de banda estrecha de cocanal.

También se requiere que  $N_p < N$  porque algunos sistemas COFDM tienen modulador y demoduladores de RF analógicos, para aquellos sistemas se necesita una frecuencia de muestreo  $f_m = \frac{N}{T_u}$  para el DAC y el ADC donde el filtro pasa bajo del transmisor y receptor requiere una banda de guarda entre la frecuencia mínima y máxima de corte. [7, pág. 46-47]



**Figura 12.** Ancho de banda COFDM y el número de puntos IFFT



#### **d.1.4.4. Información de estado del canal y Soft-decision**

Al usar el esquema de modulación coherente en las portadoras de datos se requiere además de la ecualización del canal mejorar la eficiencia del decodificador de viterbi en el receptor a consecuencia del multitrayecto y la interferencia en el canal que modifican la amplitud y fase de cada portadora de datos, es decir, cambia los estados lógicos de los bits de cada símbolo. Desde otro punto de vista al requerir transmitir altas tasa binaria de datos se necesita obligatoriamente el esquema de modulación coherente, por ejemplo QAM-32 o más niveles, que trae como consecuencia un estrechamiento de los puntos de la constelación haciéndola más vulnerable a la interferencia al límite de no saber reconocer que el punto de la constelación que fue demodulada tal vez no sea el mismo el que fue transmitido trayendo como resultado que la corrección de errores del receptor pierde desempeño debido a muchos estados lógicos falsos de los bits, entonces se requiere cancelar esos estados lógicos. Para ello se utiliza:

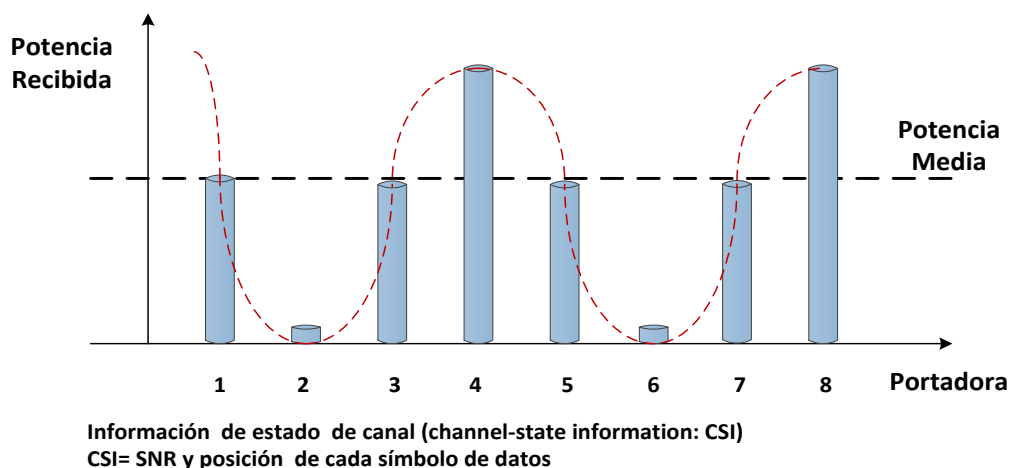
- **Información de Estado del Canal (CSI: Information State Channel):** Es obtenida mediante los símbolos de datos, la información entregada es la SNR de cada símbolo de datos y su posición dentro de cada símbolo OFDM.
- **Decodificación con Decisión Flexible (Soft-Decision Decoding):** Aquí se utiliza la CSI y a través de método probabilísticos u otros métodos para estimar el estado lógico de los bits de salida más apropiado según el estado del canal.

Cuando se modulan los datos sobre múltiples portadoras como en COFDM, varias portadoras tendrán razones de señal a ruido (SNR) diferentes. Por ejemplo, una portadora la cual cae dentro de una hendidura en la respuesta de frecuencia comprenderá ruido mayormente, mientras que una en un pic sufrirá mucho menos. Además de las variaciones de símbolo a símbolo, hay otro factor para tomar en cuenta en la decodificación con soft-decision, los datos llevados por las portadoras que tienen una SNR alta son previamente más fiables que aquellas llevadas por las portadoras que tienen SNR baja. Esta extraordinaria información previa es usualmente conocida como información de estado del canal (CSI). Al incluir la información de estado del canal en la decodificación con soft-decision es la llave para incrementar el desempeño de

COFDM en la presencia del desvanecimiento selectivo en frecuencia y la interferencia que afectan a las portadoras.

En la figura 13, se muestra un simple ejemplo en un canal selectivo en el cual hay un eco de 0 dB de retraso prolongado que causa que 1 portadora de cada 4 es nula, mientras que otra portadora de cada 4 se reforzó y permaneciendo dos portadoras que están intactas. Aunque solamente unas pocas portadoras de COFDM se ilustran, el patrón se repite cíclicamente para todas ellas. La curva punteada representa la respuesta de frecuencia de la potencia media del canal formado por las dos trayectorias. Ahora 1 portadora de cada 4 esta nula por el canal pero los bits correspondientes a esa portadora se marcan efectivamente como cancelados por la utilización de la decodificación con soft-decision, gracias a la aplicación de información de estado del canal.

Dos de las tres portadoras restantes se recibieron a la misma SNR, mientras 1 portadora se reforzó realmente y tiene una SNR mejorada los bits de cada símbolo que modulan esas 3 portadoras no se cancelan. [7, pág. 80-81]



**Figura 13.** EL efecto en 8 portadoras de un eco de 0 dB de retraso prolongado.

Vale mencionar que las consideraciones respecto a la potencia la relación S/N requerida en sistemas analógicos es de 45 dB y la relación S/N requerida en sistemas digitales es de 15 dB al utilizar la modulación COFDM cumple con los requerimientos antes mencionados.

#### **d.1.4.5. Ventajas tecnológicas de COFDM**

Las ventajas tecnológicas que ofrece la modulación COFDM tanto a las estaciones de radio y receptores son las siguientes:

- ✚ Determina la posibilidad de configurar Redes de Frecuencia única, lo que facilita la recepción de un programa en la misma frecuencia en todo el territorio de cobertura. Esto representa una gran ventaja respecto a la FM, donde el usuario debe resintonizar continuamente el receptor de su vehículo a medida que se desplaza por zonas no cubiertas por un mismo centro emisor.
- ✚ Permite el envío de un elevado volumen de información garantizando la recepción en equipos móviles y fijos.
- ✚ El sistema se muestra inmune al efecto Doppler y permite la recepción con una calidad excepcional.
- ✚ Representa un ahorro de energía y recursos importante porque radia diferentes programas y servicios de datos a través de un mismo transmisor.
- ✚ Una de las características de la modulación COFDM es su capacidad para recuperar la información con los mínimos errores posibles, cuando se produce la recepción de una señal directa y una de retardada en el tiempo por efecto de rebotes y reflexiones.

#### **d.1.5. Características De La Radio Digital Terrestre**

Las características que ofrece esta tecnología son múltiples, a continuación se describe las más sobresalientes:

##### **✚ Calidad del sonido**

La calidad de sonido es el mayor beneficio de la radio digital. El sonido de una estación en Frecuencia Modulada (FM) se asemejará al de un CD y el de AM a la Onda Corta a la actual (FM). Además, el sonido no se ve afectada por las condiciones atmosféricas o interferencias eléctricas como las señales de radio tradicionales, lo cual mejora la calidad del sonido principalmente en los automóviles o cuando escuchamos la radio en movimiento.

##### **✚ Espectro Radioeléctrico**

En la gestión del espectro radioeléctrico, la radiodifusión sonora digital logra una mayor eficiencia en el uso de las frecuencias, gracias a las técnicas de modulación que utiliza.

### **Variedad de Transmisiones**

Actualmente los organismos de radiodifusión sonora solamente pueden transmitir voz a través del espectro radioeléctrico o pueden difundir a través de la internet mediante Streaming. Sin embargo, con los radios digitales, los usuarios pueden llevar a cabo múltiples transmisiones en cualquier momento, ya sea de voz o de datos, sin distorsión y con completa seguridad. Para fines de entretenimiento esta habilidad ha aumentado considerablemente el campo, permitiendo difusión múltiple por un rango de canales más amplio.

### **Sin Interferencia**

Las señales de radio digital han sido convertidas en dígitos binarios (bits), los cuales son transportados por las ondas radiales de una manera que resiste las interferencias. Se puede oír sin las molestas interrupciones provocadas por la orografía.

### **Selección automática de frecuencia**

Cuando se escucha la radio analógica en el automóvil y se quiere seguir un determinado programa, la emisora se tiene que volver a sintonizar manual o automáticamente varias veces a lo largo de un recorrido. Con la radio digital esto será cosa del pasado, los radios digitales emiten en una frecuencia que puede ser sintonizada con un toque de botón de forma automática y de la cual no hay que realizar algún esfuerzo.

### **Información Extra**

Con el receptor digital se puede recibir información visual. Los nuevos aparatos de Radio Digital tienen pantallas de cristal líquido LCD que muestran información textual complementaria de lo que se está escuchando. Se pueden conocer así, simultáneamente, los resultados deportivos, el nombre del grupo musical que está tocando o detalles sobre el título y el artista. Algunos aparatos tienen pantallas con la capacidad de hacer "scroll", de tal manera que la información va pasando a lo largo de la pantalla: de arriba a abajo, o de izquierda a derecha, lo que permite mostrar hasta 128 caracteres de una sola vez.

### **Control de Funciones**

Con los radios digitales, el usuario tiene mayor control sobre sus funciones. En el caso de los radios de dos vías, el usuario puede comunicarse con una sola persona, con muchos oyentes, o filtrar la disponibilidad de anchos de banda en muchos canales para que lo usen muchos usuarios de un grupo. El usuario puede controlar el nivel de

seguridad para tales comunicaciones, además, puede tener el control de la cantidad de filtrado, codificación y decodificación para cada transmisión.

#### d.1.6. Estándares De Radiodifusión Sonora

El avance de la tecnología en el mundo ha permitido que la radio tenga varios sistemas o estándares de radiodifusión digital. La unión internacional de Telecomunicaciones ha propuesto dos recomendaciones para estaciones de radio que realicen la transición de analógico a digital y son las siguientes:

UIT-R BS.1114, la cual presenta un análisis de la radiodifusión sonora digital terrenal en la gama de frecuencias de 30-3.000 MHz, con los siguientes sistemas:

- DAB Eureka 147 (Digital Audio Broadcasting)
- IBOC-FM (In-band on- channel)
- ISDB-TSB (Integrated Services Digital Broadcasting terrestrial sound broadcasting)
- DRM+(Plus) (Digital Radio Mondiale)

UIT-R BS.1514, para radiodifusión sonora digital en las bandas de radiodifusión por debajo de 30 MHz, se implementen los sistemas DRM e IBOC- AM. Actualmente existen varias tecnologías que han sido propuestas para el desarrollo de la radiodifusión sonora digital, en la tabla N°1 tenemos un cuadro comparativo de las características técnicas de los diferentes estándares de radiodifusión sonora digital existentes.

**Tabla 1.** Comparación Técnica de los estándares de radiodifusión Digital

Cuadro Comparativo de Estándares de Radiodifusión Sonora Digital					
Parámetros	Eureka 147	ISDB-TSB	IBOC-AM	IBOC-FM	DRM
Origen	Europa	Japón	Estados unidos	Estados Unidos	Europa
Bandas de Frecuencia	VHF-III,L band	VHF,UHF	MF	VHF-FM	LF,MF,HF
Ancho de Banda	1,5 MHz	0,4 - 1,3 MHz	18/20kHz	200kHz	9-18kHz, 100kHz

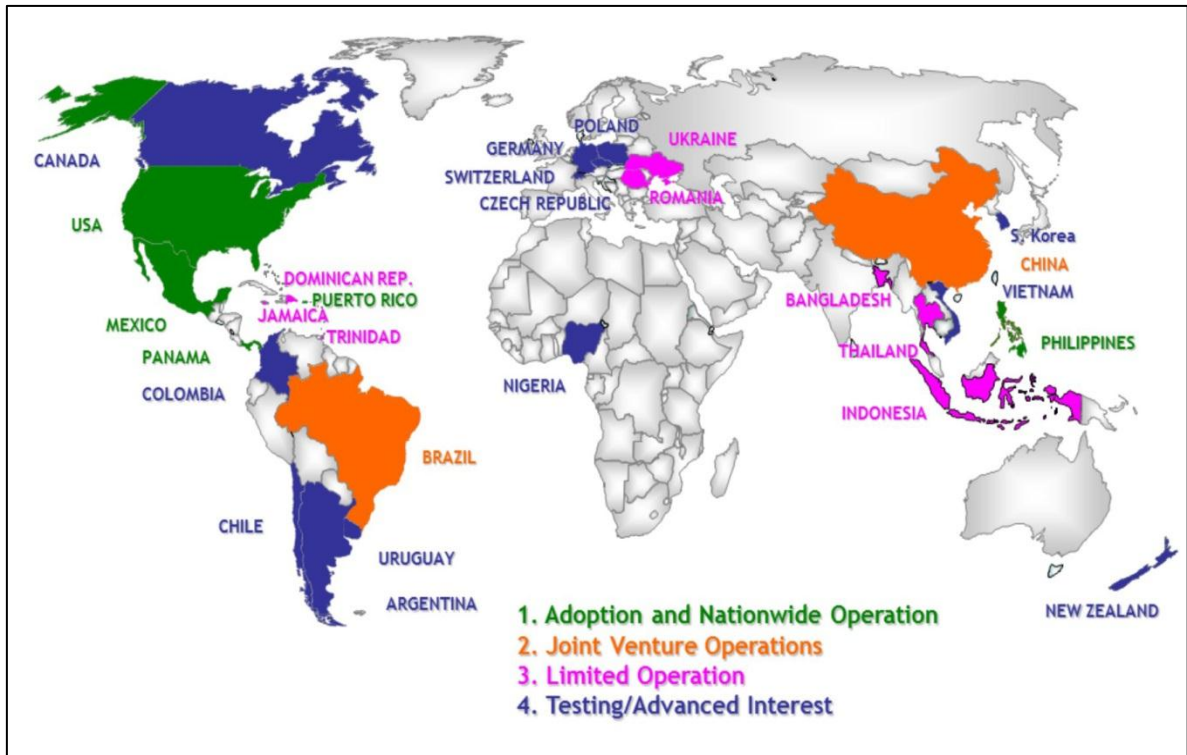
<b>Método de codificación de Audio</b>	MPEG-1 Layer II y MPEG-2 Layer II	MPEG-1 Layer II y MPEG-2 Layer II, AAC, AC-3	PAC	PAC	MPEG-1 Layer II y MPEG-2 Layer II, AC-3
<b>Tasa de bits para calidad de audio</b>	"CD" a 192-224kbps	MPEG-2 AAC: "CD" a 144Kbps	"FM" a 20Kbps	"CD" a 98 kbps	"Mono FM" a 24 kbps
<b>Infraestructura</b>	Sitios FM/TV	Sitios FM/TV	Sitios AM	Sitios FM	Sitios AM
<b>Estandarización</b>	Amplia	Amplia	Amplia	Alguna	Alta
<b>Disponibilidad del Receptor</b>	si	si	Si	Si	Si

Fuente: CINTEL

#### **d.1.7. Situación actual del estándar IBOC en el mundo**

A finales del siglo XX y a principios del siglo XXI, las empresas radiodifusoras a nivel mundial empezaron con la búsqueda y creación de sistemas de radio digital que pudieran ser útil y rentable para sí mismo basándose en distintas filosofía de creación. En Europa iniciaban sus estudios mediante el proyecto Eureka 147, tratando de ganar calidad, mientras que en Estados Unidos, mediante la empresa iBiquity Digital Corporation, buscaba un sistema muy adaptativo que permitiera un cambio gradual de las radiodifusoras y surgió el estándar digital IBOC. A partir de la experiencia y funcionamiento de esta tecnología ha sido de gran interés para las empresas de radiodifusión sonora de diferentes países donde realizaron pruebas y algunos aprobaron esta tecnología para implementarla en sus países, debido a su capacidad para ofrecer un sonido de calidad digital, una mayor oferta de servicios y un mejor uso del espectro.

Actualmente el IBOC se está implantando con relativa facilidad en los países donde se ha adoptado este sistema debido a las distintas características técnicas que ofrece, en Europa la situación es algo distinta, el sistema DAB se está implantando de forma más lenta y con algo más de dificultad en algunos países. Actualmente la tecnología HD Radio se encuentra en varios países de américa en modo de prueba y como estándar predeterminado tal como se observa en la figura 14. Las etapas iniciales de las pruebas de HD Radio y la conversión se iniciaron en los Estados Unidos en el año 2003. En la figura 10, tenemos un mapa mundial acerca de la situación actual del estándar IBOC.



*Figura 14. Países en planes de implementación de IBOC. [24]*

Aproximadamente en 25 países se encuentran con el sistema digital IBOC implementado o en etapa de prueba, tal como se indica en la tabla 3.

*Tabla 2. Países donde se encuentran establecido el sistema IBOC.*

Estándar IBOC	
País	Modo
<b>Estados Unidos</b>	Transmitiendo (nivel Nacional)
<b>Puerto Rico</b>	Transmitiendo (nivel Nacional)
<b>Pilipinas</b>	Transmitiendo (nivel Nacional)
<b>Canadá</b>	Transmitiendo (nivel Nacional)
<b>México</b>	Transmitiendo (nivel Regional)
<b>Panamá</b>	Transmitiendo (nivel Regional)
<b>Brasil</b>	Transmitiendo (nivel Regional)
<b>República Dominicana</b>	Operación limitada
<b>Jamaica</b>	Operación limitada
<b>Suiza</b>	Operación limitada
<b>Ucrania</b>	Operación limitada
<b>Tailandia</b>	Operación limitada
<b>Indonesia</b>	Operación limitada

<b>Ucrania</b>	Operación limitada
<b>Nueva Zelanda</b>	Etapa de prueba
<b>Polonia</b>	Etapa de prueba
<b>Chile</b>	Etapa de prueba
<b>Uruguay</b>	Etapa de prueba
<b>Argentina</b>	Etapa de prueba
<b>Nigeria</b>	Etapa de prueba
<b>Romania</b>	Etapa de prueba
<b>China</b>	Etapa de prueba
<b>Colombia</b>	Etapa de prueba
<b>El Salvador</b>	Etapa de prueba
<b>Vietnam</b>	Etapa de prueba

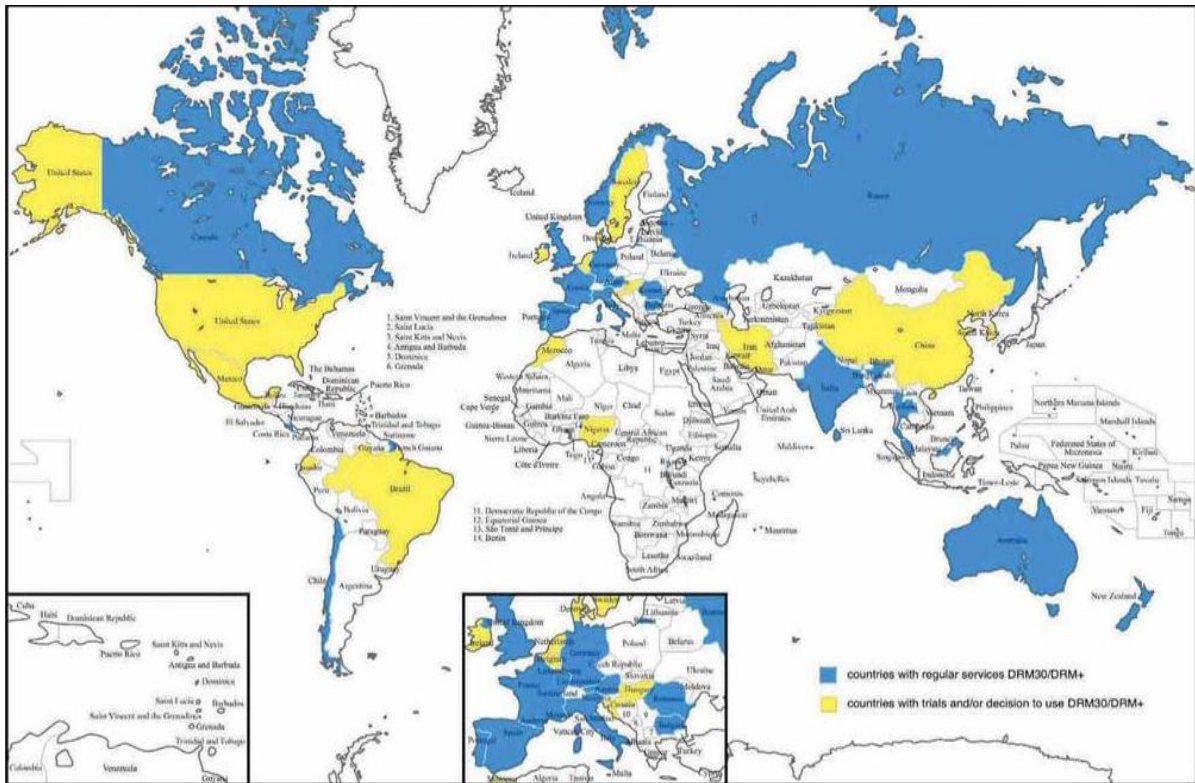
Fuente: Original

#### **d.1.8. Situación Actual Del Estándar DRM En El Mundo**

Para la radiodifusión sonora digital en el continente europeo y asiático se han inclinado por los estándares digitales DAB y DRM radiodifusión por debajo de los 30MHz, es así que, varios países europeos han fijado una fecha límites para la terminación de transmisiones analógicas. El 16 de junio del 2003 se iniciaron las primeras emisiones regulares con el estándar digital DRM, el estándar de radiodifusión digital DRM se encuentra específicamente en 29 países del mundo; en algunos ya ha sido implementado por operadores de radiodifusión y en otros se están realizando pruebas experimentales para evaluar la posibilidad de implementar el sistema digital DRM.

En la figura 15, se observa la distribución del sistema DRM en el mundo, los países de color azul son los países que han adoptado el estándar, mientras los de color amarillo se encuentran en modo de prueba. Actualmente existen cadenas radiales que llevan algunos años transmitiendo su programación en formato digital, inicialmente con transmisiones piloto y actualmente con transmisiones regulares; cadenas como, la BBC de Reino Unido, DW de Alemania, TDF de Francia. Por lo que los procesos regulatorios se han iniciado en estos países, también se suman a este proceso Rusia y España.





*Figura 15. Mapa del DRM Consortium que muestra la distribución de DRM en el mundo. [33]*

Aproximadamente en 29 países se encuentra el sistema digital DRM implementado o en etapa de prueba, tal como se indica en la tabla 3.

*Tabla 3. Países que se encuentran establecido el sistema DRM.*

Estándar DRM	
País	Modo
Canadá	Transmitiendo
Chile	Transmitiendo
Australia	Transmitiendo
Nueva Zelanda	Transmitiendo
Costa Rica	Transmitiendo
Suriname	Transmitiendo
Rusia	Transmitiendo
India	Transmitiendo
Francia	Transmitiendo
España	Transmitiendo
Italia	Transmitiendo
Romania	Transmitiendo
Sri Lanka	Transmitiendo
Indonesia	Transmitiendo
Tailandia	Transmitiendo

<b>Ecuador</b>	Etapa de Prueba
<b>Dinamarca</b>	Etapa de Prueba
<b>Hungría</b>	Etapa de Prueba
<b>Nigeria</b>	Etapa de Prueba
<b>China</b>	Etapa de Prueba
<b>Brasil,</b>	Etapa de Prueba
<b>México</b>	Etapa de Prueba
<b>Estados Unidos (Alaska )</b>	Etapa de Prueba
<b>Nigeria</b>	Etapa de Prueba
<b>Morocco</b>	Etapa de Prueba
<b>Irán</b>	Etapa de Prueba
<b>Sweden</b>	Etapa de Prueba
<b>Irlanda</b>	Etapa de Prueba
<b>Corea</b>	Etapa de Prueba

Fuente: Original

Vale mencionar que en el país de Brasil se ha firmado con la compañía Harris para que sea el proveedor de los equipos para montar los sistemas de radiodifusión digital. Actualmente Brasil está muy interesado en propulsar el DRM+, por lo que ha creado grupos de estudio y ha firmado con el consorcio DRM para que los receptores puedan ser fabricados en su país, para de esta manera abaratar los costos alrededor de \$50. Así se podría pensar que en Latinoamérica se adoptaría el sistema DRM, ya que con un solo receptor se podría sintonizar estaciones de radiodifusión en las bandas de FM, AM y onda corta.

#### **d.1.9. Situación actual de la radiodifusión sonora Digital en Ecuador**

Ecuador siempre ha estado inmerso a las nuevas transmisiones digitales que existen actualmente a nivel mundial, como muestra de ejemplo tenemos la estación de radio HCJB de Quito asumió el reto de iniciar emisiones piloto para experimentar con el estándar digital DRM cuyas transmisiones digitales eran en onda corta (OC). A finales del año 2000, HCJB inició las primeras emisiones con DRM en su estación de Pifo, principalmente para conocer el desempeño del mismo en la región tropical.

El 7 de octubre de 2011, la Superintendencia de Telecomunicaciones del Ecuador (SUPERTEL) suscribió un convenio de cooperación con la Unión Nacional de Periodistas (UNP), concesionaria de la frecuencia de Radio Unión AM 820 kHz, y con la compañía The World Radio Missionary Fellowship Inc., concesionaria de radio

HCJB, La Voz y Ventana de los Andes, con la finalidad de que las instituciones firmantes colaboren con la SUPERTEL en la realización de pruebas técnicas con el estándar de radiodifusión digital DRM (Digital Radio Mondiale) en el país, con vistas a la futura adopción de una norma de radio digital. En dicho convenio se realizaron trabajos de adecuación y mantenimiento en la infraestructura de Radio UNIÓN, donde se instalaron equipos de transmisión del estándar DRM y además se realizaron arreglos en los sistemas de tierras de la caseta y torre radiante; verificación de juntas en la torre radiante y de continuidad en los radiales enterrados son algunos de los trabajos que se realizaron previo a la llegada de los equipos de transmisión, que fue planificada para la segunda semana de enero de 2012. Los convenios tienen un plazo de duración de un año, pudiendo renovarse automáticamente a conveniencia de las partes. Durante la vigencia de los mismos se deberá completar el proceso de pruebas de radiodifusión digital con el estándar DRM.

Tanto el personal técnico de la SUPERTEL y de la radiodifusora HCJB que participo en este proceso recibió capacitación a cargo de expertos internacionales tanto de HCJB como del Consorcio DRM (estándar evaluado). En ellas se impartieron conocimientos básicos sobre el estándar, características de los transmisores y sistemas radiantes para esta tecnología y experiencias en los procesos de pruebas realizados en España, México y Brasil. Dentro de la planificación de la SUPERTEL está el realizar las pruebas con todos los estándares existentes para cada una de las bandas utilizadas en el Ecuador. Una vez realizado las pruebas con el resto de estándares de radiodifusión digital existentes para cada banda utilizada en el Ecuador para este servicio onda corta (OC), onda media (AM) y frecuencia modulada (FM), la SUPERTEL elaborará un informe técnico en el que se incluirán las conclusiones y recomendaciones para la adopción del estándar correspondiente, a fin de que sea conocido y acogido por el organismo de regulación. [32]

## **e. MATERIALES Y MÉTODOS**

El presente tema de investigación está basado en un análisis técnico de los estándares de radiodifusión sonora digital IBOC (Canal dentro de Banda IBOC) y DRM (Radio Digital Mundial), donde se analiza las características técnica, arquitecturas, y funcionamiento de los sistemas digitales y como ya se ha mencionado desde un inicio, el objetivo de esta tesis es determinar el estándar de radiodifusión sonora digital más factible para una posible implementación en las emisoras de radiodifusión sonora en la ciudad de Loja. Para cumplir con el desarrollo del proyecto de tesis y objetivo se empleó los métodos analítico y comparativo respectivamente, a continuación se explicara detalladamente el desarrollo de la metodología.

Como primera etapa del desarrollo del proyecto de tesis consistió en el análisis técnico de cada uno de los estándares digitales y para ello se empleó documentos propiamente establecidos por cada uno de los estándares digitales IBOC y DRM, tales como, el documento NATIONAL RADIO SYSTEMS COMMITTEE NRSC-5-C In-band/On-Channel Digital Radio Broadcasting Standard September 2011, que es la normativa del sistema digital IBOC, mientras que el documento especificado por la ETSI ES 201 980 V3.2.1 (2012-06) y Digital Radio Mondiale (DRM), para el sistema digital DRM. Estos dos documentos consisten la parte principal del desarrollo del tema de investigación y adicionalmente se utilizó otras referencias bibliográficas relacionadas con los sistemas digitales. Una vez que se estableció la bibliografía con la que se va a trabajar, se procedió a realizar el análisis técnico de cada uno de los estándares digitales a través del método analítico.

Como segunda etapa se procedió a realizar un análisis comparativo de los dos estándares digitales mediante el método comparativo, que nos permitió efectuar un análisis de los parámetros técnicos más importantes de los sistemas digitales. Al final del análisis comparativo podremos encontrar una tabla con la evaluación de los parámetros técnicos más importantes de los sistemas digitales IBOC y DRM según nuestro criterio, en el cual se logró establecer que el estándar Digital Radio Mondiale (DRM) es el más adecuado para implementar en las estaciones de radio en la ciudad de Loja.

Como tercera etapa se propone el estándar digital apropiado para las radiodifusoras de FM/AM de la ciudad de Loja según lo estudiado durante el desarrollo del proyecto de tesis y se realiza un esquema general del estándar DRM/DRM+ con los equipos digitales correspondientes. En la cuarta y última etapa se deducen las conclusiones y recomendaciones que se presenta en el desarrollo del proyecto de tesis realizado.

A continuación se detalla el análisis técnico de los estándares digitales IBOC y DRM

### **e.1. ESTÁNDAR DE RADIODIFUSIÓN IBOC**

El estándar y tecnología In Band On Channel IBOC conocido como Canal dentro de Banda, fue creado y desarrollado por la empresa estadounidense Ibiquity Digital Corporation, en la actualidad se la conoce como HD Radio. Esta tecnología es la única aprobada en 2002 por la Comisión Federal de Comunicaciones FCC con el nombre de IBOC, que suministra una verdadera radiodifusión digital dentro de un espectro existente.



*Figura 16. Logotipo de la tecnología HD Radio*

La Tecnología HD Radio es la evolución de la radiodifusión tradicional analógica a digital, lo que conlleva a la existencia de nuevos servicios digitales y de datos que mejoran considerablemente la experiencia del radioescucha. Uno de los beneficios que suministra a los usuarios es el audio claro y la información extra como el nombre del artista y título de la canción, así como noticias, condiciones de tráfico, clima, etc. La transición de esta tecnología es de manera lenta y fácil, usando la infraestructura y espectro existente, y al mismo tiempo preservando el servicio analógico existe tanto como sea posible.

El sistema digital IBOC fue adoptado como estándar por el Comité Nacional de Sistemas de Radio de los Estados Unidos NRSC-5C (National Radio Systems Committee), con los requerimientos presentados en la recomendación ITUR BS.774. La norma NRSC -5C establece los requerimientos para el sistema Radiodifusión Sonora Digital IBOC, características generales del sistema de transmisión, modos de

funcionamiento, tipo de compresión y codificación de audio y datos, entre otros aspectos técnicos.

### **e.1.1. Descripción Técnica Del Sistema IBOC**

El estándar digital IBOC (canal dentro de banda) está diseñado para alcanzar una transición aplazada entre la radiodifusión sonora analógica y la radiodifusión digital total. Existen dos tipos de transmisiones: híbrido, que consisten en una combinación de señales analógica con señales digitales, y la transmisión totalmente digital, que no contienen componentes de modulación analógica. Ambas transmisiones están diseñadas para adaptarse a las normas de radiofrecuencia de la FCC.

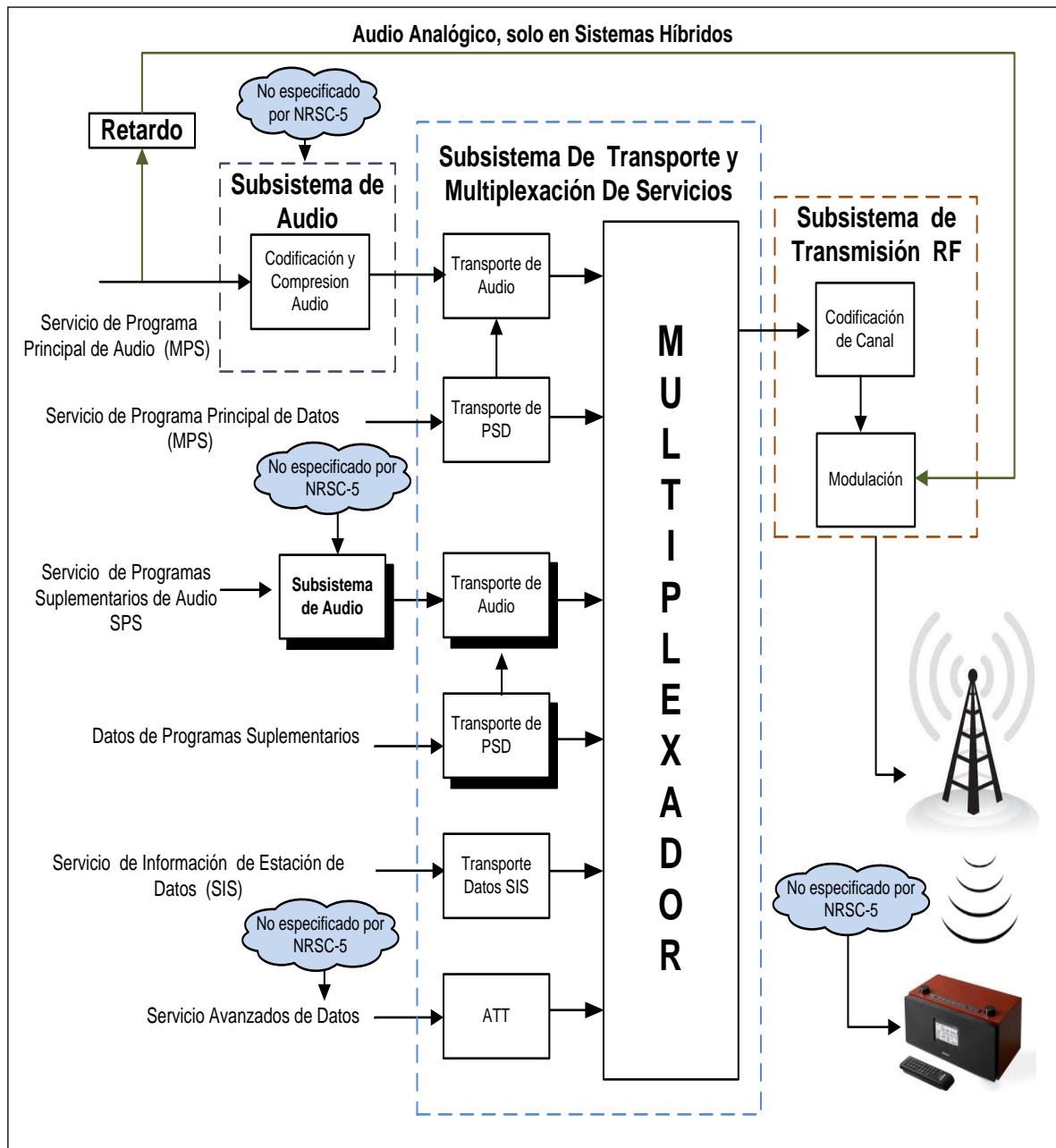
El sistema IBOC tiene la habilidad de proveer audio digital y servicios de datos a receptores móviles, portátiles y fijos desde transmisores terrestres en las actuales bandas de frecuencias atribuidas para las modulaciones de amplitud (AM) y Frecuencia Modulada (FM). Uno de los beneficios que presta el estándar IBOC es la alternativa que tendrán las radiodifusoras de poder continuar transmitiendo las señales analógicas actuales en forma simultánea con las señales digitales de IBOC. El estándar acepta como señal de entrada audio digital comprimido y utiliza técnicas de procesamiento de señales de banda de base, tales como entrelazado y FEC (Corrección de Errores hacia Adelante) para aumentar la robustez de la señal en el canal de transmisión. Las características básicas que identifican la tecnología IBOC se pueden resumir en los siguientes aspectos:

- ✚ Capacidad de transmisión de las señales tradicionales de audio, simultáneamente con el envío de datos a velocidades de 20kbps a 96 kbps.
- ✚ Al operar en la banda de A.M. con un ancho de banda de 20 kHz., la calidad de la señal percibida por el usuario es equivalente a una transmisión de FM, y si se operan en banda de F.M, la calidad es comparable con la del disco compacto.
- ✚ Compromiso entre un sistema robusto y la calidad del servicio.
- ✚ Uso eficiente del recurso espectral.

### e.1.2. Sistema General Del Estándar Digital IBOC

El estándar digital IBOC especificado por la norma NRSC-5C [31], está estructurado por tres subsistemas principales interfuncionales tal como se encuentra representado en la figura 17. Los subsistemas principales son:

- Subsistema Transmisión RF.
- Subsistema de Transporte y Múltiplex de Servicio. y
- Subsistema de fuentes de Audio y Datos.



**Figura 17. Estructura General del sistema Digital IBOC.**

### **e.1.2.1. Subsistema de Transmision RF**

El subsistema de transmision RF opera en las bandas de frecuencia AM, FM y OC, donde estos canales de frecuencia distinguen al subsistema de transmisión. Este subsistema toma el flujo de bits multiplexados y se aplica la codificación y entrelazado que serán usados por el receptor para reconstruir los datos de transmitidos, incluso cuando la señal recibida no se ajuste exactamente con la señal transmitida debido al deterioro del canal.

El flujo de bits multiplexados y codificados son modulados en subportadoras OFDM (Multiplexación por División Ortogonal de Frecuencia) y convertido a las bandas de AM o FM.

### **e.1.2.2. Subsistema de Transporte y Servicio de Múltiplex**

El subsistema de transporte y multiplex de servicio alimenta la información que será transmitida por el subsistema de transmisión de RF. Este subsistema adquiere el audio y los datos de la información que ha recibo, los organiza en paquetes, y los multiplexa en un único flujo de datos. Cada paquete se identifica como paquete de audio o de datos. Ciertos paquetes de datos que contengan información del programa de servicio, el cual incluye título de la canción, artista, etc., son añadidos al flujo de paquetes transportando la información asociada al audio, antes de ingresar al Multiplex. El flujo de transporte está modelado en detalle en la norma ISO 7498-1.

A continuación se detalla cada servicio comprendido en el Subsistema de Transporte y Servicio de Multiplex.

#### **e.1.2.2.1. Servicio de programa Principal MPS (Main Program Service)**

MPS es una extensión de la radio análoga tradicional, tiene la función de manejar el transporte y envío de la información a través del canal de audio en las transmisiones analógicas y digitales. Este sistema será muy beneficioso a los usuarios que no tengan habilitado en su receptor el sistema IBOC, porque podrán continuar recibiendo la señal de radio análoga tradicional, mientras que los receptores con la facilidad de IBOC para la radio digital, podrán recibir ambas señales la digital y analógica a través de la misma banda de frecuencias. Conjuntamente el servicio de programa principal transmite información correspondiente a la programación como el título de la canción, el nombre



del artista, nombre del álbum, el clima y el tráfico entre otros servicios, este servicio se denomina Servicio Personal de Datos PSD (Personal Data Service,) Los datos tienen el objetivo de complementar o describir el programa de audio que el usuario quiere escuchar.

#### **e.1.2.2.2. Servicio de programa suplementario SPS (Supplemental Program Service)**

El servicio de Programa Suplementario permite la transmisión de contenidos adicionales de audio en formato digital, además permite que programas adicionales de audio sean transmitidos en la misma portadora.

#### **e.1.2.2.3. Servicio de Información de la Estación SIS (Station Identification Service)**

El servicio de identificación de la estación es un transporte especializado para la transmisión de datos requeridos para el control e identificación de la estación radiodifusora.

Este servicio permite el envío de información relacionada a los servicios soportados por la estación como ubicación geográfica y horario (GPS), nombre de la estación, indicativo de llamada, tipo de programación.

#### **e.1.2.2.4. Servicio Avanzado de Datos ADS (Advanced Data Service)**

El servicio avanzado de datos, se basa en la transmisión de información auxiliar relacionada con aplicaciones independientes o específicas al programa principal de audio; esta información corresponde a texto, audio, imagen, video u otros datos correspondientes al subsistema de transporte.

#### **e.1.2.3. Subsistema de Fuentes de Audio y Datos**

Este subsistema consta de varias fuentes de entrada tales como de audio, y datos, estos a su vez están constituidos por diferentes servicios, los cuales permiten ofrecer

al sistema IBOC múltiples servicios. A continuación se describe cada una de las entradas antes mencionadas.

#### **e.1.2.3.1. Entrada de Audio**

La codificación y compresión del MPS y SPS se debe realizar antes de que la información de audio se introduzca en el subsistema de transporte de audio. Cada servicio de audio conformado por el servicio de programa principal y cada uno de los servicios de programa suplementarios tiene sus propia codificación, compresión y subsistema de transporte. La norma NRSC-5 no incluye especificaciones para la codificación y compresión de la fuente de audio.

El audio análogo del MPS no pasa a través del Subsistema de Transporte de Audio y se le introduce un retardo para que esta señal análoga llegue al receptor bastante cerca en tiempo que la señal digital. Esto le permitirá cambiar sin problemas de digital a análogo cuando la calidad de señal recibida no sea suficiente para la recepción de audio digital o cuando los paquetes en el MPS están dañados. Esta capacidad de “mezclar”, es también utilizada para cambios rápidos de canal, permitiendo al receptor demodular y reproducir primero el flujo análogo y después mezclar con el flujo de audio digital.

#### **e.1.2.3.2. Entrada de Datos**

Existen tres tipos de entradas de datos en el sistema de radiodifusión digital IBOC. El primero es el programa de servicio de datos (PSD), lo que incluye este servicio es la descripción de la información asociada con el programa de audio transmitido, tales como el título de la canción y el artista. El segundo tipo se refiere al servicio de información de la estación (SIS), que contiene información acerca de la estación y la señal de que no está asociado con un flujo de programa individual.

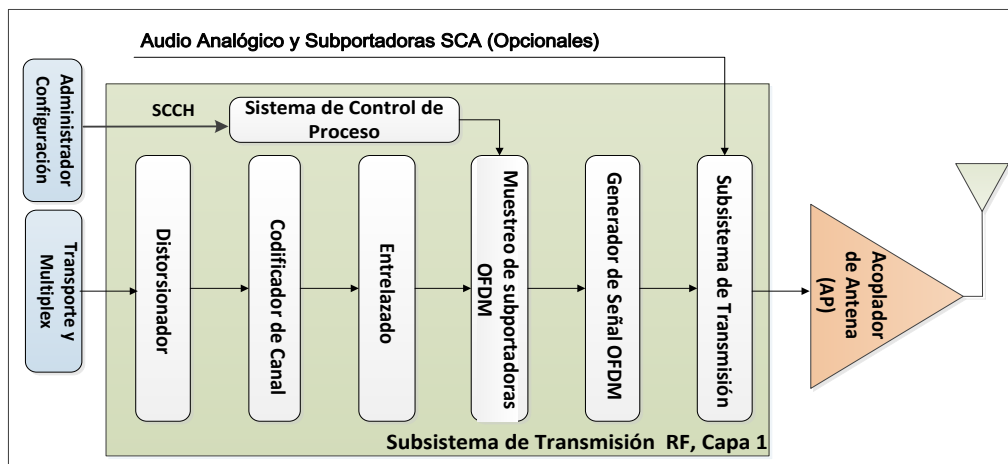
El tercer tipo es el servicio avanzado de datos (ADS), que se refiere generalmente como "otros datos", es decir, mensajes que incluyan información de noticias, estado del clima, información del tráfico, programación de entretenimiento que contenga audio, texto e imágenes.

### e.1.3. Característica del sistema de Transmisión RF

El estándar de radiodifusión IBOC opera en las bandas de frecuencia AM y FM, por lo que el sistema se clasifica en dos modalidades en Amplitud Modulada y Frecuencia Modulada, a continuación se describe de manera general las características de los sistemas de transmisión RF. Los sistemas RF de AM/FM se encuentran organizados en términos del modelo de capas de ISA de la ISO. Cada capa ISA del sistema de radiodifusión tiene su correspondiente capa par, en el sistema de recepción. La funcionalidad de estas capas es tal que el resultado combinado de las capas más bajas es establecer una comunicación virtual entre una capa determinada y su capa par en el otro lado.

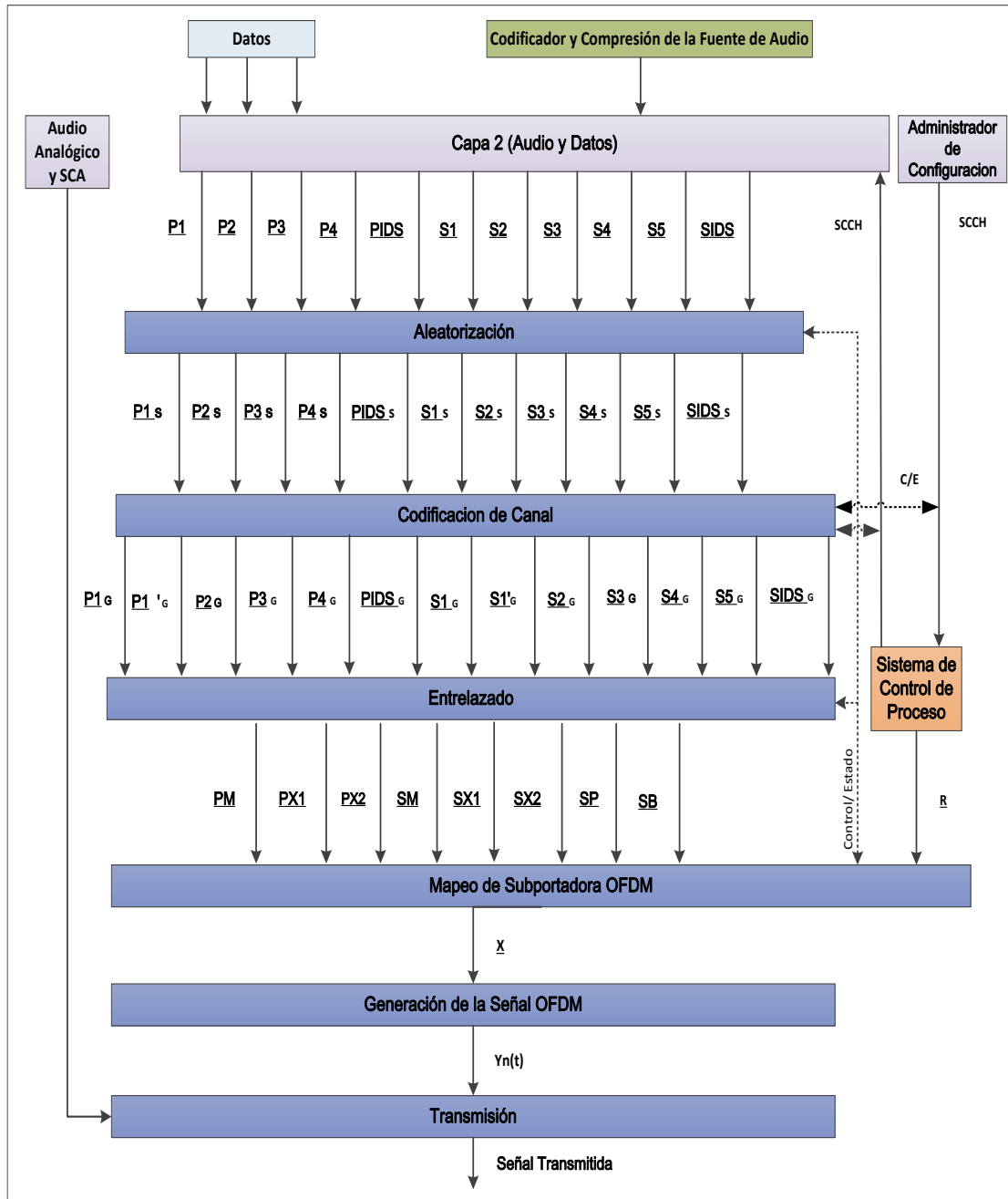
#### e.1.3.1. Características de Transmisión

En la figura 18, tenemos el diagrama en bloques funcionales de alto nivel para el subsistema de transmisión FM y AM, en donde se ilustra el orden de los procesos que se llevan a cabo en el ciclo de transmisión. El audio y los datos son direccionados desde las capas de protocolo de alto nivel hacia la capa física, a través de la interfaz de la Capa 2 a la Capa 1. Los cuales cuentan con los siguientes elementos.



*Figura 18. Diagrama en bloques del Subsistema FM de Transmisión/RF.*

En la figura 19, se observa el diagrama de bloques funcional de la interfaz capa 1 del sistema IBOC en FM. En el cual se describe el funcionamiento del sistema IBOC para la generación de señales en la banda FM donde se estudiará el proceso y componentes para la transmisión de la señal IBOC en FM.



**Figura 19.** Diagrama de bloques funcional de la interfaz capa 1 del sistema digital IBOC en FM.

### e.1.3.1.1. Canales Lógicos

El canal lógico es esencial para el transporte y transmisión de los datos a través del sistema IBOC, se puede definir a un canal lógico como la trayectoria de una señal que conduce PDU's de la Capa 1 con un Grado de Servicio (*QoS*) específico determinado por el modo del servicio. El comportamiento de cada canal lógico se describe

completamente mediante tres parámetros; transferencia, latencia y robustez, los canales lógicos se representan a través de símbolos tal como se observa en la figura 19. Los canales lógicos en la banda de FM se dividen en cuatro canales lógicos principales o primarios: P1, P2, P3 y PIDS, y 6 canales lógicos secundarios: S1, S2, S3, S4, S5 y SIDS. Los canales lógicos principales P1, P2 y P3 además de usar en las formas de onda híbrida y completamente digital, se utilizan para configurar los diferentes servicios de audio primario y el canal PIDS contribuye el servicio de información de la estación (SIS). Y los canales lógicos secundarios S1, S2, S3, S4, S5 y SIDS se emplean solo en el sistema totalmente digital donde se los utiliza para la transmisión de datos o audio complementario. En lo que se refiere en el proceso de AM, la capa 1 suministra tres canales lógicos principales: P1, P3 y PIDS. Los canales P1 y P3 se utilizan para configurar los servicios de audio y transferencia de datos y el canal PIDS aporta el servicio SIS. El canal lógico P1 está diseñado para ser más robusto que el canal lógico P3. Esto permite una transferencia de información que puede ser adaptada para ajustarse a una serie de aplicaciones diversas

#### **e.1.3.1.2. Codificación de Canal**

La codificación del canal mejora el rendimiento del sistema al incrementar la robustez de la señal en presencia de deterioro del canal. El proceso de codificación del canal está caracterizado por la codificación Convolutiva. Esta codificación convolutiva es aplicada a cada canal lógico en el subsistema de transmisión RF para la corrección de errores hacia adelante (FEC). Se utilizan algunos diferentes polinomios de codificación y los canales lógicos tienen diferentes velocidades de codificación.

La codificación de canal comprende las funciones:

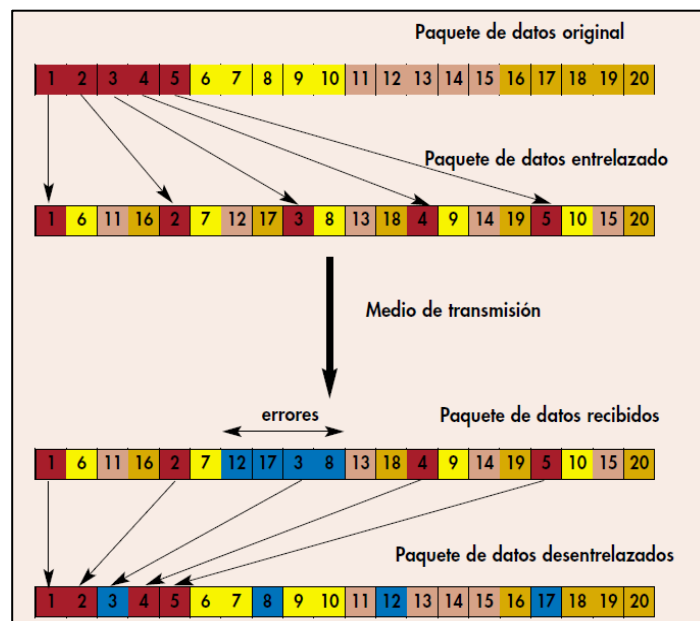
**Distorsionador:** Aleatoriza los datos digitales en cada canal lógico para eliminar las señales periódicas cuando la forma de onda es procesada en un demodulador convencional análogo. Los bits en cada canal lógico son distorsionados para hacerlos aleatorios en el dominio del tiempo y ayudar en la recepción la sincronización. Las entradas a los distorsionadores son los canales lógicos activos de la Capa 2, cuando son seleccionados por el modo de servicio. Las salidas de los distorsionadores son las

tramas de transferencia de los bits distorsionados para cada uno de los canales lógicos activos.

**Codificación de Canal:** El proceso de codificación de canal se caracteriza por dos operaciones principales: el retardo de tiempo y la codificación convolucional. Dependiendo del modo de servicio, los canales lógicos P1 y S1 se puede dividir en dos canales y se retrasan al ingresar en el proceso de codificación de canal. El retardo proporciona diversidad en el tiempo a los canales lógicos afectados.

**Entrelazado:** El proceso de entrelazado es aplicado a los canales lógicos de los subsistemas de transmisión RF. El proceso de entrelazado proporciona simultáneamente diversidad de tiempo y de frecuencia. El retardo proporciona diversidad de tiempo a los canales lógicos que intervienen. Si se aplica, el valor de retardo por diversidad es un valor fijo, a continuación se describe los dos tipos de entrelazado.

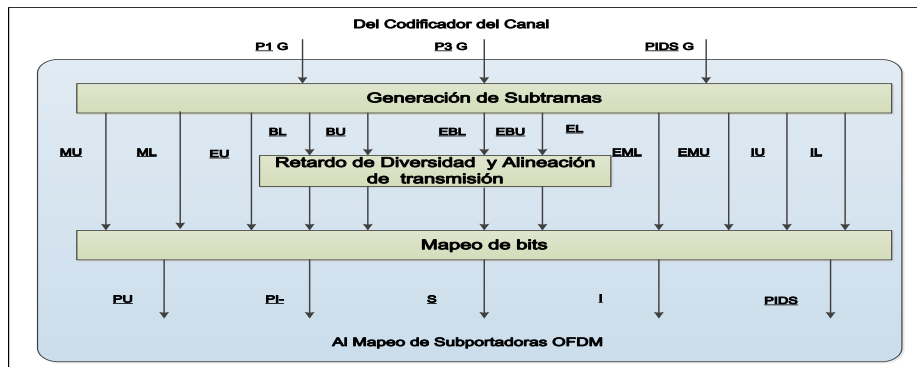
✚ **Entrelazado Temporal:** Los sistemas de corrección de errores (FEC) funcionan bien si los errores están distribuidos de manera aleatoria. La corrección es difícil cuando el intervalo en que se producen los errores es de larga duración y afecta a casi toda la trama de información. La solución es el entrelazado en el tiempo de los datos en la transmisión y su reordenación en la recepción.



*Figura 20. Ejemplo de entrelazado. [12]*

En la figura 20, se ilustra un ejemplo de entrelazado temporal de datos en transmisión y su posterior reordenación en el receptor. Los bits erróneos una vez efectuado el desentrelazado de la trama se distribuyen a lo largo de la misma, por lo que es fácil su corrección debido a que en el reordenamiento el número de bits erróneos es pequeña comparado al número de bits buenos. El proceso de entrelazado se compone de cuatro operaciones principales: la generación de subtramas, diversidad de retardo, transmisión de alineación de tiempo y mapeo de bits. Estas operaciones se aplican a los canales lógicos P1, P3 y PIDS a partir de la generación de una subtrama.

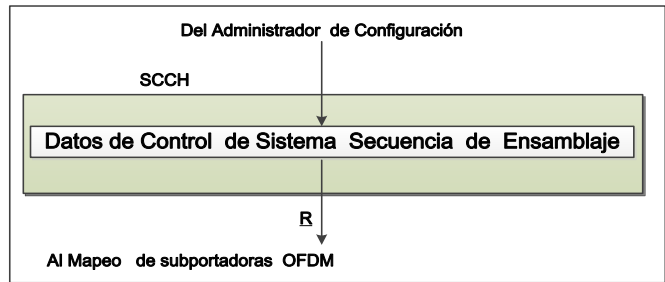
En la figura 21, se observa los elementos que componen el bloque del entrelazado. La generación de una subtramas crea nuevos canales lógicos en los que se ha redistribuido la información entrante. Algunas subtramas pasan a través de los buffers de retardo, creando rutas con retardos de diversidad, lo que se traduce en flujos principales y flujos de respaldo. El mapeo de bits de la salida del entrelazado asignada a los bits codificados tiene una única posición en la salida del entrelazado.



*Figura 21. Diagrama de bloques conceptual del entrelazado*

### **e.1.3.1.3. Sistema de control de procesos**

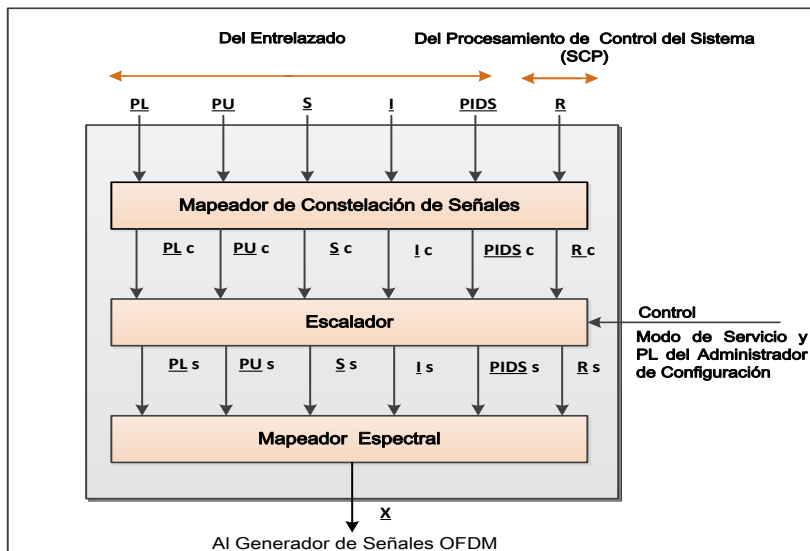
El sistema de control de procesos recibe el sistema de control de datos desde el administrador de configuración a través del SCCH. Estos datos se combinan con la sincronización, la paridad y los bits reservados en la capa 1 para crear un sistema de control de secuencias de datos. Las secuencias resultantes son destinadas a las subportadoras de referencia localizadas a ambos lados de la portadora analógica principal. La figura 22, representa el sistema de control de procesos.



**Figura 22.** Diagrama Conceptual del Sistema de Control de Procesos

#### e.1.3.1.4. Mapeo de Subportadora y Modulación

El mapeo de la Subportadora OFDM asigna particiones de entrelazado a particiones de frecuencia. Para cada matriz de entrelazado activo, el mapeo de subportadora OFDM asigna una fila de bits de cada entrelazado a la respectiva frecuencia de portadora y el valor de constelación en el vector de salida complejo  $\underline{X}$ . Adicionalmente, la secuencia de bits del sistema de control de datos de una fila de  $\underline{R}$  son mapeados en posiciones de subportadoras de referencia activas en  $\underline{X}$ . El modo de servicio determina cual matriz de entrelazado y que elementos de  $\underline{R}$  son activos, en la figura 23 se observa el diagrama de bloques conceptual del mapeo de las subportadoras OFDM, donde se visualiza las entradas, las salidas y los componentes funcionales del mapeo de las subportadoras OFDM.



**Figura 23.** Diagrama de bloques conceptual del Mapeo de las Subportadoras OFDM

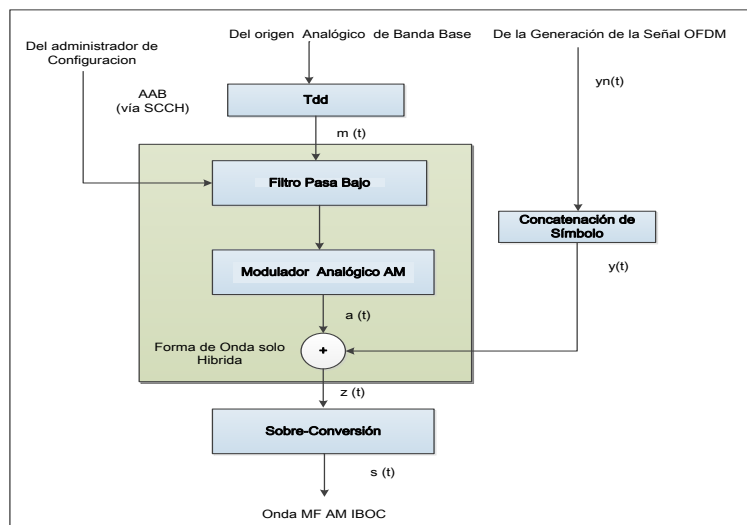
Las entradas del mapeo de las subportadoras OFDM para cada símbolo son una fila de bits de cada una de las matrices activas del entrelazado y una fila de bits de  $\underline{R}$ , la matriz



de la secuencia del Sistema de Datos de Control. La salida de la subportadora OFDM del mapeo para cada símbolo OFDM es un vector complejo  $\underline{X}$  de 163 bits de longitud para AM y 1093 bits de longitud para FM. Las matrices de entrelazado que transportan el audio y los datos de usuario ( $\underline{PU}$ ,  $\underline{PL}$ ,  $\underline{S}$ ,  $\underline{T}$ ,  $\underline{PIDS}$ ) son mapeadas para escalarlas en una constelación de puntos por desplazamiento de fase en cuadratura (QPSK), 16-QAM, o 64-QAM y en portadoras específicas. La matriz  $\underline{R}$  es mapeada a una constelación de puntos BPSK. De todo este proceso resulta un vector  $\underline{X}$ , de fasores que son salidas del generador de señal OFDM.

### e.1.3.1.5. Transmisión

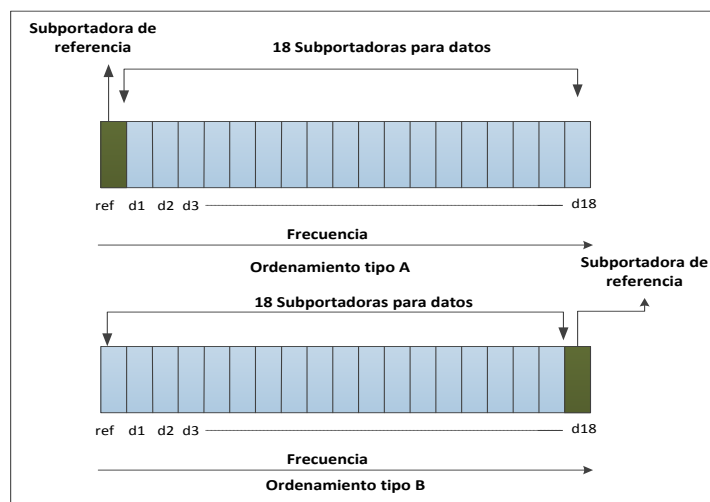
La generación de señales OFDM, de símbolos OFDM en el dominio de la frecuencia desde el mapeo de subportadoras OFDM y salida de pulsos en el dominio del tiempo representando la parte digital de la señal AM en IBOC requieren de receptores complejos. La entrada del generador de señales OFDM para el  $n$ -ésimo símbolo es un vector complejo  $\underline{X}_n$  de longitud  $L$ , representado por una constelación de valores para cada subportadora OFDM. Los símbolos  $y_n(t)$  están concatenados para configurar una forma de onda continua en el dominio del tiempo. Esta forma de onda OFDM es combinada, con la forma de onda modulada en amplitud  $a_n(t)$  en el modo híbrido, para crear  $z_n(t)$ . Esta forma de onda es convertida para crear la forma de onda completa de IBOC RF para la transmisión. El espectro de la forma de onda es entonces mapeada y particionada en frecuencias a través del conjunto de subportadoras OFDM.



**Figura 24.** Diagrama de bloques del subsistema de transmisión banda AM.

Las subportadoras OFDM son ordenadas y ensambladas en particiones de frecuencia, cada partición de frecuencia está constituida por 18 subportadoras para datos y una subportadora de referencia, una de tipo A y otra de tipo B.

En la figura 25, se ilustra la partición de las subportadoras según los dos tipos de organización. Las portadoras están espaciadas 363,373 Hz, en la partición de frecuencia la subportadoras de datos (d1 a d18) va estar contenida de carga útil de los datos o audio codificado de la capa 2, y las subportadoras de referencia va estar la información del sistema de control de la capa 1.



*Figura 25. Ordenamiento de Subportadoras OFDM*

#### **e.1.4. Características Del Codificador De Audio**

El estándar IBOC utiliza un codificador HE-AAC de flujo múltiple, usado para proporcionar tiempos de sintonización menores y una cobertura más robusta. El codificador de flujo múltiple esparce el contenido de audio codificado dentro de flujos de bits diferentes; los bits más importantes son colocados en los flujos básicos para que puedan ser decodificados de manera independiente, mientras que los bits restantes son colocados en un flujo mejorado que, combinado con el flujo básico en el decodificador, produce la salida de audio con una calidad parecida a la obtenida si únicamente se trabajara con un solo flujo de bits codificados. En la tabla 4, ilustra los modos de códec de audio tanto para AM como para FM de acuerdo a la configuración de flujo y velocidades de transferencia de bits.

**Tabla 4. Modos de códec de Audio**

Modo de códec de Audio	Uso	Número de flujos	Tipo de Flujo	Tasa de bits Kbps
<b>0000</b>	FM Híbrido	1	Básico	96
<b>0001</b>	FM Digital Total	2	Básico	48
			Mejorado	48
<b>0010</b>	AM Híbrido	2	Básico	20
			Mejorado	16
	AM digital Total	2	Básico	20
			Mejorado	20
<b>0011</b>	FM Digital Total	2	Básico	24
			Mejorado	72
<b>1010</b>	FM (SPS)	2	Básico	22
			Mejorado	24
<b>1101</b>	FM (SPS)	1	Básico	24

Fuente: NRSC-5C

### **e.1.5. Modos de Funcionamiento**

Los modos de funcionamiento se dividen en tres: en híbrido, híbrido mejorado y totalmente digital en cada banda se especifican los modos empleados.

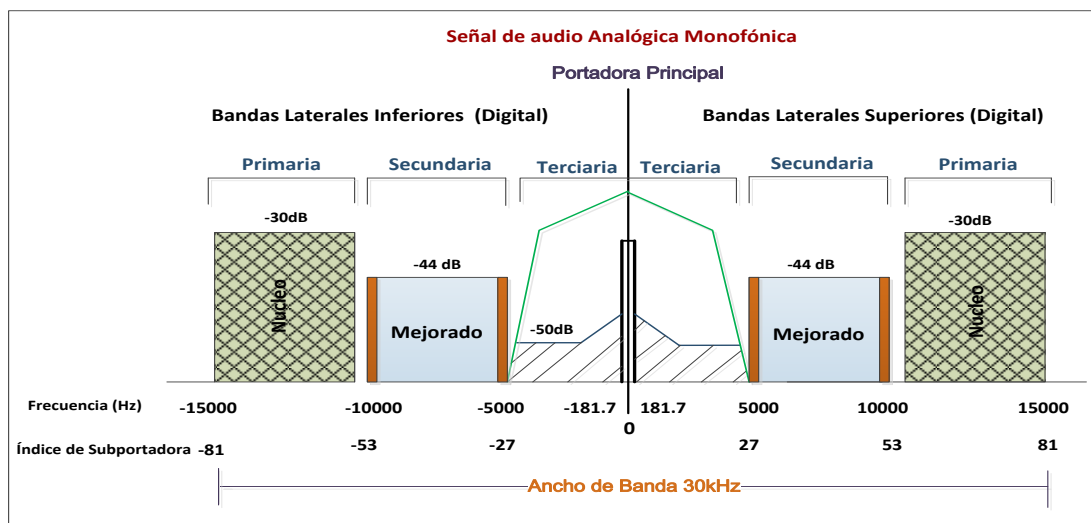
#### **e.1.5.1. Banda AM**

El estándar IBOC AM proporciona dos modos: híbrido y el modo totalmente digital, a continuación detallamos cada uno de ellos.

##### **e.1.5.1.1. Modo híbrido**

En AM el modo de funcionamiento híbrido, la señal digital es transmitida en las bandas laterales superior e inferior, colocadas a los lados y a lado de la portadora que contiene la señal analógica, tal como se observa en la figura 26. La señal digital es reducida en amplitud respecto a la señal analógica. Unos de los beneficios que ofrece el modo híbrido es la recepción de programas tanto por los nuevos receptores digitales como con los receptores convencionales de modulación de amplitud durante el periodo de transición.

La velocidad binaria que permite el códec núcleo es de aproximadamente 20 kbit/s, con el códec mejorado aportamos otros 16 kbit/s. Además el modo híbrido incorpora diversidad en el tiempo entre ambas señales, analógico y digital es decir la señal analógica es retardada respecto a la señal digital con el objeto de que exista sincronización entre ambas señales para la situación en que el receptor conmuta a la recepción analógica cuando se produce un elevado porcentaje de bits erróneos de la señal digital.



*Figura 26. Modo Híbrido en IBOC AM.*

Según lo observado en la figura 26, la información digital está contenida en 162 subportadoras, igualmente espaciadas dentro del ancho de banda del canal: las numeradas como  $-81$  a la  $-1$  se encuentran ubicadas por debajo de la frecuencia central y las numeradas como  $1$  a la  $81$  por encima de la portadora central, las portadoras se encuentran espaciadas aproximadamente en 182Hz. Las subportadoras están agrupadas en 6 conjuntos y cada conjunto ocupa un ancho de banda de 4,3 kHz. Los conjuntos del códec núcleo comprenden 25 subportadoras cada uno, situados aproximadamente entre 10 kHz y 15 kHz a ambos lados de la portadora principal.

Las subportadoras que se encuentren ubicadas entre 15 y 10kHz son moduladas utilizando esquemas 64 QAM, las subportadoras situadas entre 5 y 10 kHz son moduladas utilizando esquemas 16 QAM y las subportadoras situadas entre 0 y 5 kHz son moduladas utilizando esquemas QPSK. El proceso de modulación se realiza en ambos lados de la portadora principal. Para minimizar las interferencias con el canal

analógico y con los canales adyacentes la potencia de las subportadoras se ajusta a los niveles relativos (respecto a la portadora AM) mostrados en la figura 26. Como complemento a las subportadoras descritas anteriormente se añaden otras 6, cuya función y esquema de modulación es:

- **Dos subportadoras** espaciadas 182 Hz alrededor de la portadora principal, transmite los datos del estado y control. El esquema de modulación utilizado es QPSK y su potencia se sitúa a 26 dB con respecto a la portadora principal.
- **Cuatro subportadoras** (IDS) situadas aproximadamente a 5 kHz y 10 kHz a ambos lados de la portadora principal y se utilizan para la transmisión de datos a baja velocidad. El esquema de modulación es 16 QAM y su potencia se sitúa a 43 dB por debajo de la portadora principal. Las portadoras 54 a 56 y – 54 a – 56 no se transmiten para evitar interferencias con canales adyacentes. [12, pág. 32]

#### **e.1.5.1.2. Modo Totalmente Digital**

En el modo totalmente digital todo el ancho de banda asignado a la estación se utiliza para la transmisión de las señales digitales por lo que aporta capacidades mejoradas de funcionamiento, este sistema transmite exclusivamente las señales digitales. La principal diferencia entre ambos sistemas es que en el sistema totalmente digital se ha suprimido la señal analógica, se han desplazado en frecuencia las señales digitales y se aumenta su potencia, según se muestra en la figura 27. El sistema totalmente digital utiliza el mismo sistema de códec y los métodos de FEC que el sistema híbrido con idénticas velocidades binarias 20 kbit/s para el audio del núcleo y 16 kbit/s para el audio mejorado. Esto simplifica el diseño del receptor que tiene que admitir ambos modos de funcionamiento.

Las subportadoras están agrupadas en 4 conjuntos, cada conjunto ocupa un ancho de banda de 4,3 kHz al igual que en modo híbrido. Los conjuntos de núcleo comprenden 25 subportadoras cada uno, situados aproximadamente entre 0 kHz y 5 kHz a ambos lados de la portadora principal, las subportadoras son moduladas utilizando esquemas 64 QAM.

Los conjuntos de mejorado comprenden 25 subportadoras cada uno, situados aproximadamente entre 5 kHz y 10 kHz a ambos lados de la portadora principal. Como

complemento a las subportadoras descritas anteriormente se añaden otras 6 cuya función y esquema de modulación es:

- **Dos subportadoras** espaciadas 182 Hz alrededor de la portadora principal transmiten los datos del estado y control. El esquema de modulación utilizado es QPSK y su potencia se sitúa a 15 dB con respecto a la portadora principal.
- **Cuatro subportadoras** (IDS) situadas aproximadamente a 5 kHz y 10 kHz a ambos lados de la portadora principal y se utilizan para la transmisión de datos a baja velocidad. El esquema de modulación es 16 QAM y su potencia se sitúa a 30 dB por debajo de la portadora principal. [12, pág. 33]

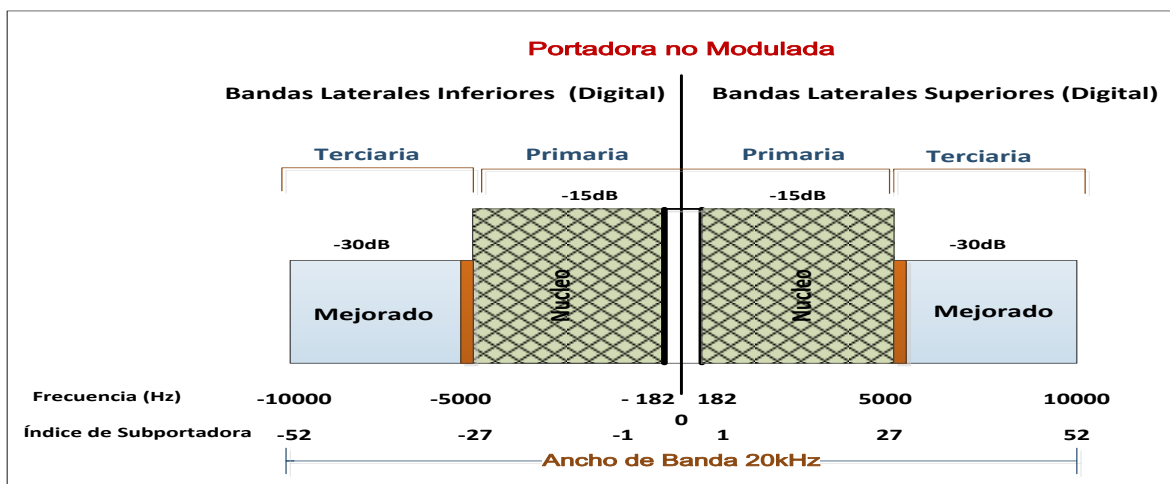


Figura 27. Modo Totalmente Digital en IBOC AM

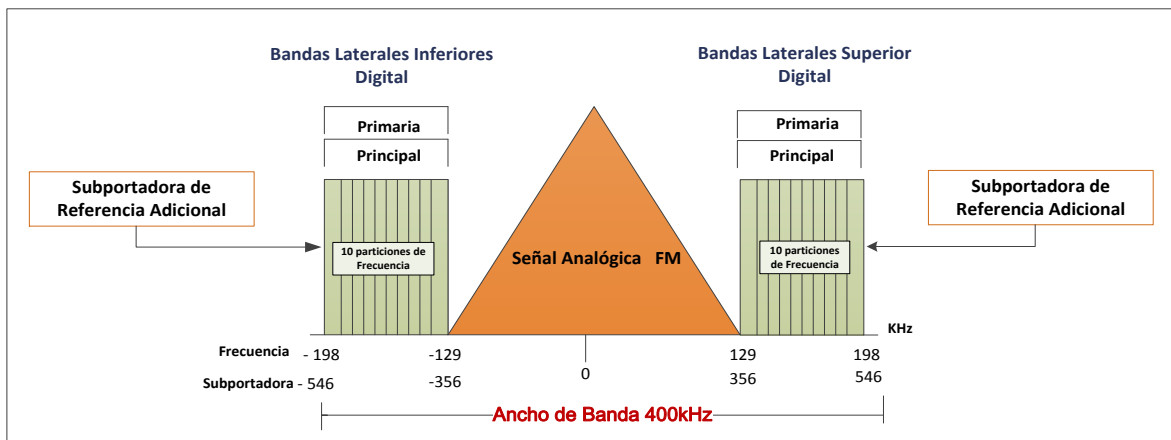
### e.1.5.2. Banda FM

El sistema IBOC FM puede funcionar en tres modos de funcionamiento: híbrido, híbrido ampliado y totalmente digital.

#### e.1.5.2.1. Modo Híbrido

Para el sistema IBOC FM en el modo de funcionamiento híbrido, la señal digital es transmitida en las bandas primarias lateral superior e inferior que se encuentran colocadas en ambos lados de la portadora con modulación análoga, ampliando el ancho de banda utilizado por la señal digital a costa de la señal análoga. El total del ancho de banda en la opción híbrida de FM es de  $\pm 198$  kHz. Cada banda lateral principal

primaria comprende diez divisiones de frecuencia asignadas entre las subportadoras tal como se muestra en la figura 28.



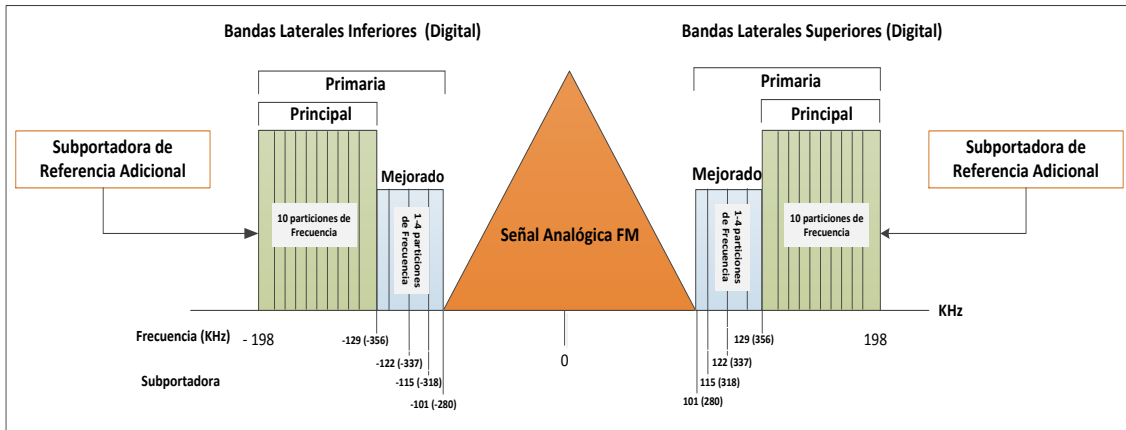
**Figura 28.** Modo híbrido en IBOC FM. [28]

De acuerdo a la figura 28, se observa el ancho de banda total de 400kHz de la cual la señal analógica ocupa un ancho de banda de 260kHz. Existen 380 portadoras OFDM de las cuales corresponden 190 portadoras OFDM en la banda lateral inferior y las mismas en la banda lateral superior. Las portadoras digitales ocupan  $\pm 129,361\text{Hz}$  a  $\pm 198,402\text{Hz}$ , y el rango de las subportadoras está comprendido desde 356 a 546.

#### **e.1.5.2.2. Modo híbrido ampliado**

Para la tecnología en FM, en el modo de funcionamiento híbrido ampliado la señal es transmitida en las bandas primarias lateral superior e inferior, colocadas a los lados de la portadora con modulación análoga, ampliando el ancho de banda utilizado por la señal digital, a costa de la señal análoga. La figura 29, ilustra el modo híbrido ampliado en el cual la señal digital es reducida en amplitud respecto a la señal analógica, las bandas laterales digitales son ampliadas hacia la señal analógica para aumentar la capacidad digital. El modo híbrido ampliado también permite que durante el periodo de introducción del sistema, sea posible la recepción del programa tanto por los nuevos receptores digitales como con los receptores convencionales de modulación de frecuencia. Al igual que el sistema híbrido también incorpora diversidad en el tiempo entre ambas señales, analógico y digital.

En la figura 29, se introduce el modo de funcionamiento híbrido mejorado para el sistema IBOC FM, en él se aprecia un ancho de banda total de 3.96804 Hz (400kHz) de la cual la señal analógica ocupa un Ancho de banda de 204kHz. Las portadoras digitales se dividen en cuatro particiones en rangos diferentes desde  $\pm 101,744\text{Hz}$  hasta  $\pm 198,402\text{Hz}$ .



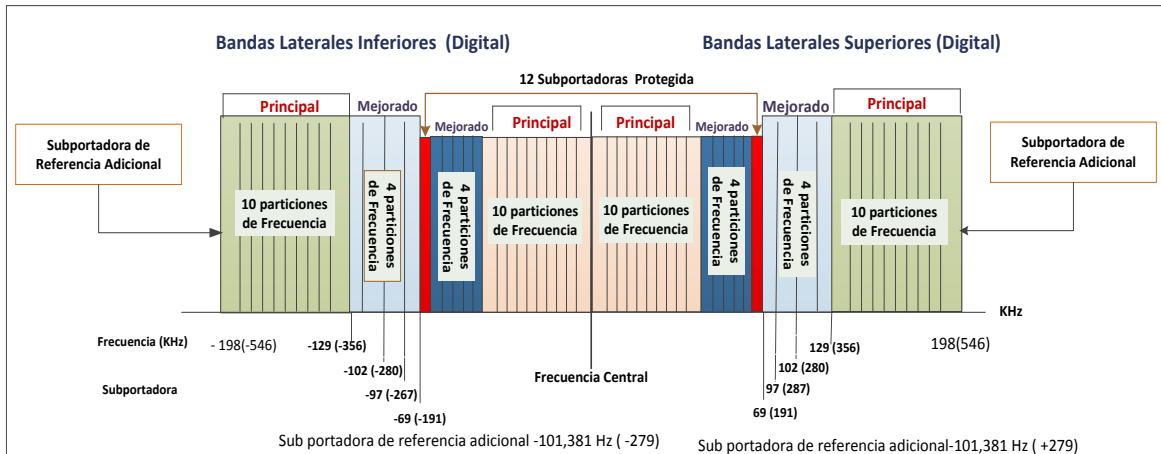
**Figura 29.** Modo híbrido Mejorado en IBOC FM. [28]

### e.1.5.2.3. Modo Totalmente Digital

En el modo totalmente digital el ancho de banda del canal de radiodifusión sonora en toda su capacidad es utilizada para la transmisión exclusiva de señales digitales, dando opción de mejorar la señal en sí misma y los servicios adicionales. La principal diferencia entre ambos sistemas es que en el sistema totalmente digital se ha suprimido la señal analógica, se han desplazado en frecuencia las señales digitales y se aumenta su potencia, según se muestra en la figura 30, se transmiten en las bandas laterales secundarias en el espectro de frecuencias que ocupaba la señal analógica.

Como en el anterior modo híbrido extendido se logra un ancho de banda total del espectro totalmente digital de 400KHz. Como se observa en la figura 30, además de las 10 particiones de frecuencia principales, en cada banda lateral primaria de la forma de onda están presentes las cuatro particiones de frecuencia extendidas





**Figura 30.** Estándar IBOC FM, totalmente digital. [28]

Por otro lado, cada banda lateral secundaria también tiene 10 particiones de frecuencia secundarias principales y cuatro secundarias extendidas. Sin embargo, a diferencia de las bandas laterales primarias, las particiones de frecuencias Secundarias principales están mapeadas más cerca del centro del canal mientras que las particiones de frecuencia extendidas están más alejadas del centro. Además, cada banda lateral secundaria cuenta con una pequeña región secundaria protegida formada por 12 subportadoras OFDM y las sub portadoras de referencia +279 y -279. Estas bandas laterales son llamadas “protegidas” porque están localizadas en el área del espectro menos afectada por interferencias analógicas o digitales.

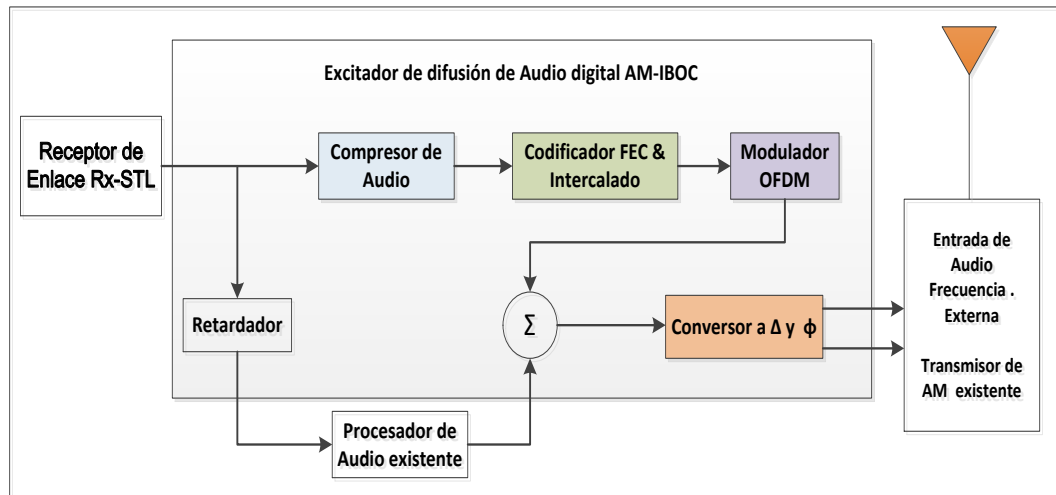
### e.1.6. Diagrama de Bloques de Transmisión y Recepción IBOC

#### e.1.6.1. Transmisor AM

En la figura 31, se observa un diagrama de bloques funcionales del transmisor híbrido IBOC. La entrada con la fuente de audio proveniente del enlace estudio-transmisor, llevan las señales monofónicas hacia la ruta analógica y la señal estéreo a la etapa digital. La ruta digital comprime la señal de audio en el codificador entregando la trama de bits resultante al codificador FEC y al entrelazador de bits. Esta trama de bits es combinada en un modulador de trama y modulador OFDM para producir la señal en banda base. Un retardo es introducido a la señal en la ruta analógica para que, a continuación, se haga pasar a la señal por un procesador de audio analógico existente en la estación y retornado al excitador donde será sumada con las portadoras digitales.

Esta señal en banda base es convertida en magnitud  $\Delta$  y fase  $\phi$  para ser amplificada en el transmisor existente en la estación.

La totalidad de transmisores han sido diseñados para tener una respuesta en frecuencia, distorsión y parámetros de ruido. Un diagrama parecido es utilizado para el modo completamente digital, la diferencia es que la ruta de la señal analógica no existe.



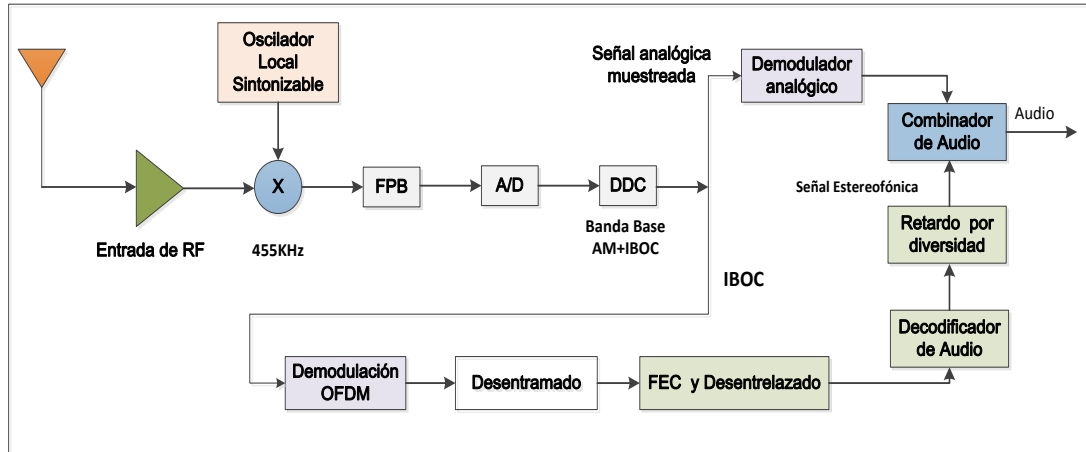
*Figura 31. Diagrama de Bloques de un transmisor AM IBOC. [28]*

### e.1.6.2. Receptor AM

En la figura 32, se muestra un diagrama de bloques funcionales de un receptor IBOC que funciona en ondas hectométricas. El receptor puede adoptar dos formas muy concretas: una para dar servicio a la recepción de señales sólo de portadoras digitales y otra de funcionamiento híbrido, para permitir la sintonía y demodulación de las emisiones analógicas convencionales y las nuevas digitales. La señal IBOC en el modo híbrido es enviada sobre frecuencias de la señal de portadora RF al igual que en la radiodifusión analógica, la señal RF es recibida y se convierte en frecuencia intermedia como en los receptores analógicos, la diferencia está en que la señal es filtrada y luego convertida de analógica a digital en frecuencia intermedia y convertida digitalmente en componentes de señal en fase y en cuadratura en banda base.

Para el caso de las señal en modo híbrido, es dividida en analógica y componentes digitales. Así, la señal digital es sincronizada y demodulada a símbolos, los mismos que son desestructurados para la siguiente fase de desentrelazado y decodificación FEC.

La trama de bits resultante será procesada por el decodificador de audio para producir la salida de audio digital estéreo. De la misma manera, esta señal de audio es retrasada de la misma manera que fue retrasada en el transmisor para permitir la combinación de señales.



*Figura 32. Diagrama de Bloque de un receptor AM IBOC Híbrido*

### e.1.6.3. Transmisor FM

En la figura 33, se observa el diagrama de bloques funcional del transmisor FM IBOC. La fuente de audio estéreo muestreada se enruta a los trayectos de generación de señal analógica y digital. Así mismo, un retardo es introducido en el trayecto analógico para el proceso de combinación de señales. Así, el audio analógico es procesado en el excitador analógico. Finalmente, esta señal se inyecta al amplificador de alto poder (HPA). En el trayecto digital se codifica la señal de audio para eliminar la información redundante que permita reducir la tasa de bits al ancho de banda disponible para la transmisión. Para asegurar robustez en la comunicación en presencia de desvanecimiento, la trama de bits comprimida es introducida a codificador FEC y un entrelazador de bits.

La trama de bits resultante es modulada en QPSK y OFDM para producir la señal en banda base, la misma que es trasladada a la frecuencia de transmisión y amplificada para luego ser combinada con la señal analógica. [8, pág. 72]

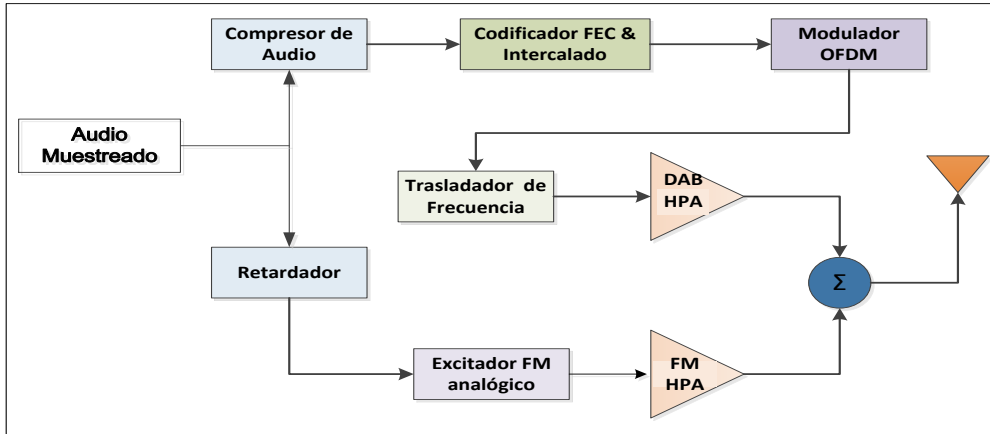


Figura 33. Diagrama de bloques de un transmisor FM IBOC.

#### e.1.6.4. Receptor FM

En la figura 34, se observa el diagrama de bloques funcional del receptor FM IBOC. Las señales que es recibida por la antena, pasa por un terminal de radiofrecuencia y es trasladada a la frecuencia intermedia, como en los receptores analógicos existentes. La señal es convertida en sus componentes de fase y cuadratura en banda base, y luego separar sus componentes digital y analógico. Seguidamente, la señal es demodulada y demultiplexada para obtener audio estéreo. La señal digital es primeramente procesada por FAC, que es el encargado de suprimir las interferencias del primer canal adyacente analógico, luego es introducida en el demodulador OFDM, entramada, decodificada y limpiada de los bits de entrelazado en el decodificador FEC. La trama de bits resultante es procesada por el decodificador de audio para descomprimir la señal de audio digital. Luego esta señal de audio estéreo es ingresada para la función de combinación con la señal analógica. [8, pág. 73]

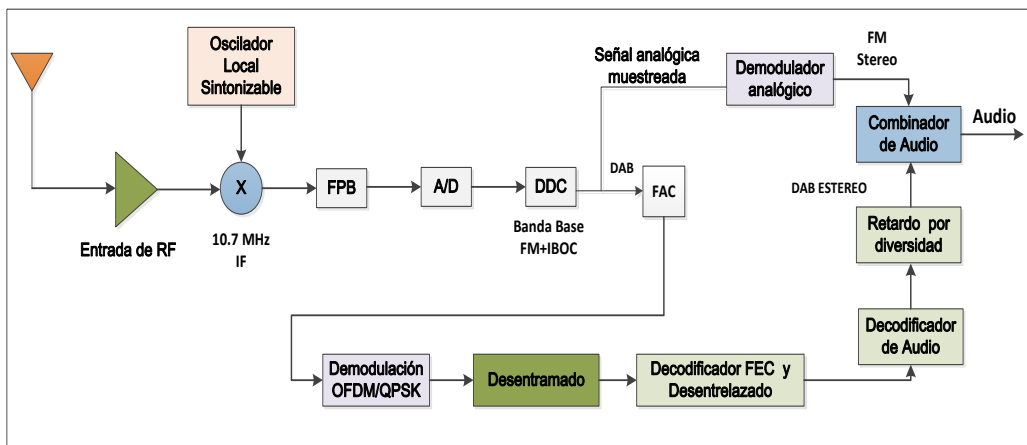


Figura 34. Diagrama de bloques de un receptor FM IBOC.

## e.2. ESTÁNDAR DE RADIODIFUSIÓN DIGITAL DRM



*Figura 35. Logotipo del estándar de Radiodifusión DRM*

El sistema de radiodifusión Digital DRM se constituyó el 5 de marzo de 1998 en Guangzhou (China) por la empresa del mismo nombre, cuya misión fue establecer un sistema digital para las bandas de radiodifusión con modulación amplitud, onda larga, onda media y onda corta, por debajo de los 30MHz. En el año 2004, aproximadamente 80 radiodifusores pasaron a formar parte del consorcio DRM en la cual 50 de ellos activos y cooperantes, fabricantes de equipos, organismos reguladores y operadores de red, con la finalidad de conseguir un sistema no propietario, recomendado por la ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones). DRM tiene una gama muy variada de miembros de 29 países tan diversos como Ecuador, Túnez, Alemania, China, Los Estados Unidos de América, Nigeria, Finlandia, India, el Reino Unido, Japón, España y Australia.

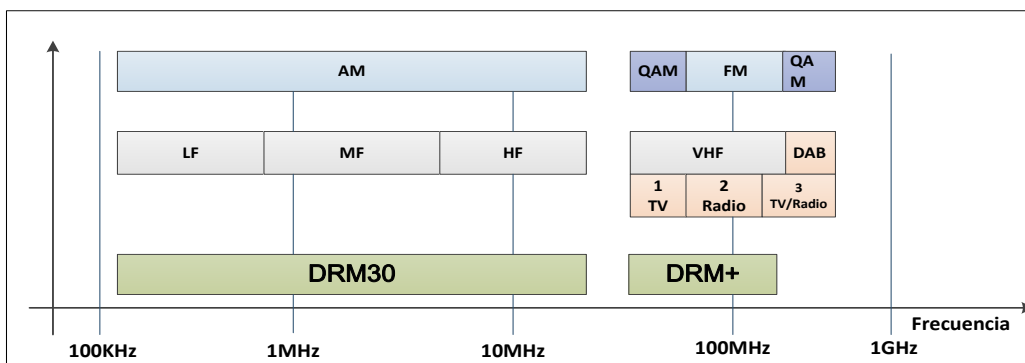
En el 2002 la ITU aprueba el sistema DRM para Onda Media y Onda Larga en regiones 1 y 3, el 16 de junio de 2003 se iniciaron las primeras emisiones regulares con 65 radiodifusoras de Onda larga y Onda corta. El sistema ha sido aprobado en el año 2003 por la UIT (recomendación ITU-R BS 1514) y recomendado por ese organismo como único estándar mundial en las bandas entre 3 y 30 MHz. También ha sido estandarizado por la norma IEC-62272-1 y por la ETSI ES- 201980, las bandas de frecuencias utilizadas para la radiodifusión por debajo de 30MHz son las siguientes:

*Tabla 5. Banda de frecuencias donde operan las regiones ITU*

Banda de Frecuencia	Frecuencia (KHz)	Región Asignada ITU
<b>Baja Frecuencia (LF)</b>	148,5 a 283,5	Región 1
<b>Media Frecuencia (MF)</b>	526,5 a 606	Región 1 y 3
	525 a 1705	Región 2
<b>Alta Frecuencia ( HF)</b>	2,3KHz a 27KHz	Todo el Mundo

Fuente: Original

El sistema digital DRM (Radio Digital Mundial) inicialmente operaba a frecuencias por debajo de 30 MHz, actualmente se ha ampliado hasta los 120 MHz. En marzo de 2005, el Consorcio DRM votó en su asamblea general para trabajar en la ampliación de la capacidad de los sistemas DRM con el fin de proporcionar servicios de radio digital en las frecuencias de transmisión más altas (Bandas de VHF), conocido como DRM+, donde el 31 de agosto fue aprobado por la ETSI. En la figura 36, se observa las bandas de frecuencia en las que opera el sistema de radiodifusión digital DRM.



*Figura 36. Bandas de frecuencia en la que opera el estándar DRM*

### **e.2.1. Características generales del sistema de Radiodifusión DRM**

El estándar DRM está destinado a la utilización de la banda por debajo de los 30 MHz y se proyecta una calidad equivalente a FM con menor ruido, sin interferencia y sin que la señal se corte constantemente; al igual que en el estándar IBOC el sistema DRM mantendrá las frecuencias actuales tanto en FM como en AM. El sistema DRM ha sido diseñado para la transmisión de programas en canales de 9KHz en onda media y onda larga o 10 kHz en onda corta. También dispone de modalidades de un ancho de banda de 4.5 KHz o 5 KHz, y de mayores anchos de banda de 18 KHz o 20 KHz para que el sistema digital DRM pueda funcionar junto a las emisiones AM en cualquier mercado.

#### **e.2.1.1. Codificaciones de Audio**

El sistema DRM emplea tres códec de audio MPEG que ofrece una codificación de audio avanzada AAC (Codificación de audio avanzado), codificación de voz (CELP y HVXC), los mismos permiten cubrir voz y música así como también un rango muy grande de velocidades de transmisión de bits. El códec ACC esta complementada con

la replicación de banda espectral (SBR, Replicación de banda Espectral) como su codificación digital principal. La SBR mejora la calidad de audio percibida mediante una técnica de frecuencia de banda de base más alta que utiliza información de las frecuencias más bajas como señales de aviso.

Para la codificación y modulación de canal se utiliza multiplexión por división ortogonal de frecuencia (OFDM) modulación de amplitud en cuadratura (QAM), junto con entrelazado temporal y corrección de errores sin canal de retorno (FEC). La combinación de estas técnicas da como resultado un sonido de más alta calidad con recepción más robusta dentro de la zona de cobertura prevista, en comparación con la calidad de la AM y FM utilizada actualmente.

#### **e.2.1.2. Redes de Frecuencia Múltiple MFN**

Las redes de frecuencia múltiple MFN son cuando se emiten señales idénticas, pero los canales o bloque de frecuencia usada en cada transmisor es diferente. Por ejemplo, cuando se sale de una zona de cobertura y se entra en otra, el receptor debe cambiar a otra frecuencia donde se esté transmitiendo el mismo servicio. Si la calidad de la señal de la frecuencia alternativa es mejor que la de la frecuencia actual, el receptor entonces puede quedarse en esa frecuencia, si no, continúa buscando. Las redes MFN en la actualidad son utilizadas para la transmisión terrestre análoga, para cubrir grandes áreas es necesario un gran número de canales de radiofrecuencia, el número de canales dependerá por una parte de la robustez que tenga el modo de transmisión y por la zona de cobertura.

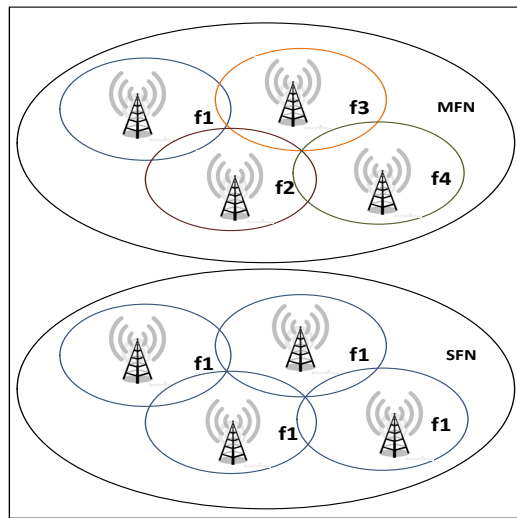
La principal ventaja de este tipo de redes de difusión es que no tienen la necesidad de sincronismos en los transmisores y en la posibilidad de generación centralizada de la señal COFDM, lo que reduciría en costos de implantación en la red.

#### **e.2.1.3. Redes de Frecuencia Única SFN**

El sistema DRM tiene la ventaja de usar redes de frecuencia única, que son redes de radiocomunicaciones constituidas por transmisores que emiten la misma programación

por el mismo bloque de frecuencias o canal radioeléctrico RF, según sea el caso, a una zona geográfica sin que esto provoque interferencias mutuas. Generalmente estos transmisores tienen un área de cobertura de tal manera que, en ciertas zonas, estas se traslapan; en este caso, los receptores recibirán una misma señal proveniente de diferentes transmisores y las señales recibidas por los receptores deben llegar con una diferencia de tiempo menor al intervalo de guarda para lograr una interferencia positiva y que las señales se sumen.

Las redes de frecuencia única son posibles de establecer, gracias a la utilización de la tecnología COFDM, esto también depende de la correcta sincronización de los transmisores de la red, mediante la distribución de una fuente estable de frecuencia y un pulso de referencia para las principales estaciones. La tecnología COFDM proporciona inmunidad frente a ecos y la posibilidad de que éstos contribuyan constructivamente a la señal recibida. El principal motivo por el cual resulta interesante la implementación de redes SFN es una mayor eficiencia en la utilización de recursos radio consiguiendo aprovechar mejor el espectro.



**Figura 37.** Tipos de redes de radiodifusión (a) Red Convencional MFN. (b) Red SFN

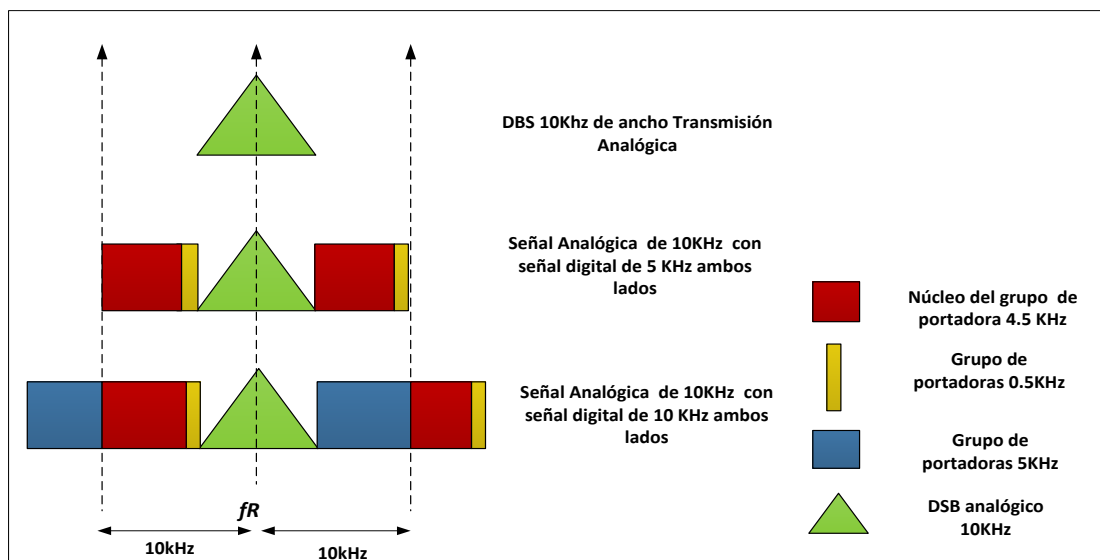
#### **e.2.1.4. Simulcast**

Las señales digitales DRM están diseñadas a convivir con las transmisiones analógicas actuales, esta opción les permite a las radiodifusoras transmitir el servicio analógico existente simultáneamente con un nuevo servicio DRM con el mismo



contenido, usando el transmisor y antena existente. Al realizar el uso de este método los radiodifusores pueden verse limitados al momento de introducir la señal DRM, ya que para poder transmitir esta señal requiere de un canal de frecuencia adyacente al usado por la señal analógica y en muchas zonas es complicado adquirir un nuevo canal.

Para resolver el problema del uso de los canales de frecuencia, el estándar ETSI ES 201 980 detalla dos opciones para el sistema DRM, la primera opción es el simulcast de canal único (SCS) para canales de 9 kHz o 10 kHz, donde la banda lateral superior es reemplazada con una señal DRM de 4.5 kHz o 5 kHz, mientras que la banda lateral inferior es procesada para generar una envolvente compuesta que puede ser demodulada por un receptor convencional de AM.



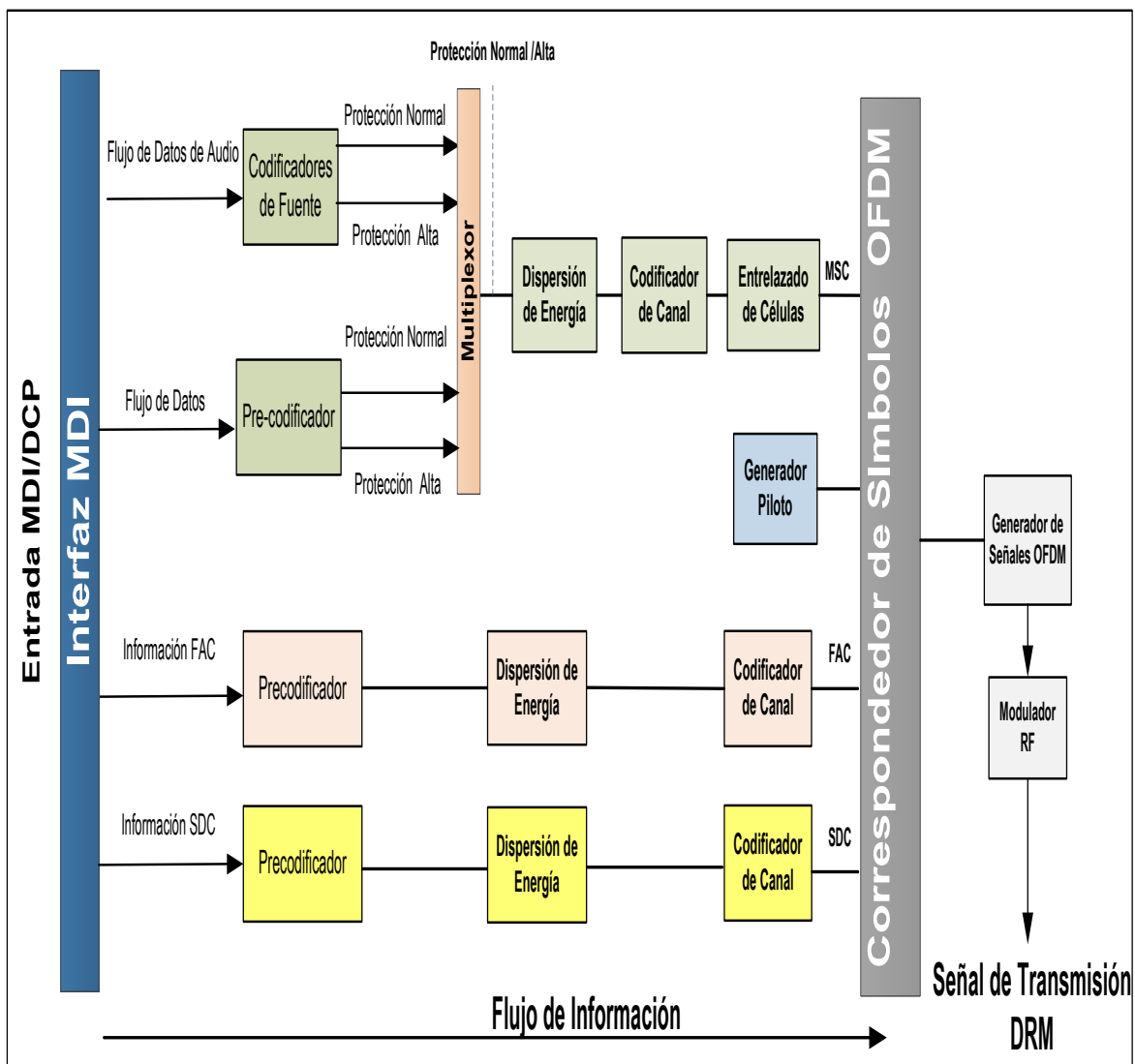
*Figura 38. Opciones Simulcast de 10 kHz*

La segunda opción es Simulcast Multi Canal (MCS), permite a las radiodifusores aprovechar todas las características que ofrece el sistema DRM, este método es para canales de 18 kHz o 20 kHz o espectro adicional al canal de 9 kHz ó 10 kHz asignado; así, la señal DRM puede ser transmitida en el canal superior o inferior adyacente y puede ocupar la mitad o la totalidad de la capacidad del mismo, dependiendo de la opción de ancho de banda seleccionada.

### **e.2.2. Arquitectura del Sistema DRM**

Las señales de audio, datos asociados al servicio y los parámetros asociados a la transmisión generados desde las cabinas de audio pueden ser enviados al sitio de

transmisión sin necesidad de utilizar un gran ancho de banda, debido a que el sistema DRM ha especificado un método eficiente para unir todos estos datos en un solo flujo (multiplex) conocido como Interfaz de Distribución del Multiplex MDI y el Protocolo de Comunicaciones y Distribución DCP. En la figura 39, se muestra un diagrama de bloques simplificado de un modulador DRM o el flujo general de las diferentes clases de información (audio, datos, etc.), que van desde la codificación a la izquierda del gráfico, hasta un transmisor de sistema DRM, a la derecha del mismo, a continuación se detallan cada uno de sus elementos.



**Figura 39.** Diagrama en bloques de entrada al Transmisor DRM o Modulador DRM. [19]

Tal como se observa en la figura 39, en la entrada del diagrama tenemos un flujo de información de audio, control y de datos codificados, provenientes de la interfaz

MDI. Cada stream de audio, contiene audio comprimido y opcionalmente mensajes de texto, así mismo, existen dos canales de información que no se procesan en el multiplexor, el canal de Acceso Rápido (FAC) y el canal de descripción de Servicio (SDC):

- **FAC (Fast Access Channel):** Proporciona información de los servicios en el multiplex MSC, para facilitar al receptor la búsqueda rápida de servicios por el dial de frecuencias y además suministra la información del canal necesario para comenzar decodificar el multiplex.
- **SDC (Service Description Channel):** Proporciona información para decodificar el MSC, los atributos de los servicios y como encontrar fuentes alternativas de los mismos. Su longitud varía dependiendo del ancho de banda ocupado y otros parámetros.

#### e.2.2.1. Codificación De Fuente

Tanto el codificador de fuente de audio y los precodificadores de datos garantizan la adaptación de los flujos de información de entrada a un formato digital apropiado. Su salida requiere dos niveles diferentes de protección dentro del siguiente codificador de canal. Dentro de las limitaciones que presenta la normatividad DRM en los canales de difusión inferiores a 30 MHz la tasa de bits disponible para la codificación de fuente está en el rango de 8 kbps en los canales del medio, 20 kbps en los canales estándar y hasta un máximo de 72 kbps en los canales dobles; para los canales comprendidos entre 30MHz y 174MHz la tasa de bits disponible está comprendida en el rango de 35 kbps hasta 185 kbps. El sistema DRM provee diferentes sistemas de codificación, tal como se muestra en la tabla 6.

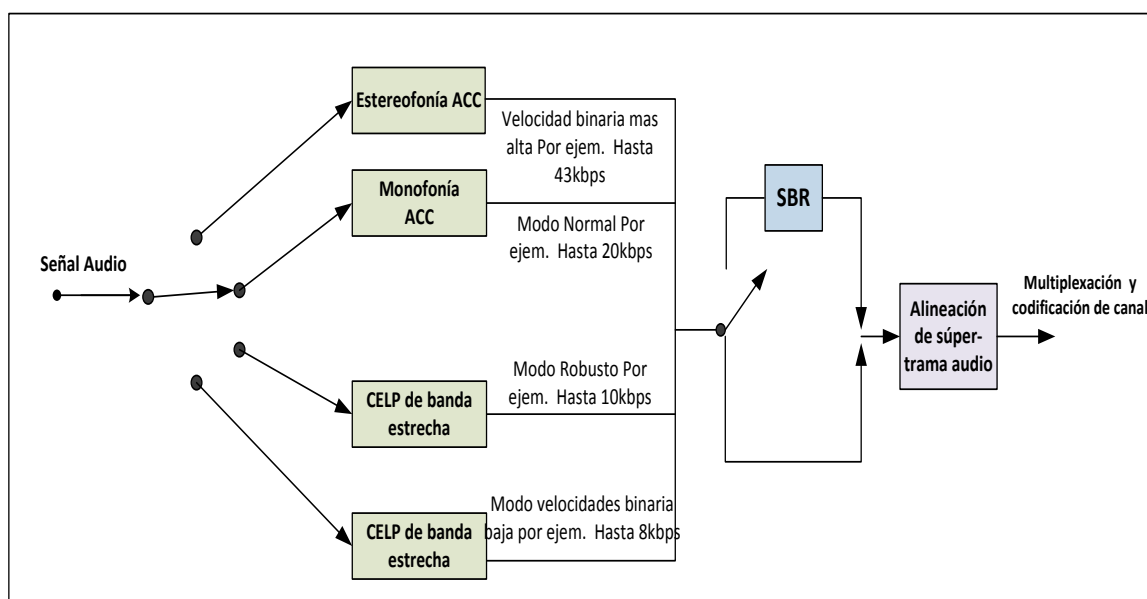
*Tabla 6. Sistemas de Codificación.*

CODEC	Características	Tasa de Bit
<b>MPEG-4 AAC (Codificación de Audio Avanzado)</b>	Codificación de Audio, Mono y estéreo, General	20kbps(mono) ,72 kbps (estéreo), 35-185 kbps
<b>MPEG-4 CELP (Codificación de predicción lineal con excitación por código)</b>	Codificación de Voz, Mono , muy robusto	(4 – 20 )Kbps

<b>MPEG-4 HVXC (Excitación armónica Codificación vectorial)</b>	Codificación de Voz, Mono, Muy Robusto, Bajo bit Rate.	(2- 4) kbps
---	--	-------------

Fuente: Original

Las opciones de codificación de la fuente disponibles para el sistema DRM se presentan en la tabla 6. Todas estas opciones, con excepción de la estereofonía AAC están diseñadas para ser utilizadas dentro de los actuales canales de 9 o 10 kHz para radiodifusión sonora por debajo de 30 MHz. La opción CELP proporciona codificación vocal a velocidad binaria relativamente baja y la opción AAC emplea un subconjunto de MPEG-4 normalizado para velocidades binarias bajas (es decir, hasta 48 kbit/s). Estas opciones pueden ser mejoradas por un instrumento de mejora de anchura de banda, tales como la SBR ilustrada en la figura 40, donde se indican también las velocidades binarias de salida representativas. Todo esto es seleccionable por el radiodifusor.



*Figura 40. Fuente de Audio del sistema digital DRM.*

### e.2.2.2. Multiplexor

La multiplexación es la combinación entre los flujos de información de entrada codificados con los niveles de protección de todos los servicios de datos y audio. El sistema DRM tiene la capacidad de multiplexar hasta cuatro servicios por canal, es decir, una emisora podría emitir sobre el mismo canal un mismo programa en cuatro



canales FAC y SDC se utiliza siempre la EEP, que no es más que el uso de una sola tasa de código para la codificación convolucional; para el canal MSC se utiliza la UEP, que es la asignación de dos tasas de código diferentes para poder enviar ciertos datos (el audio por ejemplo) con un nivel de protección mayor y otros datos no tan importantes (los datos obligatorios) con un nivel de protección menor.

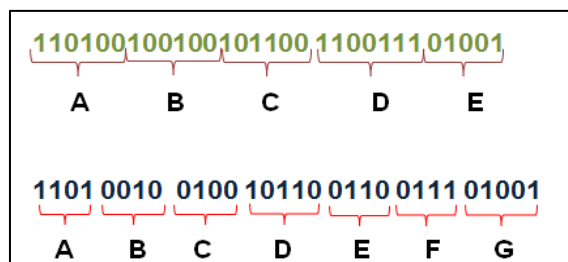
#### 🚦 Entrelazado de bits

COFDM proporciona una excelente transmisión y protección de la señal en canales estrechos (9 kHz o 10 kHz) en las bandas de radiodifusión de LF, MF y HF. Para la modulación de cada una de las sub portadoras OFDM se utiliza una modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM) y dependiendo de la calidad y robustez de la señal que se desee, será la constelación utilizada para modular la información dentro de las sub portadoras.

La modulación QAM puede ser configurada en algunos modos:

- 🚦 **64QAM:** Está compuesta por 64 símbolos diferentes, 6 bits de información por símbolo, es utilizado en el canal MSC y proporciona una gran calidad de audio.
- 🚦 **16QAM:** Está compuesta por 16 símbolos diferentes, 4 bits de información por símbolo, es usado en los canales MSC y SDC. Además proporciona una señal más robusta pero de menor calidad y es útil para el sistema DRM30.
- 🚦 **4 QAM:** Está compuesta por 4 Símbolos diferentes, 2 bits de información por símbolo. es usado en los canales SDC y FAC. y es útil para el sistema DRM+

El flujo de bits se agrupa en bloques de 6 bits (64 QAM), 16 bits (16QAM) o 2 bits (4PSK-QPSK) para formar un símbolo o célula QAM tal como se parecía en la figura 42.



**Figura 42.** Ejemplo de Símbolos (células) QAM

Cada portadora COFDM transporta 1 símbolo QAM (A, B, C, D...) cada símbolo puede contener: 6 bits, 4 bits o 2 bits dependiendo del esquema de codificación elegido en el canal.

#### e.2.2.4.1. Parámetros de Codificación

El estándar DRM permite modificar los parámetros OFDM de la transmisión para optimizar el funcionamiento del mismo dependiendo de la banda de frecuencias en la que se transmite. En la tabla 7, tenemos los cinco modos de operación del sistema DRM, cada uno contempla los escenarios de canal y propagación asociadas a las bandas en las que opera.

**Tabla 7.** Modos de Transmisión DRM

Sistema	Modo	Banda de Operación	Intervalo de guarda (ms)	Separación entre portadoras (Hz)	Ancho de Banda (KHz)	Tipo de Propagación
DRM30	A	LF -MF	2,66	41,6667	4.5,5,9,10,18,20	Onda Terrestre, en este rango de frecuencias es menor el efecto de atenuación y desvanecimiento de la señal.
	B	MF-HF	5,33	46,8823	4.5,5,9,10,18,20	Onda Aérea, con dispersión de retrasos ampliada.
	C	HF	5,33	68,2128	10,2	Onda Aérea, con dispersión de retrasos ampliada; además, con mayor dispersión Doppler.
	D	HF	7,33	107,181	10,2	Onda Aérea. Con características más robustez en comparación con los modos II y III, pero con mayores índices

						de dispersión por retrasos y efecto Doppler.
<b>DRM+</b>	E	VHF	0,25	444,444	96-100	Onda Aérea. Con características más robustez

Fuente: The DRM Digital Broadcasting System Introduction and Implementation Guide (ITU-R Rec. BS.1660 [12])

### e.2.2.5. Entrelazado de Símbolos

El entrelazado de símbolos o células, distribuye los símbolos QAM del MSC en portadoras COFDM no consecutivas en el tiempo y la frecuencia, con el fin de proporcionar una transmisión robusta en los canales de dispersión de tiempo-frecuencia.

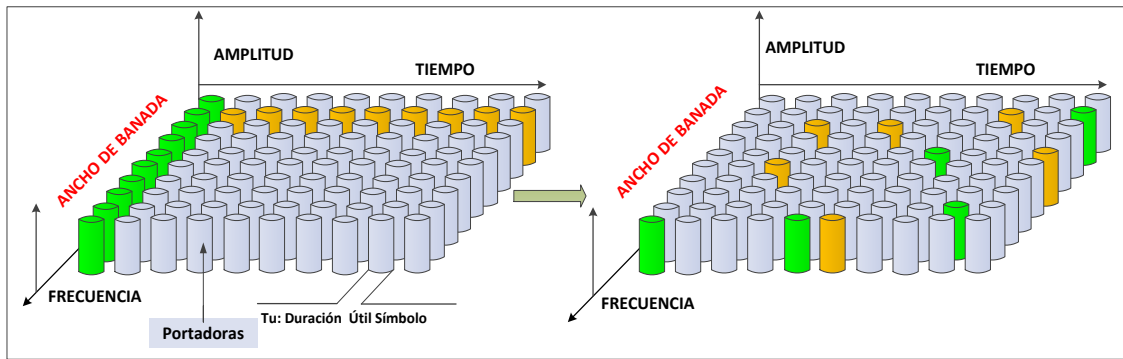


Figura 43. Ejemplo entrelazado de símbolos

El sistema cuenta con dos tipos de entrelazado tal como se aprecia en la figura 44.

- **Entrelazado Corto:** en la misma trama de 400 ms
- **Entrelazado Largo:** distribuido en 3 tramas consecutivas (400ms-800ms-1,2s)

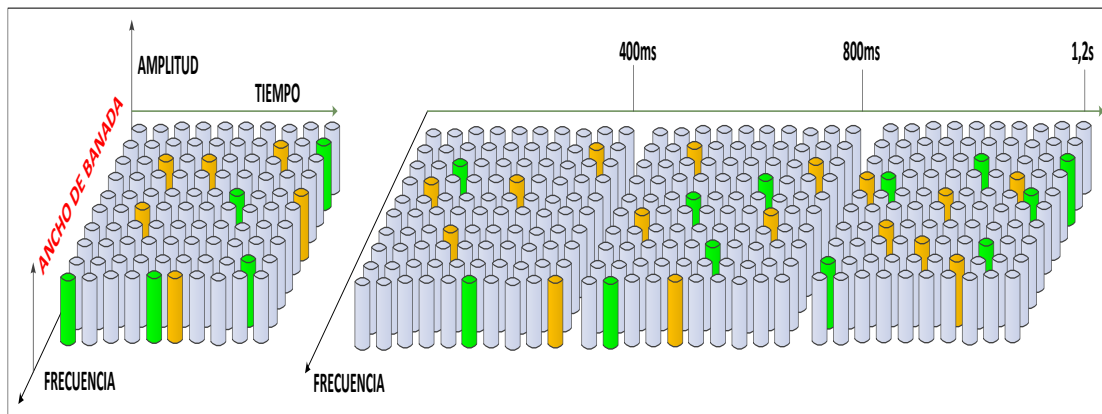


Figura 44. Opciones de Entrelazado



### e.2.2.6. Generador Piloto

El generador piloto inserta portadoras codificadas con símbolos QAM determinadas para facilitar la sincronización y recepción de la señal. Además el generador piloto provee información al receptor acerca del estado de canal, permitiendo que se realice una demodulación coherente de la señal. Existen tres tipos de generador piloto, tales como de referencia de frecuencia, referencia del tiempo y ganancia.

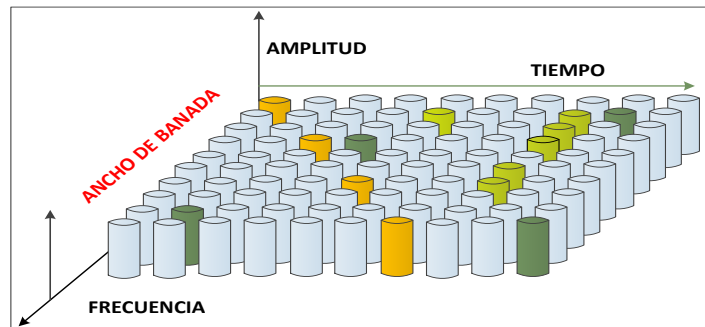


Figura 45. Portadoras Pilotos.

### e.2.2.7. Asignador de Símbolos OFDM

El asignador de símbolos OFDM recopila las diferentes clases de símbolos QAM de los canales (MSC, SDC, FAC) en las portadoras y las coloca en una rejilla de tiempo-frecuencia. La distribución de los símbolos QAM de cada canal entre las portadoras está ordenado en el estándar DRM. Los símbolos se estructuran en tramas de 400 ms (1 Súper trama = 3 tramas). El número de símbolos COFDM por trama de 400 ms y el número de portadoras por símbolos está determinado por el modo de transmisión (A, B, C, D).

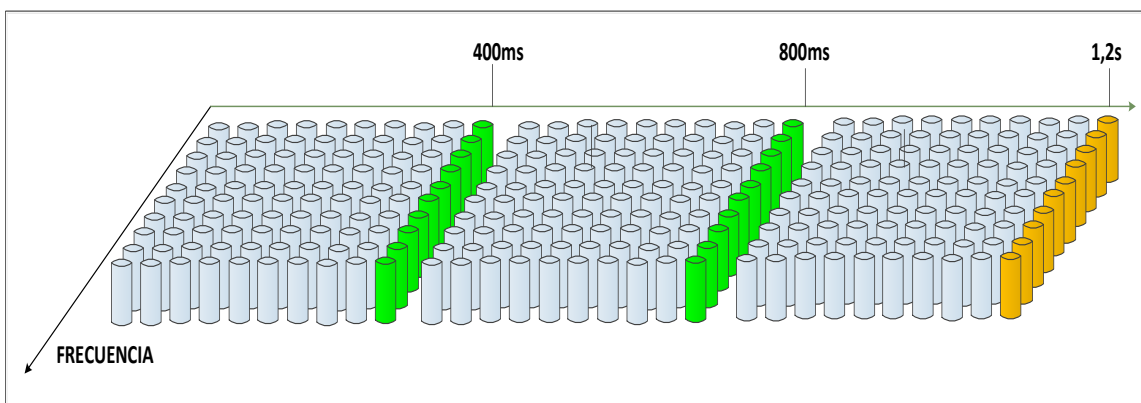


Figura 46. Distribución de Símbolos QAM

### e.2.2.8. Generador OFDM

El generador de señales OFDM convierte un símbolo COFDM en su expresión en el dominio del tiempo mediante la transformada inversa de FOURIER IFFT, e inserta el intervalo de guarda como una repetición cíclica de una parte de la señal.

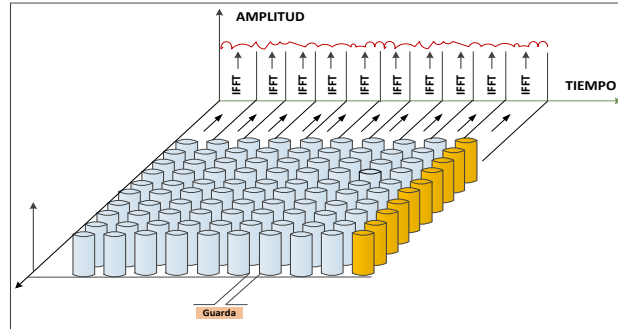


Figura 47. Señal de Salida del Generador OFDM con la IFFT.

### e.2.2.9. Modulador y Transmisor

El modulador convierte la representación digital de la señal OFDM en la señal analógica que será transmitida por un transmisor-antena al aire. Esta operación consiste la conversión digital- analógica y el filtrado, de modo que la señal emitida cumpla los requisitos espectrales del UIT-R. Finalmente en la estructura DRM utiliza un transmisor de alta potencia no lineal (clase C), la señal es separada primero en sus componentes de amplitud y de fase, y después es recombinada por la acción del propio transmisor antes de la emisión final. En la figura 48, se observa en forma resumida el proceso de generación de una señal DRM de audio.

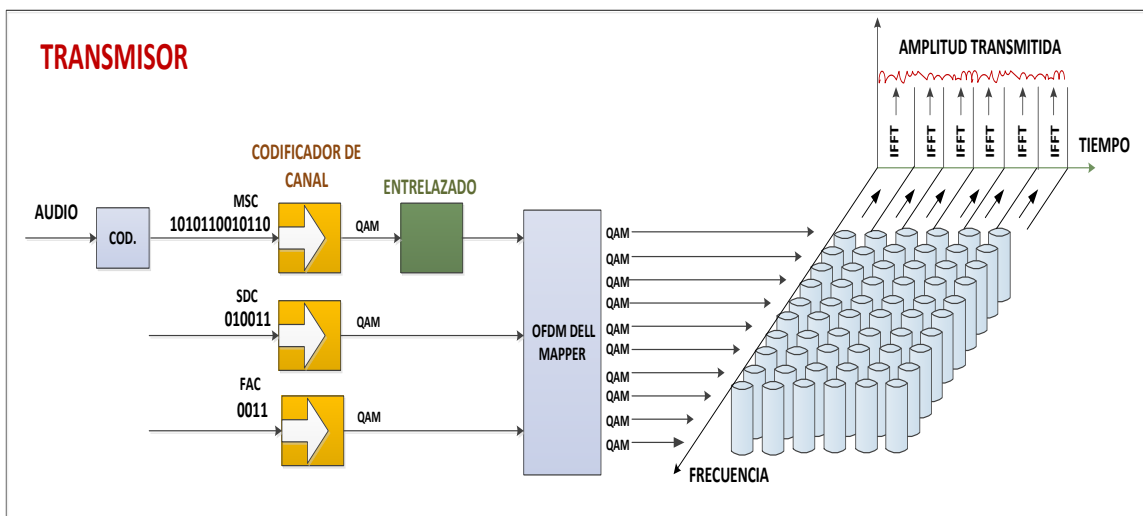


Figura 48. Proceso de generación de la Señal DRM.

### e.2.2.10. Receptor

Finalmente el receptor tiene la capacidad de detectar el modo de sistema DRM que se está transmitiendo, y de extraer la información del canal. Esto se lo realiza utilizando las entradas de campo dentro de los canales FAC y SDC. Una vez identificado el modo apropiado, se realiza el proceso de demodulación tal como se muestra en la figura 49, en el proceso de recepción de una señal DRM.

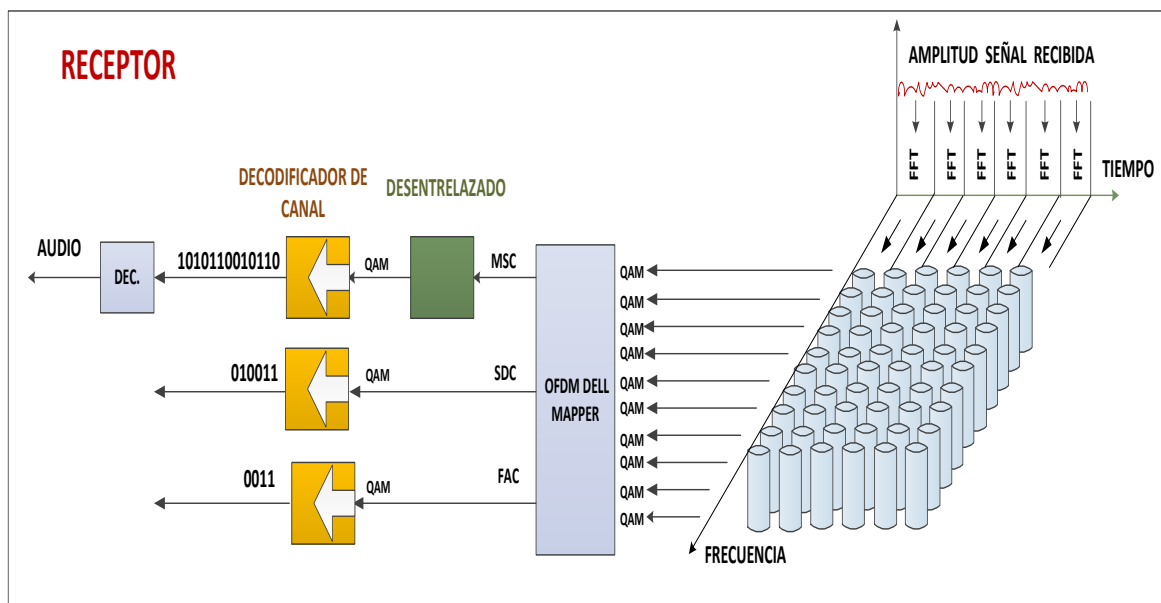


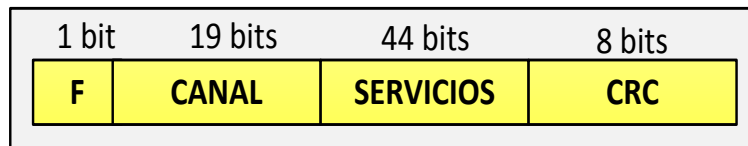
Figura 49. Proceso de Recepción de la señal DRM.

### e.2.3. La Trama

La estructura de la trama del FAC es de 400 ms para DRM30 (por debajo de los 30MHz) o 100 ms (DRM+) dependiendo del modo de robustez. A diferencia del MSC y el SDC, la información transportada por este canal no está entrelazada en tiempo y es mapeada en grupos específicos de sub portadoras OFDM para que el receptor tenga fácil acceso a los parámetros del canal, requeridos por el receptor para la demodulación del multiplex, y a los parámetros del servicio, necesarios para un escaneo y sintonización rápidos.

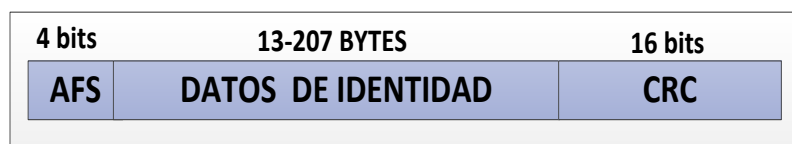
La trama FAC tiene una longitud de 72 bits, 20 bits son para los parámetros de canal, 44 bits son parámetros de servicio y 8 bits restantes para código de redundancia cíclica (CRC). Los parámetros del canal FAC más importantes son:

bandera, identidad, ocupación de espectro, modo de modulación, número de servicios, índice de reconfiguración. Mientras tanto los parámetros de servicio dentro del FAC son: identificador de servicio, identificador abreviado, idioma, bandera de audio-datos.



*Figura 50. Trama de canal de acceso Rápido FAC*

La trama SDC se transmite a lo largo de todas las sub portadoras con una duración de dos símbolos al inicio de cada súper trama; esta información normalmente es estática y repetitiva, y es justo esta periodicidad la que permite al receptor el cambio a frecuencias alternativas; dicha periodicidad corresponde a la longitud de la súper trama de transmisión, es decir, 1,200 ms o 400 ms. Los elementos que conforman el campo SDC se mencionan a continuación: descripción de múltiplex, etiqueta, acceso condicional, información de frecuencia, información de calendario de frecuencia, información de aplicación, soporte y conmutación de anuncio, identificación de región de cobertura, información de fecha y hora, información de audio.



*Figura 51. Trama SDC*

La información que se encuentra en el sistema DRM está concentrada en Supertrama. Una Supertrama de transmisión está formada por tres tramas de transmisión, cada una de estas tramas contiene  $N_s$  símbolos OFDM.

La trama de transmisión del sistema OFDM contiene celdas de datos, celdas de control y celdas piloto, las celdas de control son las FAC y SDC y Las celdas piloto facilitan la sincronización y recepción.

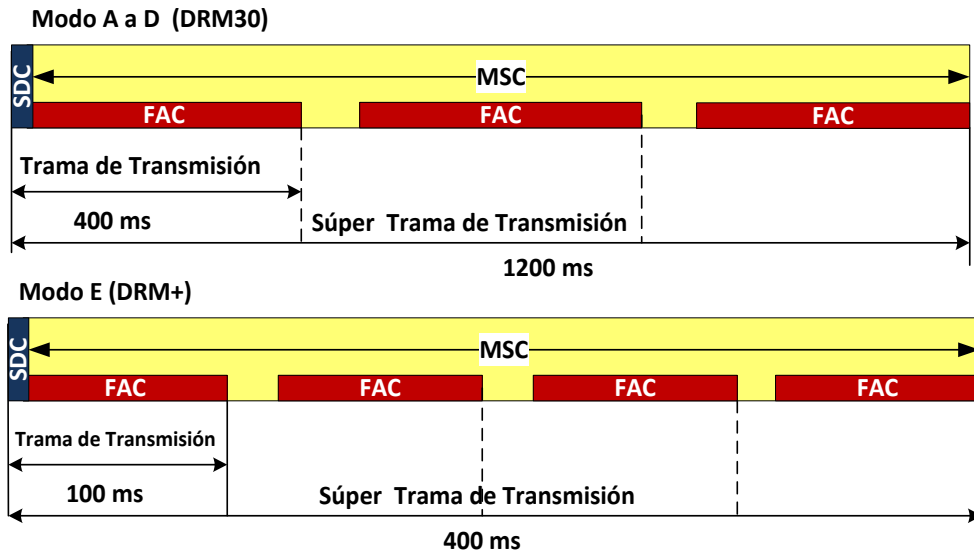


Figura 52. Estructura de la Trama DRM (modos DRM30 Y DRM+). [16]

#### e.2.4. Transmisión DRM

El flujo general de información generada desde un centro de estudio (origen) hasta que la información sea recibida por un receptor DRM (destino) se conoce como cadena completa de comunicación DRM. Esta cadena de comunicación consta básicamente de dos bloques principales: un servidor de contenidos y un modulador, estos a su vez se comunican a través de una Interfaz de Distribución del Multiplex (MDI) y a través del Protocolo de Comunicaciones y Distribución (DCP), tal como se observa en la figura 53, sistema de difusión DRM.

**Protocolo de Distribución y Comunicación DCP:** El Protocolo de Distribución y Comunicación DCP está diseñado específicamente para permitir una comunicación multicast fiable de un servidor central a varios receptores. Tal como se observa en la figura 53, el uso del protocolo DCP se origina en las siguientes interfaces del sistema de radiodifusión DRM:

- **MDI** (Interfaz de distribución del Multiplexor): Cubre el transporte de datos y comandos desde el Multiplexor DRM al modulador DRM.
- **MCI** (Interfaz de Control del Modulador): Cubre la señalización remota y comandos de configuración del modulador DRM.
- **SDI** (Interfaz de Distribución de Servicio): Cubre el transporte de datos y comandos desde el estudio y otras fuentes al multiplexor DRM.

- **RSCI** (Interfaz de Control y Estado del Receptor): Cubre el transporte de información de estado del receptor.

El uso del protocolo DCP estandarizado por DRM facilita la comunicación fiable de datos entre los diferentes subsistemas dentro de la cadena de transmisión DRM.

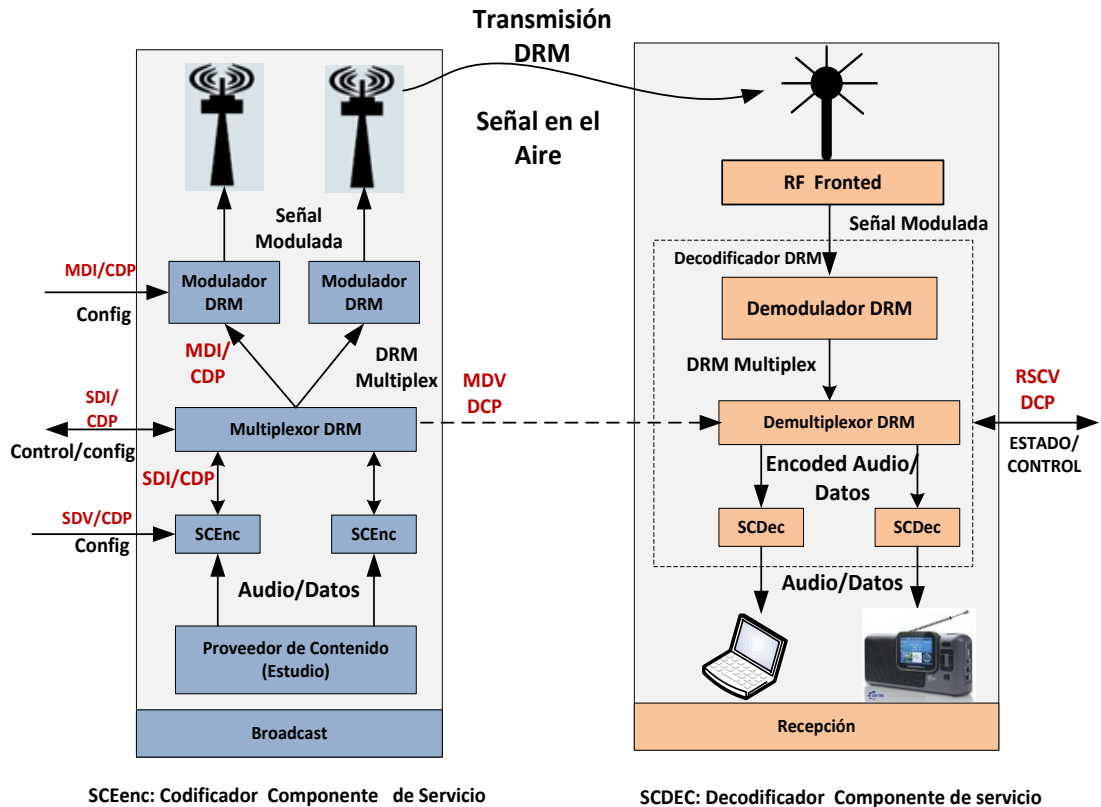
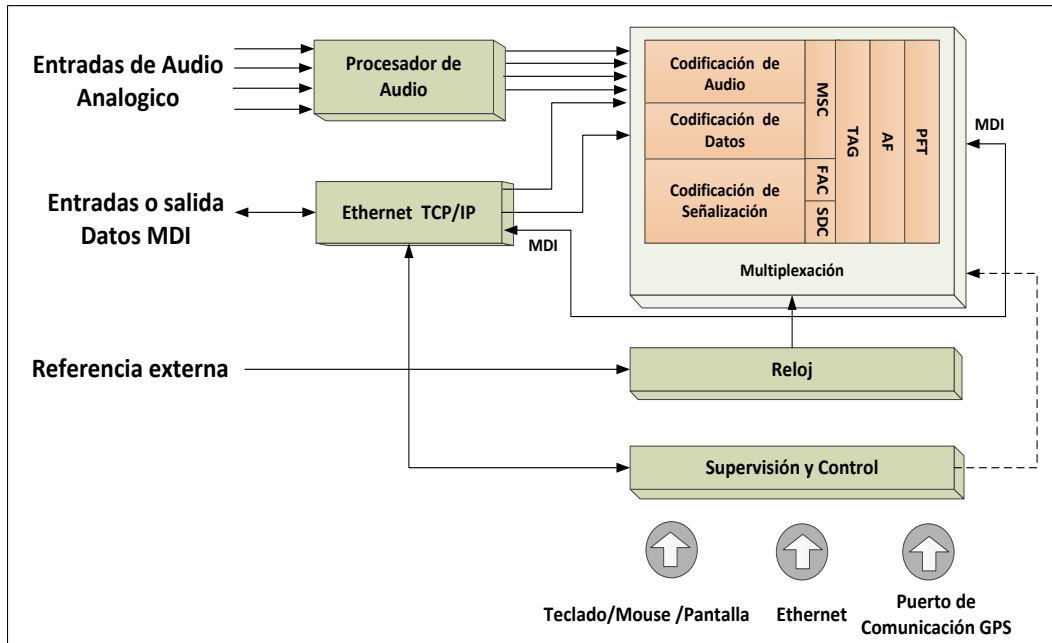


Figura 53. Aplicación de DCP en el sistema DRM. [16]

#### e.2.4.1. Servidor de contenido

El servidor de contenido permite adaptar las señales de audio analógico al multiplexor DRM mediante procesos digitales, el servidor de contenido puede recibir hasta cuatro servicios de audio, además se puede adicionar mensajes de texto en el mismo, también puede recibir datos y texto en formato digital MDI/DCP. El servidor de contenido posee una pantalla que sirve de interfaz de comunicación con el usuario, además tiene dispositivos periféricos de entrada tales como: teclado, mouse, puertos de Ethernet y un puerto de comunicación GPS que permiten configurar el sistema. En la figura 54, se observa la estructura general de un servidor de Contenido.



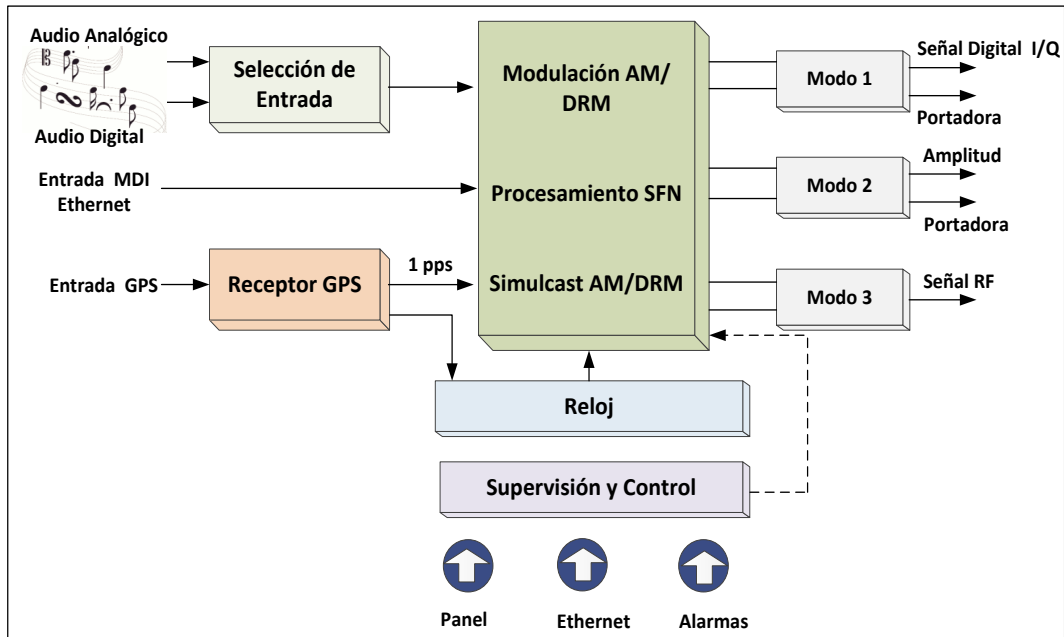
**Figura 54.** Diagrama de Bloques del servidor de Contenidos

Como se observa en la figura 54, el servidor de contenido recibe las señales de audio, datos y texto para luego adoptarlas al canal de datos canal de servicio principal MSC y asigna la información de aplicaciones de datos y señalización en los canales de canal de acceso rápido FAC y canal de descripción de servicio SDC, para posteriormente transmitir la señal en formato DCP. Además el servidor de contenido pasa sincronizado con las etapas posteriores de la cadena de transmisión por una referencia común de tiempo, mediante el sistema de GPS.

#### **e.2.4.2. Modulador DRM**

El modulador DRM se encarga de convertir la señal recibida del servidor de contenido en señal OFDM para seguidamente alimentar al transmisor DRM para luego transmitirla al aire, el sistema de antenas debe constar de entradas para audio analógico y digital, además debe constar de conexión Ethernet para señales provenientes de algún servidor de contenidos, y para la sincronización debe constar de una entrada GPS. Además debe ofrecer la capacidad de realizar redes de frecuencia única, tener una configuración para el modo simulcast, y un modo de comunicación con el operador ya sea local o remoto.

Las salidas del modulador dependen del modelo que estemos usando así como del fabricante, pero en general las salidas que deberían disponerse son: la salida de la señal digital I/Q, la señal separada en componentes de frecuencia o amplitud y fase, y la señal Simulcast.



*Figura 55. Esquema del Modulador DRM*

### e.2.4.3. Multiplexor DRM

El multiplexor DRM está conectado al modulador DRM a través de la interfaz de distribución del múltiplex (MDI) y los datos se envían asincrónicamente en paquetes. De tal manera que permite usar una gran variedad de mecanismos de transporte básicos, como UDP/IP, líneas seriales, satélite, WAN, LAN, e ISDN. Cuando el múltiplex se basa en tramas DRM de 400 ms y la transmisión de datos se efectúa asincrónicamente, el multiplexor y el modulador DRM deben poseer su propia fuente de sincronización de tiempo (GPS o el Protocolo de Red de Tiempo (NTP)), para asegurar la estabilidad a largo plazo de estas tramas.

El multiplexor DRM transporta MSC, FAC, SDC junto con toda la información necesaria para ejecutar el modulador de DRM con las opciones correctas (modo de robustez, opciones de tiempo para SFN etc.).



#### **e.2.4.4. Transmisor**

Una de las características del sistema DRM es que puede operar en forma híbrida, por lo que los transmisores deben tener la capacidad de operar en transmisiones tanto digitales y analógicas. Esto permite maximizar el uso de la tecnología existente de transmisión y minimizar la inversión para introducir los servicios prestados por DRM. La condición básica que se requiere en cuanto a la tecnología de transmisión para señales DRM, es la linealidad en los amplificadores de potencia. El equipo transmisor DRM utiliza un receptor GPS para operar en redes SFN, este receptor recibe información de los satélites GPS y proporciona señales de referencia en tiempo y frecuencia a cada uno de los repetidores.

El sistema digital DRM no solo ofrece la ventaja de un sonido con calidad sino también su ahorro energético, evitando la alimentación de poderosos y caros transmisores. Para emitir una señal en onda corta, siempre eran necesarios de 100 a 500 Kilowatios, para lograr llevar la señal de audio medianamente audible a todo el planeta. Sin embargo el DRM con 100 a 200 vatios de potencia logra superar distancias de 2 a 5 mil kilómetros. Esto significa un cambio de paradigma para las transmisiones en onda corta: no solo se logra mejor calidad en sonido, sino que también un gran ahorro, posibilitando la aparición de nuevos actores en el selecto mundo de la onda corta.

Según pruebas técnicas realizadas con el estándar digital DRM en el año 2000 entre el mes de julio y agosto, se logra concluir que para realizar una transmisión digital DRM debe asegurarse que la potencia digital sea 7 dB menor que la potencia analógica para ondas hectométricas y 4 dB menor para ondas Decamétricas lo que asegura una misma área de cobertura designada.

#### **e.2.5. DRM+ (DRM PLUS)**

El sistema DRM+ es una extensión del estándar digital DRM, opera en el rango de frecuencias que están situadas entre 30 a 174 MHz. En el 2005 el consorcio DRM decidió extender el sistema para operar en las bandas de radiodifusión por debajo de los 120 MHz. **DRM+** fue aprobado en 2009 por la ETSI, para el espectro radial entre los 30 a 174 MHz.

### e.2.5.1. Características Generales del Sistema

El estándar DRM+ tiene un robusto sistema de transmisión COFDM que permite la recepción móvil de velocidades hasta de 300 km/h, en entornos multitrayecto y es adecuado para redes de frecuencia única (SFN). DRM+ utiliza un ancho de banda estrecha de 96KHz que es compatible para la banda de frecuencias FM.

A continuación se mencionan brevemente algunas características similares del sistema DRM+ en comparación con el estándar DRM30 (Sistema Digital DRM que opera por debajo de los 30MHz) son los siguientes:

- ✚ Utilizan los mismos códec de audio
- ✚ Utiliza el mismo múltiplex y sistema de señalización.
- ✚ El mismo sistema de modulación COFDM pero con nuevos parámetros

En la tabla 8, se resumen parámetros técnicos más importantes del sistema DRM+.

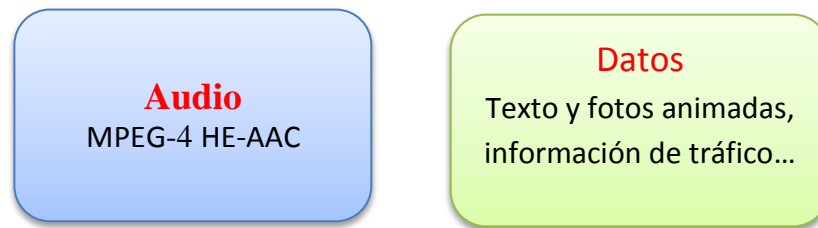
**Tabla 8.** Parámetros del sistema DRM+

Parámetros	
Modulación	<b>OFDM</b>
Velocidad de datos	<b>40-186 kbps</b>
Ancho de Banda	<b>96kHz</b>
Numero de Portadora	<b>213</b>
Espacio de Portadora	<b>444,444Hz</b>
Portadora de Modulación	<b>4/16 QAM</b>
Codificación de Canal	<b>MLC</b>
Intervalo de guarda T <sub>g</sub>	<b>0,25ms</b>
Longitud de Símbolo T <sub>u</sub>	<b>2,25ms</b>
Número de servicios	<b>1-4</b>

*Fuente: Original*

### e.2.5.2. Multiplex Flexible

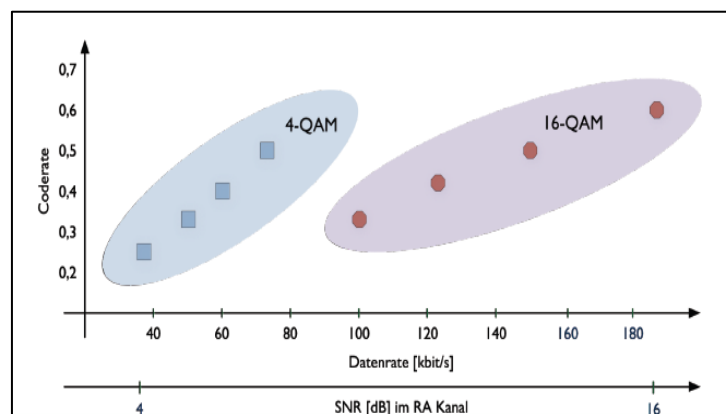
El sistema DRM+ tiene de 1 a 4 servicios dentro de un múltiplex. Además ofrece un uso flexible del multiplex con respecto al número y tipo de programas (audio, datos, vídeo) con apertura a las necesidades de los organismos de radiodifusión y preferencias, es decir, el sistema puede adaptar con gran flexibilidad a contenidos de las emisoras.



**Figura 56.** Servicios de Audio y Datos dentro del Multiplex

### e.2.5.3. Amplia gama de velocidades

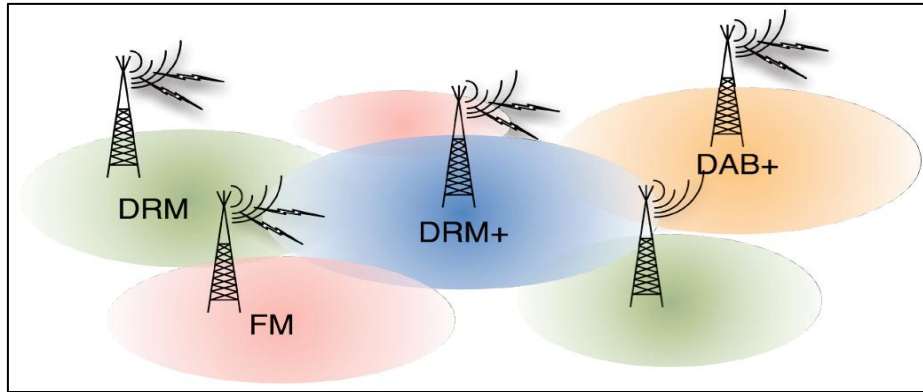
El sistema DRM+ tiene una amplia gama de velocidades de datos que van desde los 37 a 186 kbps, además el sistema digital multiplexa las velocidades de datos dependiendo de los diferentes requisitos del proveedor de programa, tal como se observa en la figura 57, para una modulación robusta 4-QAM tiene una tasa de bit pequeña que va desde los 37kbps, con una baja relación señal Ruido (SRN) suficiente para la recepción de la señal, mientras tanto la modulación 16-QAM tiene una mayor velocidad de 186 kbps con mejor relación señal ruido.



**Figura 57.** Velocidades de datos escalables del sistema DRM+.

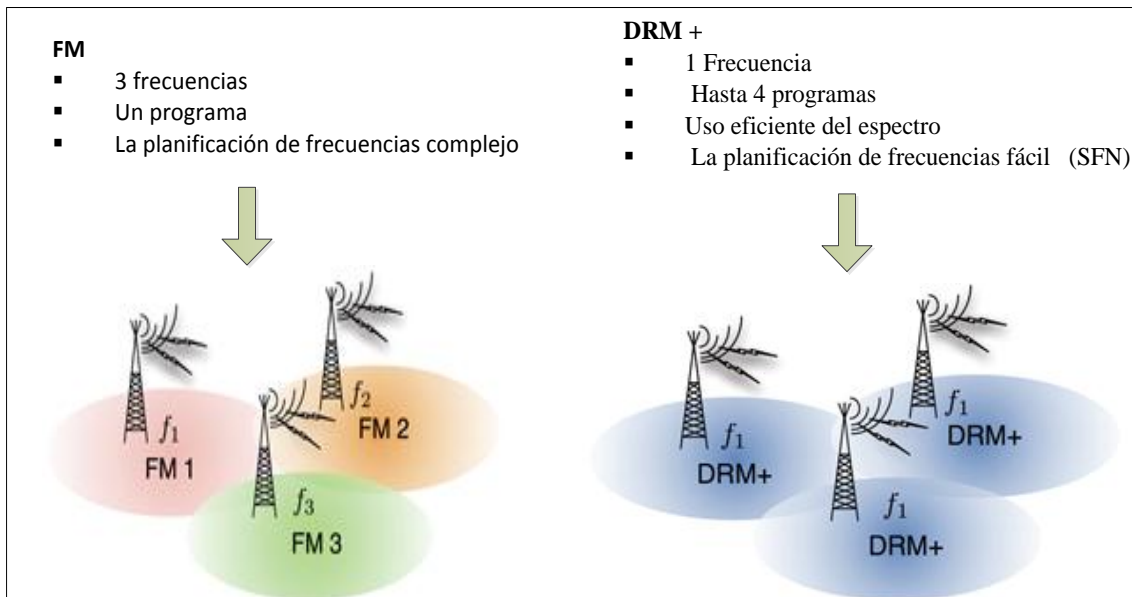
### e.2.5.4. Adaptación al área de cobertura

El estándar DRM+ únicamente funciona con un solo modo de transmisión. Además los parámetros para el uso del espectro se determinan a partir de las normas acordadas internacionalmente en la banda de FM (88 a 108 MHz). El sistema DRM + es compatible con redes heterogéneas de diferentes servicios tales como DAB, FM, DRM, y además ofrece conmutación de frecuencia alternativa, tal como se observa en la figura 58.



**Figura 58.** Redes de radiodifusión digital heterogéneas. DRM+.

A continuación en la figura 59, se detalla las diferencias entre el sistema de radiodifusión digital DRM+ y la radiodifusión analógica en FM.



**Figura 59.** Comparación entre sistema digital DRM + con el sistema analógico FM.

La diferencia principal se plasma en que los sistemas de radiodifusión sonora analógica utilizan redes de frecuencia múltiples MFN, mientras que al adoptar un sistema digital DRM+ se emplean redes de frecuencia única SFN. A continuación se describe las principales ventajas de implementar una red SFN comparada con la red convencional MFN y son las siguientes:

Permite una alta eficiencia espectral en escenarios con escasos recursos espectrales disponibles es muy importante aumentar la eficiencia espectral ya sea para facilitar la

transición de la radiodifusión analógica a digital como para el aumento del número de programas disponibles a un largo plazo.

En una red SFN la señal recibida es la superposición de varias señales provenientes de distintos transmisores. La probabilidad de interrupción del servicio es menor debido a que si en algún momento uno de la señales no está disponible las demás sí podrían estarlo. Este resultado se traduce en una alta probabilidad de localización comparada con una red de un único transmisor. Este fenómeno generalmente es considerado como ganancia de red o ganancia por diversidad.

Como resultado de la ganancia de red, las topologías SFN pueden operar con menor potencia de transmisión y tener una cobertura más homogénea comparada con una red MNF.

#### e.2.5.5. Transmisión Combinada DRM+ y FM

El sistema DRM+ tiene la característica de combinar la señal DRM+ con una instalación de radiodifusión en FM. En el caso de modo combinado, un sistema DRM+ transmite en forma paralela con la transmisión analógica, la señal de salida de los transmisores se envían a un equipo combinador que ajusta los dos tipos de señales para radiar las señales por la misma antena, tal como se observa en el diagrama de Bloques de la figura 60.

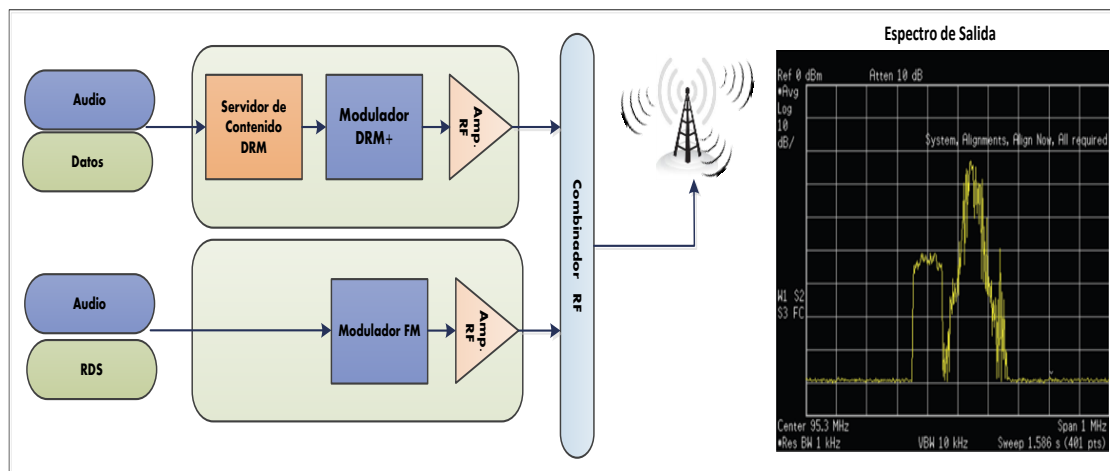
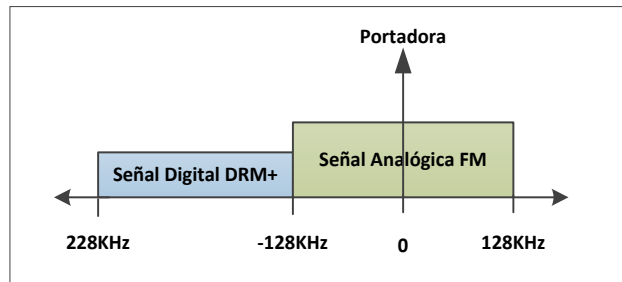


Figura 60 . Diagrama de un sistema DRM+ combinado, con su respectivo espectro de salida.

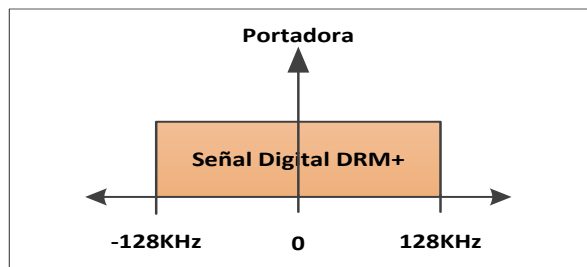
### e.2.5.6. Modos de Funcionamiento

El estándar DRM+ tiene 2 modos de funcionamiento el modo híbrido y el modo digital, en el modo híbrido se incorpora diversidad de tiempo entre la señal analógica y digital, la señal analógica es retardada respecto a la señal digital para que exista sincronización entre ambas señales de modo que el receptor conmute a la recepción analógica cuando se produzca un elevado porcentaje de bits erróneos de la señal digital; en la figura 61, se observa el espectro de frecuencias del modo híbrido del estándar DRM+.



*Figura 61 . Modo híbrido DRM+.*

En el modo totalmente digital DRM+ se suprime la señal analógica y se transmite solo la señal digital tal como se muestra en la figura 62.



*Figura 62. Modo totalmente digital DRM+.*

### e.2.5.7. Simulcast para DRM+

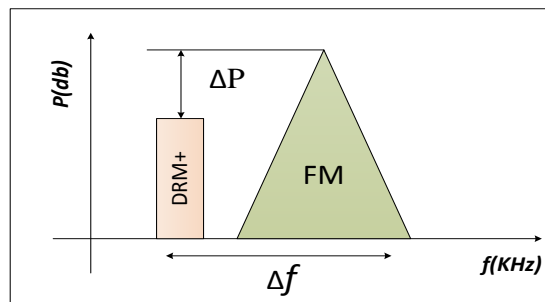
La señal de FM puede ser configurado de manera flexible dependiendo de la utilización actual del espectro. De esta manera, DRM+ puede ser introducida en las bandas de frecuencias de FM. En la figura 63, se muestra que la señal DRM se puede ubicar tanto en la parte izquierda o derecha de la señal FM existente. Para garantizar los niveles de protección respectiva así como la calidad de audio de la señal de FM, la distancia de

frecuencia portadora ( $\Delta f$ ) y la diferencia de nivel de potencia ( $\Delta P$ ) entre ambas señales (FM y DRM+) pueden planificarse de acuerdo a las necesidades del radiodifusor.

Los valores recomendados para la frecuencia de portadora ( $\Delta f$ ) y el nivel de potencia ( $\Delta P$ ) son las siguientes:

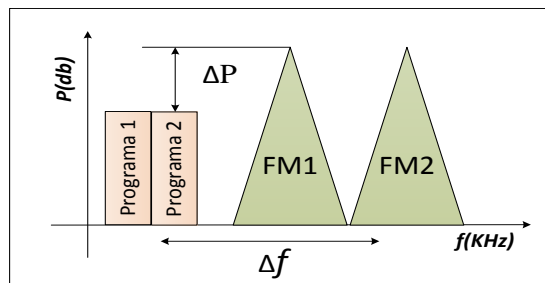
$$\Delta f \geq 150 \text{ kHz.}$$

$\Delta P$  se puede variar flexiblemente, sin embargo, un  $\Delta P > 20 \text{ dB}$  para  $\Delta f$  (mínimo) = 150 kHz.



**Figura 63.** Simulcast para el modo E (FM). [19]

La señal DRM+ puede ser transmitida de dos formas: las señales analógicas y digitales pueden ser combinadas y transmitidas a través de la misma antena, o las dos señales pueden ser transmitidas desde diferentes antenas.



**Figura 64.** Ejemplo de configuración con 2 estaciones de FM y DRM+. [19]

### e.2.6. Servicios De Datos

El estándar DRM emplea una gran variedad de contenidos que incluyen distintos tipos de información tales como:

- ✚ El contenido de audio.
- ✚ Datos obligatorios.
- ✚ Servicios de datos o de valor agregado que los radiodifusores pueden o no incluir en la transmisión.

### e.2.6.1. Datos obligatorios

Los datos obligatorios son componentes esenciales del sistema DRM por lo que toda radiodifusora debe incluir dentro de sus transmisiones DRM. Como muestra de ello tenemos todos los datos transportados por los canales FAC y SDC, a continuación se detalla cada uno de los datos obligatorios:

- a) **Identificador del servicio:** Este identificador es único a nivel mundial y es asignado a cada programa DRM; su función es la de permitir al receptor encontrar e identificar el programa seleccionado por el usuario, aun cuando la frecuencia cambie.
- b) **Etiqueta del servicio:** El radioescucha selecciona la programación que desea mediante el nombre, el cual se presenta gracias a la etiqueta de servicio. Esta etiqueta es la herramienta primaria del usuario para la identificación y selección del programa.
- c) **Tipo de programa:** La selección del programa también puede hacerse por el tipo de contenido como: noticias, música pop, rock, drama, etc., por lo que el sistema DRM también soporta la señalización de 29 diferentes tipos de programas para los servicios de audio.
- d) **Idioma del servicio:** El usuario tiene la posibilidad de seleccionar el idioma de los programas que desea escuchar. Para la señalización del idioma, se utiliza el código establecido por la ISO.
- e) **País de origen:** Con esta opción el radiodifusor puede señalar el país de origen de un servicio DRM en particular, esta información se referencia al lugar del estudio, no del transmisor.

### e.2.6.2. Servicios de valor agregado

Los servicios de valor agregado pueden ser desde simples servicios de texto que acompañen al audio transmitido hasta el uso total de la capacidad del Canal de servicio principal MSC para servicios de datos multimedia. Los servicios más complejos de multimedia pueden incluir tanto texto como imágenes, aunque en el caso de DRM debido a que tiene velocidades de transmisión menores, la cantidad de datos que se



pueden enviar así como sus actualizaciones se ve restringida. Por esta razón, es recomendable que en estos modos, los servicios de texto ocupen únicamente de 2 kbps a 4kbps de la capacidad del MSC. Dentro de los servicios de valor agregado se encuentran los siguientes servicios:

#### **e.2.6.2.1. Mensajes de texto DRM**

El estándar DRM ofrece a los radiodifusores la opción de enviar una secuencia de mensajes de texto cortos hasta 128 caracteres de longitud. Mensajes asociados al programa de audio, tales como, nombre de la canción, artista, nombre del programa, noticias de la estación, etc.

#### **e.2.6.2.2. Servicio de información de texto Journaline**

Este es un servicio de información basado en texto que puede ser manejado como un servicio asociado a un programa de audio o como servicio independiente. Es decir el usuario tiene acceso a una lista de diferentes temas, de la cual es posible seleccionar los que son de interés.

#### **e.2.6.2.3. EPG (Guía electrónica de programas)**

Esta es una guía digital de la programación disponible, el contenido es típicamente desplegado en la pantalla del receptor. Además, la EPG permite también la grabación de los programas de interés, ya sea por medio del receptor DRM, o mediante un grabador digital.

#### **e.2.6.2.4. Slideshow**

Este servicio presenta al usuario información útil cada vez que este mire la pantalla del receptor. Generalmente se transmite información relacionada con el programa, aunque también puede incluirse información totalmente independiente del servicio de audio, como noticias del clima.

#### **e.2.6.2.5. TMC (Canal de mensajes de tráfico)**

Este servicio se basa en la utilización de parte de la capacidad de transmisión del RDS (Radio Data Systems) para difundir mensajes informativos acerca de la situación del tráfico. Los mensajes, que son codificados y transmitidos de forma digital junto con la

emisión de FM, se decodifican e interpretan a bordo del vehículo por el equipo de auto-radio y se presentan al conductor a través de un sintetizador de voz o un panel visualizador.

#### **e.2.6.2.6. Diveemo**

Es una aplicación, aún en desarrollo, que está basada en DRM y permite el envío de video a pequeña escala, por lo que podría ser utilizada con diferentes fines, dependiendo de los deseos del radiodifusor.

### **e.3. MODOS DE TRANSICIÓN DE RADIODIFUSIÓN ANALÓGICA A RADIO DIGITAL TERRESTRE**

Los estándares de radiodifusión digital actualmente disponen de varios modelos para transmitir sus señales en las emisoras de radio FM o AM, a continuación se describirán cada una de las opciones para la instalación del sistema digital en las estaciones de radio FM o AM.

#### **e.3.1. Sistema Digital IBOC**

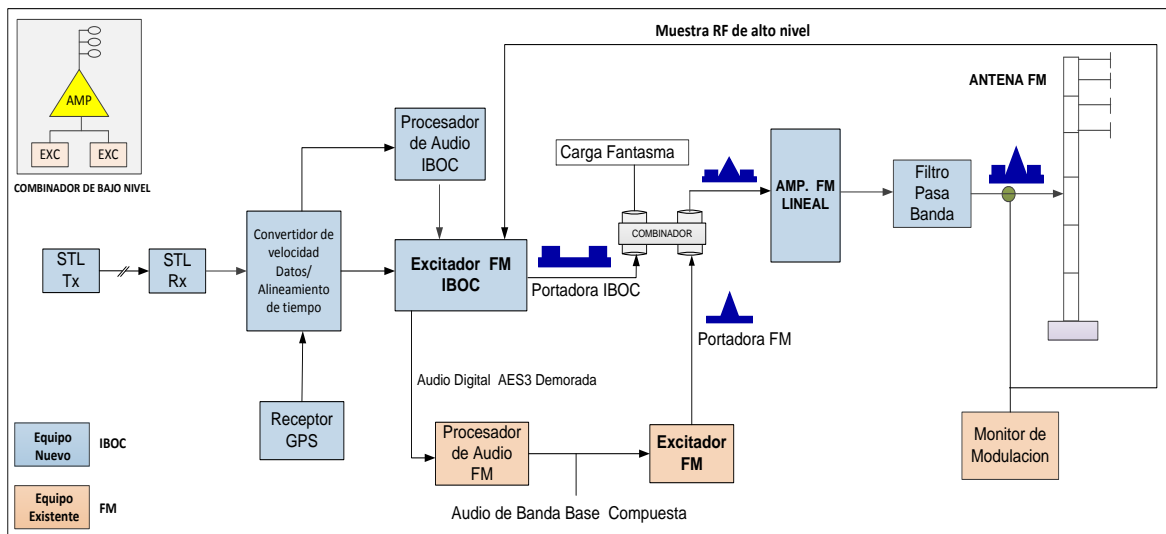
Anteriormente se detalló que el estándar digital IBOC utiliza las mismas bandas de frecuencias asignadas a las estaciones de radio AM y FM, lo que permite al proceso de transición sea mucho más flexible. El sistema digital HD radio ofrece varias arquitecturas utilizables para transmitir una señal FM o AM de IBOC, el método o arquitectura a utilizar va a depender de algunos parámetros técnicos tales como la potencia de salida del transmisor y eficiencia en general.

##### **e.3.1.1. Sistema Digital IBOC en FM**

Actualmente existen tres métodos de transmisión de una señal HD Radio en FM, estos métodos son: combinación de bajo nivel o amplificación común, combinación de alto nivel o amplificación separada, e implementación de antenas separadas, las mismas se detalla a continuación.

### e.3.1.1.1. Combinación de Bajo Nivel

El método de combinación de bajo nivel, consiste en que la salida del excitador analógico FM se combina con la salida del excitador IBOC; después, las salidas combinadas son enviadas a un único amplificador lineal RF de banda ancha para aumentar la potencia de la señal a la potencia de transmisión deseada y luego es enviada a un único sistema radiante para su transmisión. La combinación de bajo nivel se observa en la figura 65, en el modelo de implementación de combinación de bajo nivel en una estación de FM.



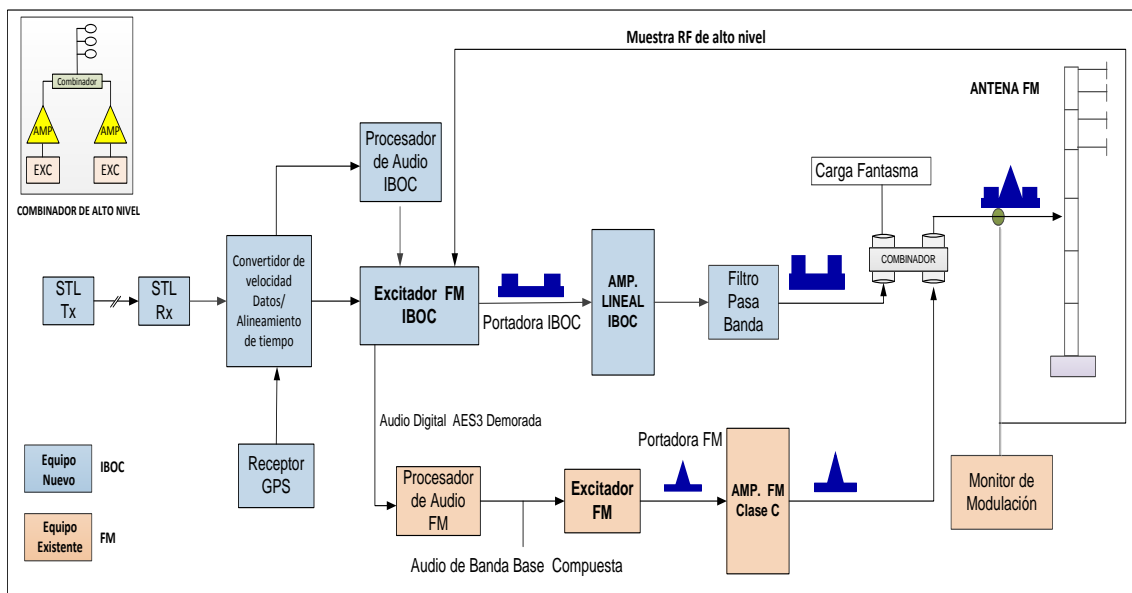
*Figura 65. Sistema FM IBOC usando Combinación de bajo Nivel*

Este método es ideal para estaciones con una potencia de transmisión menor a 14kW. Tal como se observó en la figura 65, los equipos requeridos para este tipo de combinación son un excitador, generador de señales y un procesador de audio, lo que reduce los requerimientos de espacio dentro del sitio de transmisión, así como la potencia consumida. El convertidor de velocidad de datos y alineamiento de tiempo o el conversor de tasa de muestreo y sincronización cumple con la función de aceptar las señales AES desde 32 a 48 kHz desde el STL, realiza una conversión de tasa de muestreo de bajo Jitter a 44.1 kHz, requerido por el excitador, y sincroniza todo el audio a una señal de referencia GPS.

En todos los sistemas de IBOC se debe tener en cuenta que se utiliza una consola analógica, por lo que se recurre a un procesador de audio analógico y digital en el lado del transmisor, de esta manera se proporciona una señal de audio de buena calidad, el procesamiento de audio puede realizarse de forma separada (o compuesta). El excitador IBOC posee entradas analógicas y digitales, a fin de procesar el audio proveniente de toda clase de fuentes. La ubicación de los procesadores de audio es preferible en el lado del estudio, sin embargo, dependiendo de la capacidad de transporte del STL y de la confiabilidad del enlace se ubica a los procesadores en el lado de transmisión.

### e.3.1.1.2. Combinación de alto nivel

El modelo de combinación de alto nivel al igual que la opción anterior utiliza un equipo combinador, cuya función es de combinar las salidas del transmisor analógico y del transmisor digital independiente. Este modelo utiliza los excitadores y amplificadores por separado para generar la señal digital IBOC y la señal analógica FM. La señal híbrida resultante es enviada a la antena transmisora actual. Este sistema utiliza el transmisor analógico FM, adicionalmente se agrega el transmisor digital para la señal IBOC, así como un combinador final, lo que une las salidas de ambos transmisores y una carga fantasma para alimentar la antena, tal como se observa en la figura 66.



**Figura 66.** Sistema FM IBOC usando Combinación de Alto Nivel

En el método de combinación de alto nivel, las señales pasan por el proceso de amplificación y luego son combinadas, este sistema presenta mayor pérdida de potencia debido a la diferencia de potencia entre las señales combinadas.

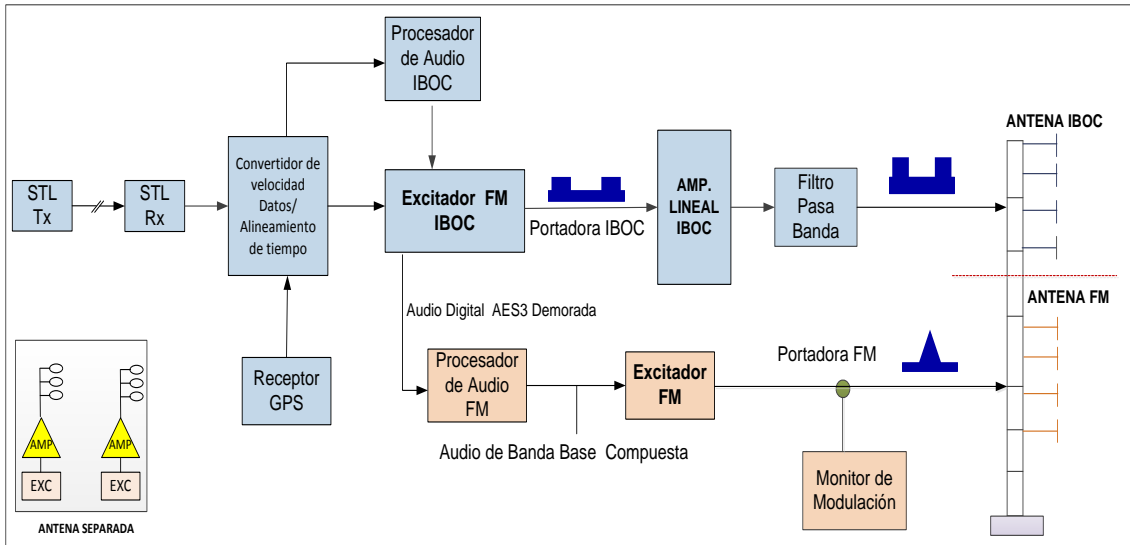
La potencia transmitida para la señal digital debe estar 22 dB por debajo de la señal analógica. Los combinadores IBOC presentan una pérdida de inserción de 0.5 dB (10%) al transmisor analógico y 10 dB (90%) al transmisor digital. Es decir, la potencia de entrada al combinador debe ser 10% de la salida para el transmisor analógico, y diez veces más grande que la salida para el transmisor digital. Es decir, para una estación de FM con un transmisor que genera una potencia de salida de 10 KW, la potencia de la portadora digital de la señal IBOC sería de 100 W y asumiendo las pérdidas del combinador arriba mencionadas, la potencia del transmisor analógico FM tendría que ser incrementada a 11.1 KW para superar las pérdidas de inserción del combinador. De la misma manera, la potencia de salida del transmisor digital debe ser aumentada a 1 kW para superar la pérdida de 10 dB causada por el combinador. [9, pág.41-42]

El uso de este sistema se puede considerar para frecuencias mayores a 14 kW, además los transmisores deben tener la capacidad de compensar las pérdidas generadas en el combinador, aproximadamente 10% de potencia adicional de la potencia de transmisión.

#### **e.3.1.1.3. Antenas separadas**

El modelo de antenas separadas las señales digitales y analógicas son transmitidas de manera independiente es decir las señales son generadas por excitadores independientes, luego amplificadas por transmisores y transmitidos por antenas independientes tal como se observa en la figura 67.

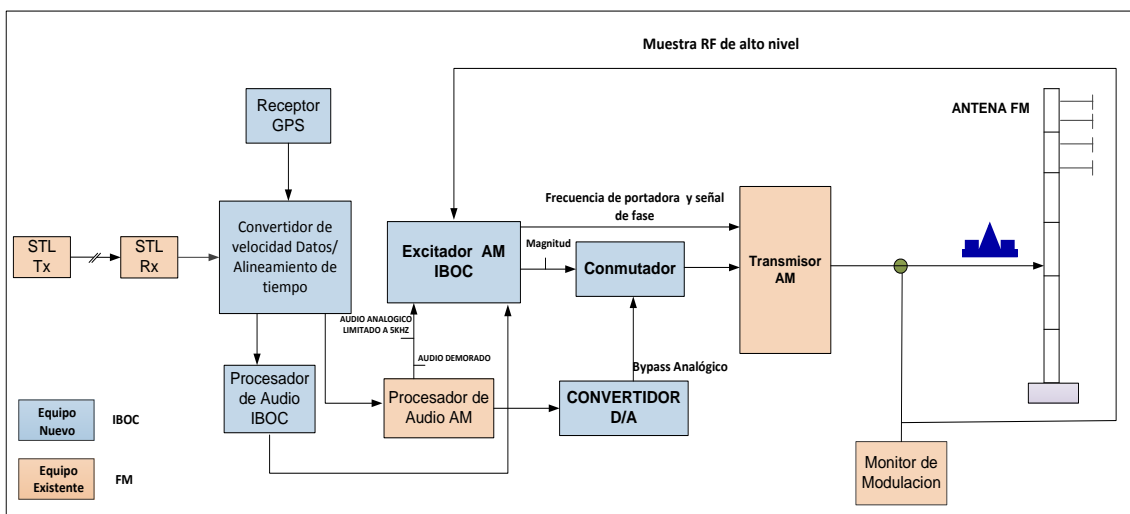
Uno de las ventajas que presta este sistema en comparación con los modelos anteriores, es que se elimina la pérdida de potencia ocasionada por el combinador, lo que permite el uso de un transmisor IBOC más pequeño para la generación de la señal digital IBOC. El uso de este sistema se puede considerar si la potencia de transmisión es mayor a 14kW.



**Figura 67.** Sistema FM IBOC usando Antena Separada

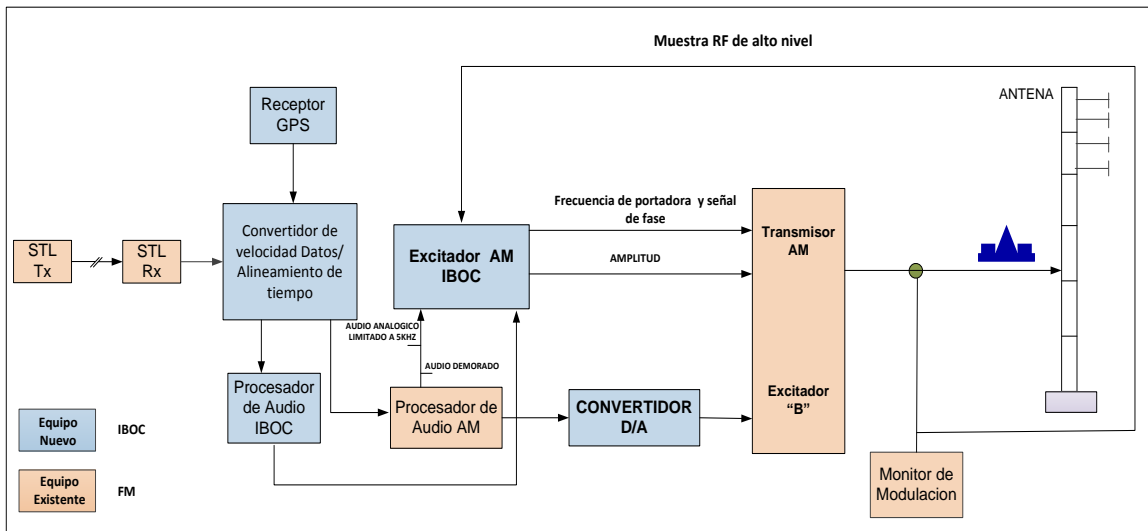
### e.3.1.2. Sistema IBOC en una estación AM

Para la implementación del sistema IBOC AM existen múltiples opciones al igual que en FM, de los cuales solo detalla un método debido a que su estructura está compuesta por equipos existentes en las radiodifusoras AM y utiliza el mismo sistema de combinación de bajo nivel para FM. En este método se utiliza un excitador IBOC separado que modula en fase a la portadora AM, si en las radiodifusoras existen transmisores de estado sólido (alta linealidad en la amplificación) no tendrán problemas en trabajar con el sistema IBOC. A parte del excitador, se utiliza un switch para conmutar al programa convencional en caso de que el excitador IBOC falle.



**Figura 68.** Sistema AM IBOC usando combinación de bajo nivel

Del método de combinación de bajo nivel con conmutación se deriva la configuración sin conmutación bypass. Esta configuración en lugar del switch se utiliza un excitador “B”, que sirve como una alimentación completamente redundante para el sistema de amplitud modulada (AM) convencional en el transmisor existente, tal como se observa en la figura 69. Al realizar la conversión se necesita ajustar las opciones de transmisión del excitador IBOC, ajuste de la magnitud de amplitud y de fase, y del retardo por diversidad del audio analógico.



*Figura 69. Sistema IBOC AM sin la conmutación bypass*

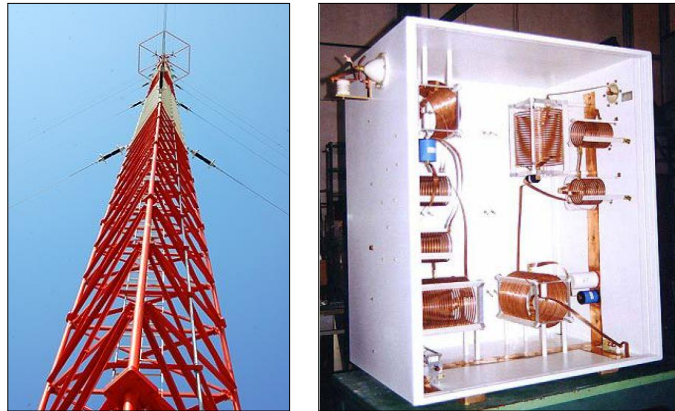
### e.3.1.3. Sistema de radiación IBOC

Para implementar un sistema de radiación en el sistema digital IBOC FM/AM, hay que tener en cuenta las especificaciones de cada antena tanto para la difusión en FM y AM dependiendo de la arquitectura que se implemente.

#### e.3.1.3.1. Antena AM

La implementación de IBOC en AM, la señal de audio será de altísima calidad en comparación con las emisoras FM, y además la conversión será más fácil y menos costosa. La desventaja de este método es que requiere una antena compleja y costosa, debido a que las emisoras tienen antenas direccionales, antenas duplexadas o torres muy cortas. De tal manera, el costo mayor de la conversión al sistema IBOC será la

reconstrucción de su de antena, además se necesita de un acoplador entre el sistema radiante y el transmisor para IBOC AM, tal como se indica en la figura 70.



**Figura 70.** Sistema de radiación IBOC en AM

El acoplador de antena para una estación de IBOC AM, posee compensador de banda lateral lo que brinda una excelente cobertura y ancho de banda de audio. Dicho acoplador debe estar instalado dentro de una sala hermética al polvo y en un ambiente climatizado, garantizándose así la vida de los costos dispositivos que conforman los acopladores

#### **e.3.1.3.2. Antenas FM**

Las antenas para IBOC FM deben contar con un ancho de banda suficiente para emitir las señales HD Radio FM, muchas antena FM existentes en las radiodifusoras en la ciudad de Loja ya cuentan con la característica mencionada, solo será necesario reemplazar algunas antenas viejas de banda estrecha.



**Figura 71.** Sistema Radiante para IBOC FM



### e.3.2. Sistema Digital DRM

El sistema digital DRM está diseñado para reemplazar la radiodifusión analógica actual, como se mencionó con anterioridad este estándar permite coexistir las nuevas transmisiones digitales con las transmisiones de AM y FM actuales. Si una estación de radio utiliza el sistema de radio digital DRM para sus transmisiones, puede transmitir su señal utilizando un transmisor de baja potencia y tener una cobertura aceptable en comparación con el sistema de radio analógico.

El estándar digital DRM aparte de la habilidad de encajar con los requisitos existentes del espectro, se beneficia también de ser un sistema abierto y no propietario, permitiéndole a cualquier fabricante diseñar y fabricar el equipo en una forma justa. A continuación se detallan algunos modelos o arquitecturas tentativos para implementar el sistema DRM en las actuales radiodifusoras analógicas, basados en diagramas de bloques.

#### e.3.2.1. Arquitectura 1

Esta arquitectura consta básicamente de un servidor de contenidos capaz de administrar hasta cuatro programas de audio, un modulador DRM, un transmisor, un sistema radiante de transmisión y un sistema de recepción. Este sistema esta propuesto en el caso de que se transmita en el mismo lugar donde se origina los programas, por lo que no consta de enlaces estudio-transmisor, por lo tanto no o hay procesamiento de las salidas digitales.

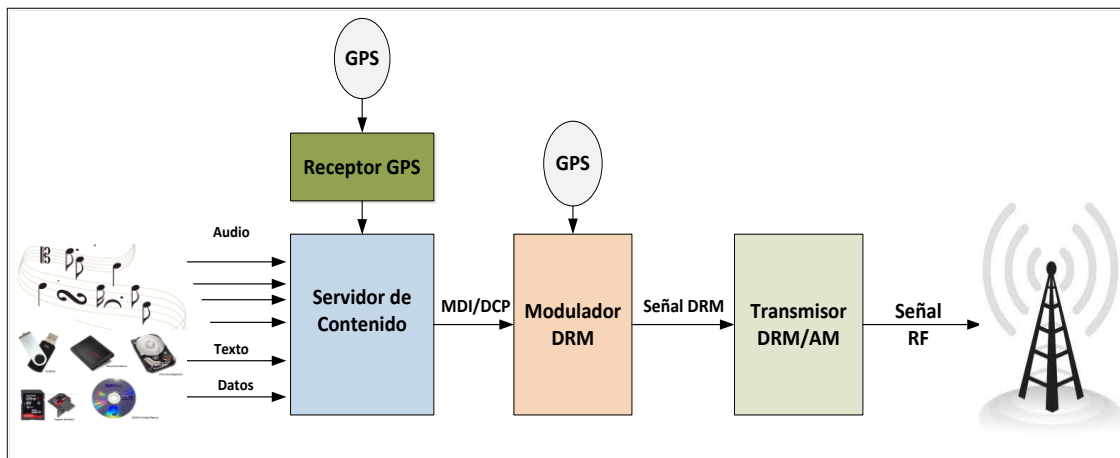
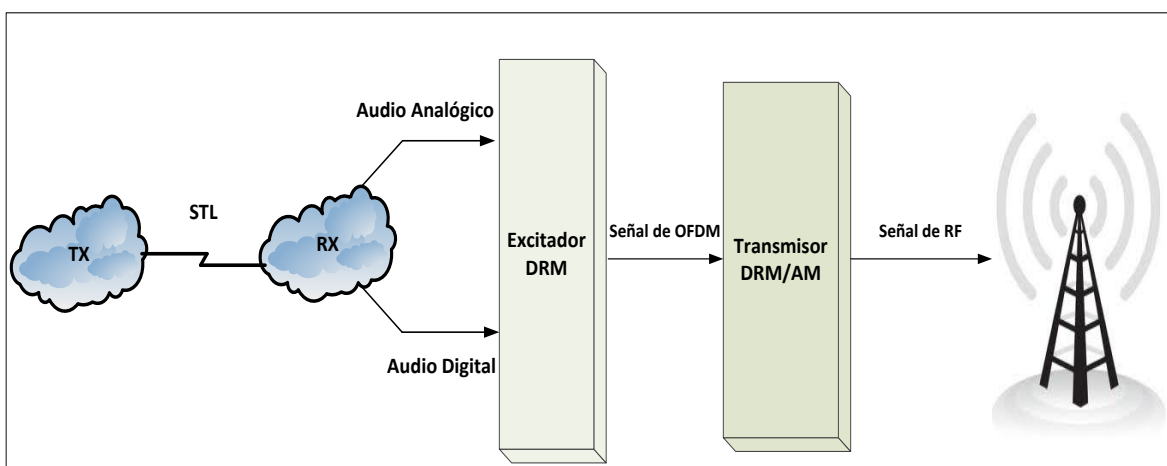


Figura 72. Arquitectura del sistema DRM

### e.3.2.2. Arquitectura 2

Esta arquitectura es la más simple en comparación con otras, consta de un excitador y un amplificador DRM, el excitador cumple las funciones de recoger la información y convertirlas a formatos DRM para posteriormente transmitir una señal OFDM. Esta arquitectura utiliza un enlace estudio transmisor, dependiendo de las características del enlace, las salidas y entradas al excitador podrán ser analógicas o digitales.

El excitador DRM cumple dos funciones, por un lado administra las fuentes de audio, y las adapta a la especificación DRM, y por otro lado permite la conformación de la onda OFDM para su amplificación en el transmisor.

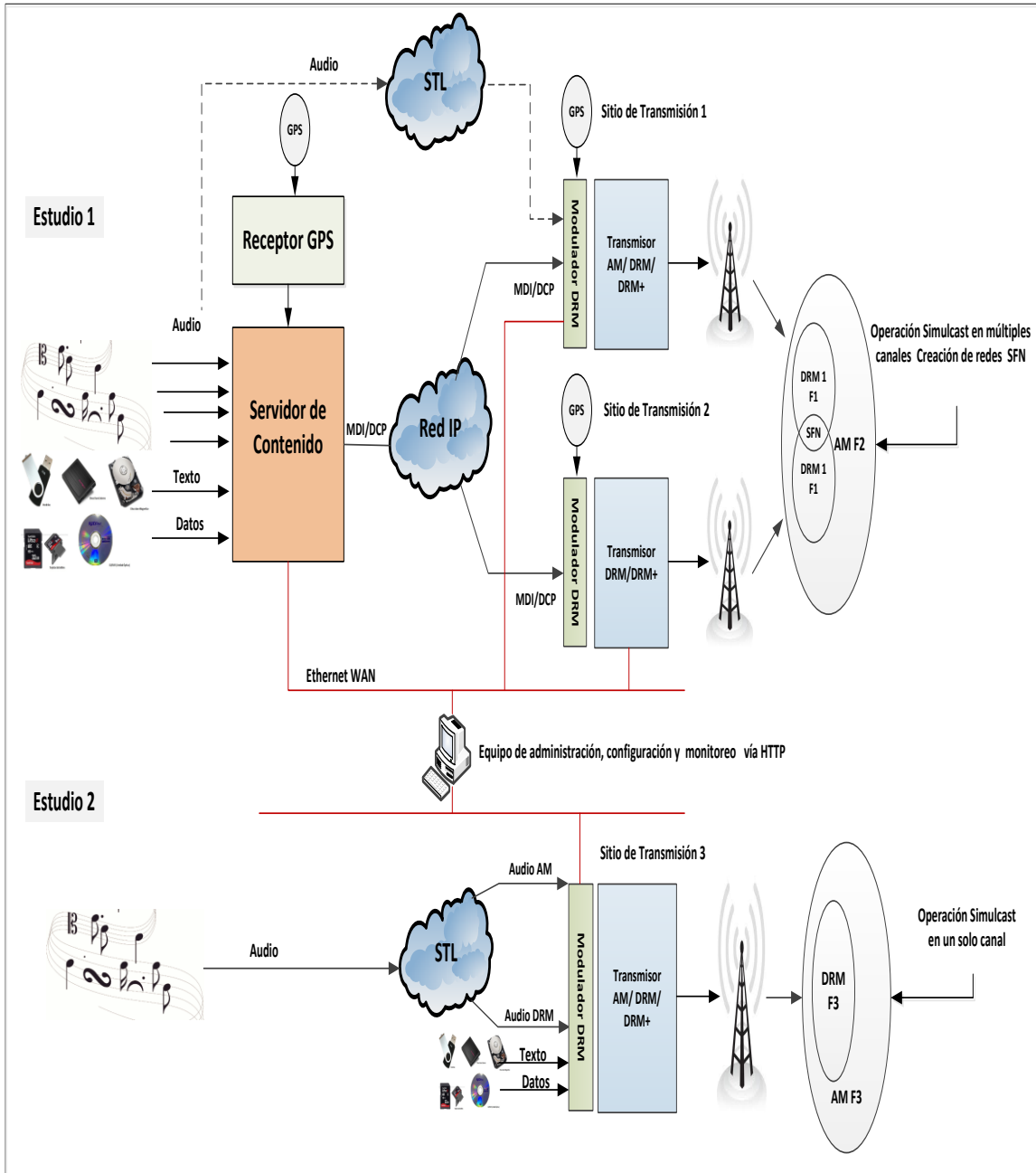


*Figura 73. Arquitectura simplificada del sistema DRM*

Esta arquitectura es la más simplificada y se ajusta más a la realidad de las radiodifusoras actuales, permitiendo usar la gran mayoría de equipos existentes en las radiodifusoras lo que permite economizar costos de inversión al adquirir nuevos equipos.

### e.3.2.3. Arquitectura 3

Esta arquitectura es la más avanzada del sistema DRM, donde a más de transportar señales de audio se realiza el transporte de aplicaciones de datos a través de una red de múltiples sitios de transmisión mediante varios estudios.



**Figura 74. Arquitectura DRM Avanzada. [17]**

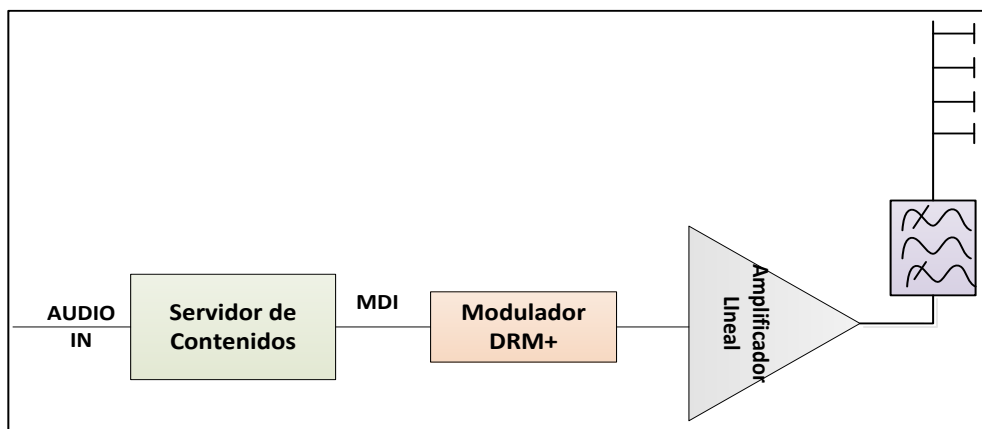
Esta arquitectura conecta múltiples estudios con múltiples sitios de transmisión, los enlaces STL transportan audio en formato analógico mientras que el transporte digital se lo hace a través de redes IP manejando datos en formato MDI/DCP, la implementación de un sistema similar al propuesto requiere de una alta modernización de la red, por lo que ésta propuesta es una alternativa futura del sistema DRM.

#### e.3.2.4. Transmisión DRM+

Para las transmisiones en FM también se requiere que los transmisores sean lo más lineales posible para poder obtener así un mejor funcionamiento del sistema. Actualmente existen diferentes arquitecturas para poder generar la señal DRM/DRM+ híbrida o totalmente digital.

##### e.3.2.4.1. Generación de la señal totalmente digital

Para un sistema de transmisión DRM+ totalmente digital la arquitectura es la misma que se observó en la figura 75, la diferencia de este sistema radica en el transmisor y el modulador que son digitales DRM+. Tanto el programa de audio y la información digital adicional se combinan en el servidor de contenidos y la salida se envía al modulador a través del flujo de datos MDI. Después, el modulador DRM+ provee una señal de salida RF modulada en frecuencia que es enviada directamente al amplificador de potencia.



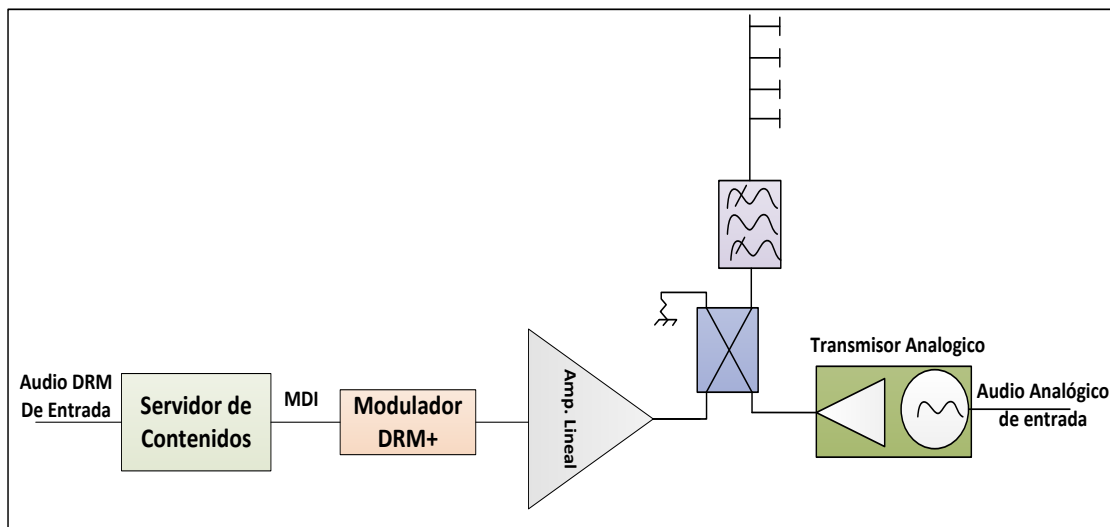
*Figura 75. Transmisor DRM+ con amplificador lineal de potencia. [17]*

##### e.3.2.4.2. Generación de la señal híbrida

Para el caso de la señal híbrida, lo más común es combinar las salidas de los respectivos amplificadores de potencia (FM y DRM+) utilizando un sistema de combinación de alto nivel. Esto se puede hacer de diferentes maneras:

### a) Combinación por acoplador direccional

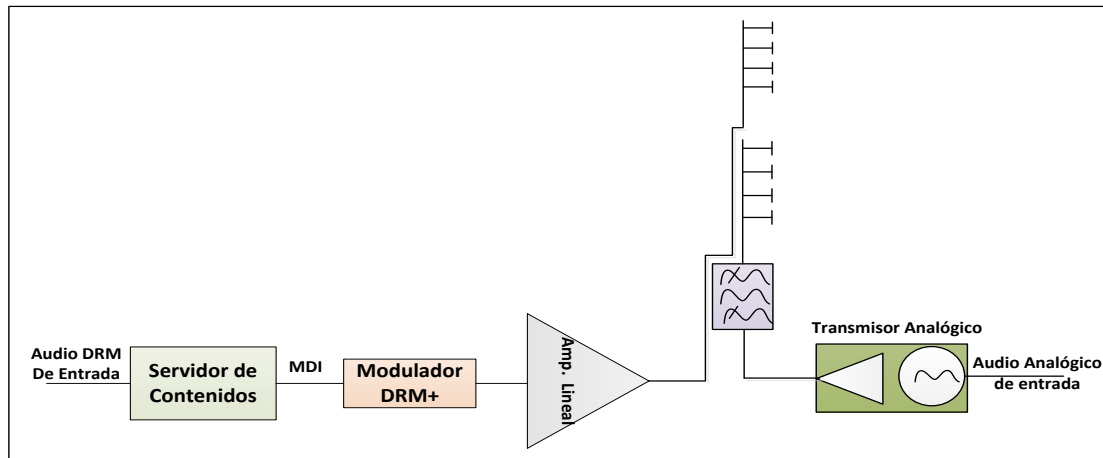
Las señales DRM+ y FM se combinan usando un acoplador híbrido que se encuentra ubicado después de los dos amplificadores de potencia. El factor de acoplamiento se elige de manera que se obtengan valores óptimos de pérdida de potencia en el canal de FM (debido a la combinación de señales) y la cantidad de potencia de salida del amplificador DRM+. La gran ventaja de esta arquitectura es que ambas estructuras son totalmente independientes, por lo que en caso de que una falle, la otra puede actuar como respaldo.



*Figura 76. Combinación por acoplador direccional (alto nivel). [17]*

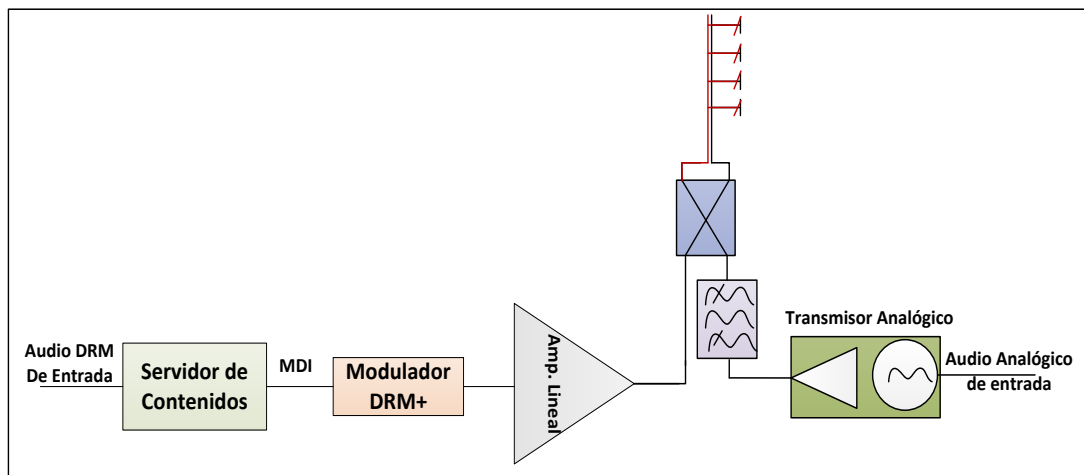
### b) Combinación de antenas separadas en el aire

Esta arquitectura puede implementarse de dos maneras; la primera opción es utilizar antenas separadas para señales diferentes, uno para la señal de DRM+ y uno para la señal de FM. Las dos antenas deben estar colocadas en el mismo mástil y deben tener los mismos patrones de radiación para mantener la relación de amplitud entre señales, tal como se observa en la figura 77.



**Figura 77.** Combinación con antenas separadas. [17]

La segunda opción es usar una antena de polarización circular con entradas independientes para la polarización horizontal y vertical, de esta manera la señal analógica se transmite con una polarización y la señal digital con otra, en la figura 78, se observa el diagrama bloques del modelo de combinación con antena de polarización circular.

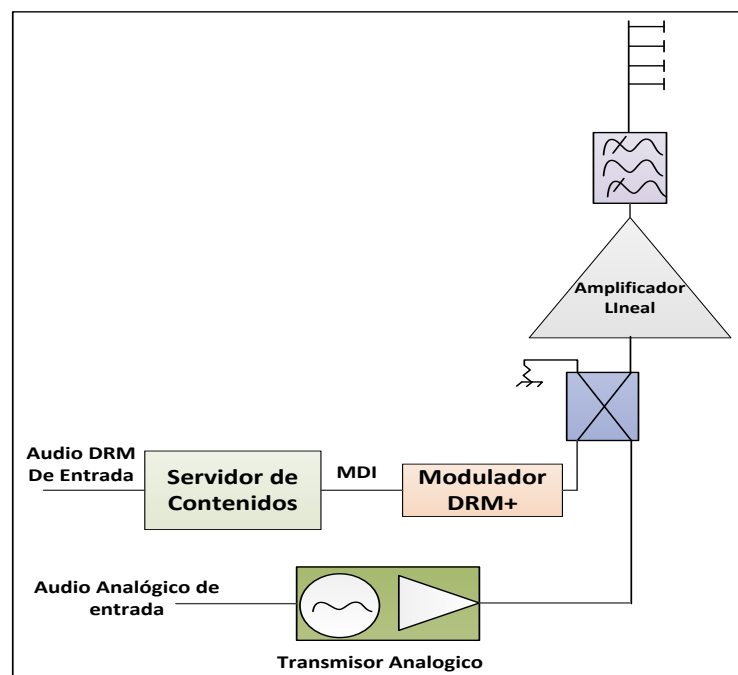


**Figura 78.** Combinación con antena de polarización circular. [17]

Desde el punto de vista del consumo de energía, estas son las arquitecturas más eficientes, ya que no existe pérdida de potencia por combinación; sin embargo, es necesario invertir en la adquisición de una nueva antena y que exista el suficiente espacio en el mástil para colocar dos antenas.

### c) Combinación de bajo nivel

Esta arquitectura permite combinar la señal de DRM+ y la señal de FM antes de la etapa de amplificación de potencia tal como se observa en la figura 79, el amplificador de potencia debe estar diseñado específicamente para combinar ambas señales sin generar productos de intermodulación en exceso. Dado que la combinación se realiza en la etapa de bajo nivel de potencia de las señales, las pérdidas de energía en el acoplador son mínimas, sin embargo, el amplificador tiene una baja eficiencia, lo que significa que existen pérdidas considerables en esta última etapa.



*Figura 79. Combinación de bajo nivel. [17]*

### e.3.2.5. Sistema De radiación

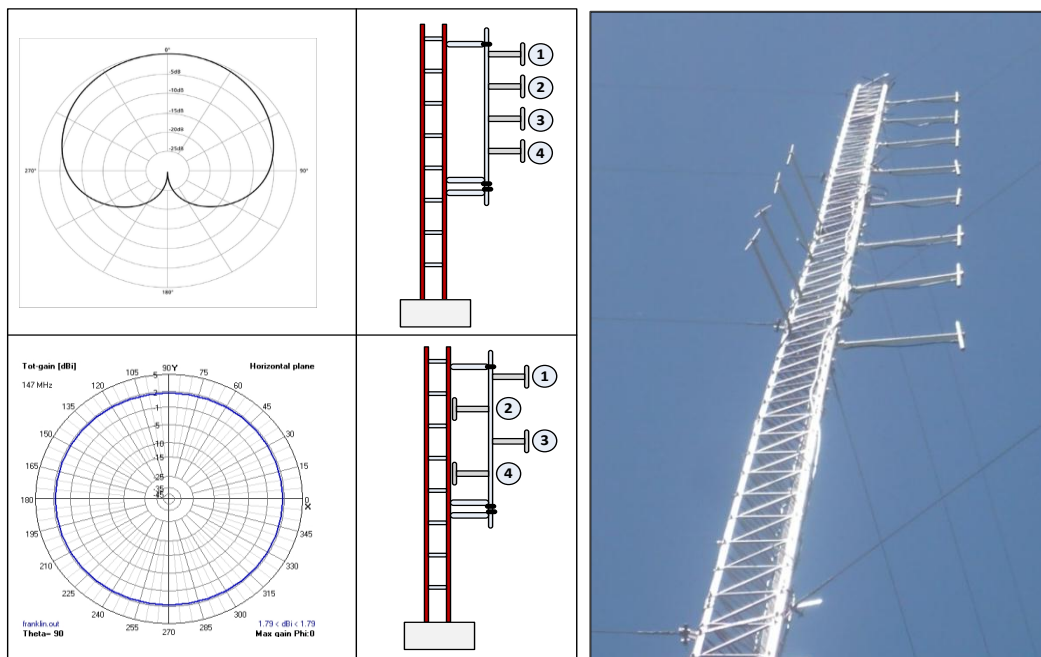
Los sistemas de radiodifusión necesitan abarcar una amplia zona de cobertura, lo que se consigue empleando transmisores de alta potencia junto con unos sistemas radiantes adaptados a ello. En su gran mayoría, los elementos de radiación se componen de diversas antenas básicas que se agrupan en configuraciones en Array para conformar un determinado diagrama de radiación, generalmente de tipo omnidireccional, y se colocan en torres de comunicaciones o mástiles elevados para conseguir buena visibilidad y grandes alcances.

### e.3.2.5.1. Antena para FM

Para el sistema digital DRM+ se puede usar antenas de dipolos, diseñadas especialmente para la transmisión de señales estéreo en frecuencia modulada y su diseño está basado en la técnica de suma de campos de los dipolos. En las estaciones de radio en la ciudad de Loja el sistema de radiación cuentan con las características para difundir hacia el público las señales digitales.

- **Antenas de arreglo lineal de dipolos**

Son antenas omnidireccionales de banda ancha donde un arreglo de dipolos presenta diferentes configuraciones de radiación, este tipo de antena permite por su radiación omnidireccional brindar grandes zonas de cobertura; en los gráficos de la figura 80 se observa el modelo de radiación de la antena dipolo de acuerdo a su posición.



*Figura 80. Modelo de radiación y posición de la antena. [6]*

### 3.2.5.2. Antenas DRM para Onda Media

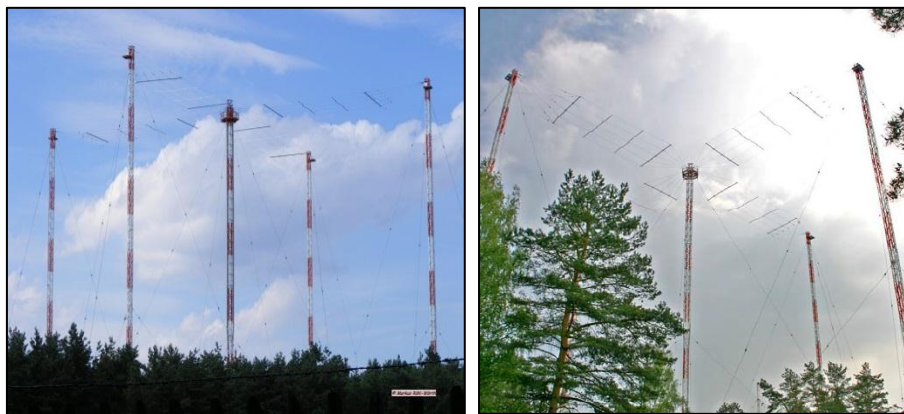
Las antenas MF generalmente se sintonizan a la frecuencia de servicio, a pesar de que en algunas instalaciones dos o más servicios pueden ser radiados de una antena común.



La configuración particular a usarse se determina por la zona de cobertura y por la forma de propagación (onda superficial). En antenas para la banda de onda media, el ancho de banda es el parámetro que permite evaluar una antena para los sistemas de radiodifusión digital por debajo de los 30 (MHz). [6, pág. 161-162]

El ancho de banda de una antena se considera como el rango de frecuencias dentro del cual tiene un desempeño satisfactorio; con parámetros como la ganancia y el patrón de radiación de una antena depende de la frecuencia; la relación de onda estacionaria VSWR se usa para describir el funcionamiento de una antena cuando se conecta a una línea de transmisión.

La antena que se puede utilizar para este sistema es la de MONOPOLO PLEGADO lo que actualmente algunas radiodifusoras en la ciudad de Loja utilizan, o los diseños que ofrecen algunas empresas como la TRANSRADIO que implementa un diseño de antena horizontal con dipolo cruzado para la radiodifusión de MF, tal como se muestra en la siguiente figura 81.

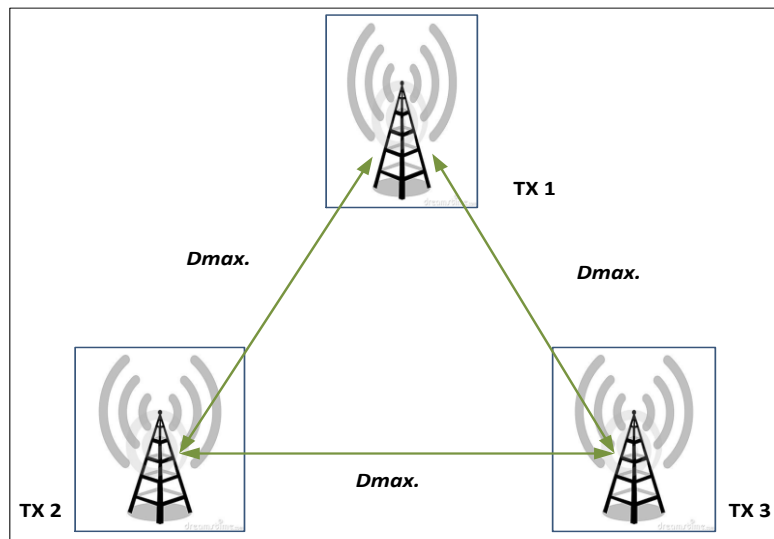


*Figura 81. Antena horizontal con dipolo cruzado desarrollado por la compañía TRANSRADIO.*

### **e.3.3. Máxima distancia de separación entre transmisores**

El uso de COFDM en los sistemas digitales, permiten el uso de repetidores digitales dentro del canal para cubrir las áreas donde la señal se pierde debido a las condiciones del terreno. Según la figura 82, la separación máxima teórica entre transmisores para evitar problemas de interferencia está determinada por la siguiente ecuación:

$$D_{max} = c(\text{velocidad de la Luz}) * \Delta (\text{Intervalo de guarda})$$



**Figura 82.** Distancia máxima entre estaciones de una red SFN.

Para la banda de radiodifusión DRM+ (FM) el intervalo de guarda es de 0,25ms, la distancia máxima de separación entre los transmisores será:

$$D_{max} = 3(10)^8 m/s * 0.25(10)^{-3} s$$

$$D_{max} = 75 Km$$

Para la banda de radiodifusión DRM30 (AM) el intervalo de guarda es de 2,66 ms, la distancia de máxima de separación entre los transmisores será:

$$D_{max} = 3(10)^8 m/s * 2.66(10)^{-3} s$$

$$D_{max} = 798 Km$$

## **f. RESULTADOS**

Los resultados obtenidos de este estudio están organizados alrededor de un objetivo establecido al inicio de la investigación. A continuación se presentará un análisis comparativo de los estándares digitales IBOC y DRM, en el cual se analiza cada uno de los parámetros técnicos con el fin de establecer las características más relevantes de cada estándar, para posteriormente determinar qué sistema digital se destaca como el más favorable para ser adoptado por las estaciones de radio de la ciudad de Loja.

### **f.1. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ESTÁNDARES DIGITALES IBOC Y DRM**

Uno de los objetivos del proyecto de tesis consiste en analizar y comparar las características técnicas y funcionales de los dos estándares de radiodifusión Digital IBOC y DRM. Dentro de esta comparación se establecieron ciertos parámetros básicos para su respectivo análisis tales como los aspectos: técnico, transición, regulatorio, y económico, que para este estudio son los más importantes por las implicaciones tecnológicas, económicas, que presenta la implementación de un nuevo estándar de radiodifusión sonora digital. Luego de considerar las características más relevantes de los sistemas digitales IBOC y DRM se procedió a realizar su análisis pertinente, los aspectos mencionados anteriormente se presentan posiblemente como los más relevantes por la importancia que tienen para el desarrollo del presente proyecto de tesis.

#### **f.1.1. Estándar Digital IBOC**

##### **f.1.1.1. Tecnología**

El sistema digital IBOC o tecnología HD Radio conocido así para su comercialización, es un estándar desarrollado por la empresa Ibiquity Digital Corporation y el único sistema digital de radiodifusión terrestre sonora autorizado en los Estados Unidos. Este estándar digital puede operar en las bandas AM, como en FM, su principal característica consiste en ser una tecnología híbrida, es decir, funciona en modo

analógico y modo digital de manera simultánea, en las mismas bandas donde operan actualmente las radiodifusoras, además el sistema IBOC en dichas bandas pueden ofrecer una mejor calidad de audio, multiplexing de hasta 4 canales digitales en el mismo espectro que ocupa una emisora análoga, servicios adicionales como texto o imágenes.

#### **f.1.1.2. Transición**

Dado que el sistema IBOC ocupan las mismas bandas de frecuencias de radio AM y FM, facilita el proceso de transición analógica al digital. El hecho de que el estándar IBOC puede funcionar en modo híbrido es una ventaja significativa de este sistema, ya que permite a los radioescuchas verse atraídos de los beneficios que brinda el sistema, tales como de no adquirir nuevos y costosos equipos receptores, al menos en el periodo de transición analógico al digital, por lo contrario, los que si deben hacer una inversión económica costosa son los radiodifusores ya que deberán realizar cambios en los equipos que se encuentran en el estudio y en el cuarto de transmisiones, e inclusive se deberán realizar nuevos ajustes en las antenas, estos cambios van a depender del modelo o arquitectura del sistema digital IBOC a implementar.

#### **f.1.1.3. Regulatorio**

En el aspecto regulatorio no hay que reorganizar el uso del espectro radiofónico, sino solo autorizar un nuevo uso de las frecuencias ya asignadas, siempre y cuando las radiodifusoras funcionen en modo Simulcast. Cuando las estaciones de radio tengan implementado un sistema totalmente digital si será obligatorio reorganizar las bandas de frecuencia mediante los organismos encargados de la regulación de las telecomunicaciones como la CONATEL, SENATEL y SUPERTEL que serían los encargados de establecer un nuevo plan de frecuencias que permita una adecuada asignación de frecuencias.

Además deberá existir una nueva reglamentación que permita regular adecuadamente el servicio de radio tales como, un nuevo tipo de programación, nuevos servicios e inclusive la interacción con el radioescucha entre otros.

#### f.1.1.4. Costo de Conversión del sistema Analógico al Digital

La implementación del sistema IBOC es accesible no por los costos económicos sino por la gran variedad de equipos que hay actualmente en el mercado, esto se debe a que la tecnología IBOC se encuentra fuertemente desarrollada en la parte de transmisión y recepción ya que hay fabricantes de equipos transmisores licenciados por Ibiquity para fabricar equipos de HD Radio. Dependiendo de los requerimientos de la estación de radio se podrá elegir el sistema de implementación IBOC, el costo para adoptar un nuevo sistema digital está sujeto a diversos factores, entre los cuales tenemos:

- La potencia de la estación de radio.
- En el caso de emisoras FM, que tipo de combinación use.
- En el caso de emisoras AM, los problemas con el ancho de banda de la antena.
- Si la estación radiodifusora cuenta con equipos modernos que cumplan con los requerimientos de IBOC.
- Si cuenta con espacio en las instalaciones para agregar nuevos equipos
- Si la emisora ya tiene estudios y enlaces digitales.

A continuación se detalla los precios referenciales de equipos IBOC, vale mencionar que actualmente la empresa Ibiquity otorgó licencia a 8 fabricantes importantes para el desarrollo de equipos con tecnología IBOC, y son las empresas: Broadcast Electronics (EEUU), Continental Electronics (EEUU), Harris (EEUU), Nautel (Canadá), Continental Lensa (Chile) y RVR (Italia), Electrónica (Italia) y Rhode y Schwarz (Alemania).

**Tabla 9.** Costos de equipos indispensables para el sistema de transmisión IBOC en FM

SISTEMA IBOC FM	Precio De Equipos IBOC				
	(500W)	(1KW)	(1,2 KW)	(10KW)	(25KW)
<b>Excitador FM IBOC</b>	\$ 24.000	\$ 24.000	\$ 24.000	\$ 24.000	\$ 24.000
<b>Transmisor</b>	\$ 3.570	\$ 4.630	\$ 6.720	\$ 43.000	\$ 48.000
<b>Procesador de Audio</b>	\$ 13.000	\$ 13.000	\$ 13.000	\$ 13.000	\$ 13.000
<b>Antena</b>	\$ 3.000	\$ 3.000	\$ 3.000	\$ 3.000	\$ 3.000
<b>Monitor de Modulación</b>	\$ 4.000	\$ 4.000	\$ 4.000	\$ 4.000	\$ 4.000
<b>Wattmetro</b>	\$ 4.000	\$ 4.000	\$ 4.000	\$ 4.000	\$ 4.000

<b>Enlace Digital</b>	\$ 18.000	\$ 18.000	\$ 18.000	\$ 18.000	\$ 18.000
<b>Convertidor A/D</b>	\$ 1.000	\$ 1.000	\$ 1.000	\$ 1.000	\$ 1.000
<b>Línea de transmisión</b>	\$ 5.000	\$ 5.000	\$ 5.000	\$ 5.000	\$ 5.000
<b>Extras</b>	\$ 18.000	\$ 18.000	\$ 18.000	\$ 18.000	\$ 18.000
<b>Total</b>	<b>\$ 93,570</b>	<b>\$ 94,630</b>	<b>\$ 97,720</b>	<b>\$ 134,000</b>	<b>\$ 139,000</b>

*Fuente: Las Ventajas de la Implementación de la Tecnología de HD Radio™ para la República Dominicana pág. 72-77. Autor: Ing John Schneider.*

**Tabla 10.** Costos de equipos indispensables para el sistema de transmisión IBOC en AM

SISTEMA IBOC AM	PRECIO		
	(1 – 1,5K W)	(10kW)	(25kW)
<b>Excitador AM IBOC</b>	\$ 24.000	\$ 30.00	\$ 30.000
<b>Transmisor</b>	\$ 13.500	\$ 35.00	\$ 48.000
<b>Procesador de Audio</b>	\$ 13.000	\$ 13.000	\$ 13.000
<b>Antena</b>	\$ 3.000	\$ 3.000	\$ 3.000
<b>Monitor de Modulación</b>	\$ 4.000	\$ 4.000	\$ 4.000
<b>Equipo auxiliares</b>	\$ 3.000	\$ 3.000	\$ 3.000
<b>Enlace Digital</b>	\$ 18.000	\$ 18.000	\$ 18.000
<b>Convertidor A/D</b>	\$ 1.000	\$ 1.000	\$ 1.000
<b>Línea de transmisión</b>	\$5.000	\$5.000	\$5.000
<b>Extras</b>	\$ 18.000	\$ 18.000	\$ 18.000
<b>Total</b>	<b>\$ 102.500</b>	<b>\$ 130.00 0</b>	<b>\$ 143.000</b>

*Fuente: Las Ventajas de la Implementación de la Tecnología de HD Radio™ para la República Dominicana pág. 72-77. Autor: Ing John Schneider.*

En las tablas 9 y 10 descritas anteriormente, se observa los precios promedios de los diversos equipos indispensables que conforman parte del sistema digital IBOC tanto para FM y AM, el precio varía según la potencia requerida del transmisor, el costo total de implementación del sistema digital fluctúa entre los \$93.570 a \$143,000. Actualmente en la ciudad de Loja la potencia de las radiodifusoras está en un valor promedio de 250w a 1.5kw por lo que el costo económico estaría entre los \$93,570 a \$102,500. Es importante señalar que iBiquity no negocia licencias con los radiodifusores y no cobra royalties a ellos, este es un gran malentendido que ha sido propagado por el Internet. Los únicos costos al radiodifusor son los costos de los propios equipos para la transmisión digital.


Algunos precios de equipos corresponden a las empresas Continental Lensa y Electro Hertz que corresponden a los países de Chile y México respectivamente, por lo que para nuestro país este costo puede diferir.

### f.1.1.5. Receptores

En la actualidad en el mercado existe gran variedad de modelos de receptores para este sistema, diseñados para el hogar, automóviles o portátiles. Los precios de algunos receptores oscilan entre \$ 90 dólares a \$500 acorde a las características del equipo, tal como se detalla en la tabla 11, acerca de los precios promedios que hay en el mercado acerca de los equipos receptores IBOC con sus respectivas características técnicas.

**Tabla 11. Modelos de Receptores IBOC**

Producto	Especificaciones
<p><b>Radi-osophy: HD100</b></p>  <p><b>Precio: \$ 99,00</b></p>	<p>Opera en las Bandas AM/FM</p> <p>Entrada: Mini-clavija de entrada AUX en el panel trasero para el reproductor de MP3, reproductor de CD externo o conectado a la tarjeta de sonido de su computador para audio de Internet.</p> <p>Salida: Mini-conector de 8 ohmios para auriculares. Esta entrada también puede ser utilizada para alimentar el HD de audio en un equipo estéreo.</p> <p>Blue Pantalla LCD: 2 líneas de desplazamiento o texto estático.</p>
<p><b>TEAC HD-1</b></p>  <p><b>Precio: \$ 130,00</b></p>	<p>Recepción de señales HD Radio AM / FM, color (Negro).</p> <p>Radio de mesa con dock y apoyo para Radio HD, para la carga y reproducción de contenido de música de los iPods.</p> <p>La radio HD ofrece apoyo para que los oyentes cuenten con información del artista y de los títulos en la pantalla de las aproximadamente 2.000 estaciones en el aire</p> <p>Gran pantalla LCD muestra el título de canción / artista.</p>
<p><b>Sony: CDX-GT700HD</b></p>  <p><b>Precio: \$ 129.95</b></p>	<p>Banda. AM/FM</p> <p>Potencia máxima de salida: 52 vatios x 4 a 4 ohmios.</p> <p>Impedancia del altavoz: 4-8 Ohms.</p> <p>Soporta los códecs de MP3 WMA y AAC.</p> <p>Tecnología de Pantalla LCD.</p> <p>Puerto USB frontal, Entrada AUX (frontal)</p>

<p><b>HD Jump</b></p>  <p><b>Precio: \$ 299,00</b></p>	<p>Multicast, disponibles para el hogar y vehículos</p> <p>Soporta banda : AM/ FM</p> <p>Soporta los códecs de MP3 WMA y AAC</p> <p>Pantalla monocromática que muestra en tiempo real de artista, título de canción, y la estación de la información.</p> <p>También viene con su propio muelle para montaje en el tablero.</p> <p>Presintonía: 6AM/ 12FM</p>
---	---

*Fuente: [http://www.ibiquity.com/hd\\_radio/hdradio\\_buy\\_an\\_hd\\_radio/hdradio\\_products#automotive\\_radios](http://www.ibiquity.com/hd_radio/hdradio_buy_an_hd_radio/hdradio_products#automotive_radios)*

Los dispositivos receptores están diseñados para recibir señales analógicas e inclusive puede ser utilizado por otros tipos de tecnología digital como los sistemas DRM y DAB. Las principales empresas que fabrican receptores con tecnología IBOC son: Alpine, Kenwood, Pioneer, JVC, Sony, Clarion, Jensen, Zune HD, Insignia, Gigaware, Cyde, Yamaha, Denon, Onkyo, Polk, Sangean, Sherwood.

## **f.1.2. Estándar Digital DRM**

### **f.1.2.1. Tecnología**

Radio Digital Mundial (DRM) fue desarrollado por el consorcio Digital Radio Mondiale, este consorcio sin fines de lucro se formó por radiodifusores, fabricantes de equipos, operadores de comunicaciones, instituciones de investigación y organismos reguladores que, en conjunto, crearon un sistema digital para las bandas de radiodifusión AM debajo de 30 MHz, y FM que opera en las bandas por debajo de los 120 MHz.

El sistema ocupa un ancho de banda de 100kHz, lo que permite el aumento del número de estaciones de radiodifusión dentro de la banda asignada para FM, debido a que cada emisión en FM ocupa un ancho de banda de 200kHz, teniendo en consideración que una emisión DRM puede contener 4 programas de audio diferentes. El estándar DRM se enfatiza por ser una tecnología libre y cualquiera puede hacer modificaciones al software para desarrollar aplicaciones para agregar nuevas funciones sin pedir permiso o pagar licencias.



### **f.1.2.2. Transición**

El sistema DRM opera en las bandas de frecuencias asignado para las radiodifusoras de AM (530 kHz a 1710 kHz), y FM (87.5 MHz a 108.0 MHz), y OC (2300-26100KHz) al igual que el sistema digital IBOC tiene la opción de ser una tecnología híbrida, lo que permite coexistir las transmisiones en formato analógico y en formato digital lo cual facilita la introducción de la radio digital en las actuales radiodifusoras. Los receptores analógicos seguirán funcionando cuando se implemente el estándar digital DRM, pero para utilizar al máximo las características del sistema DRM es necesario un receptor digital, ya que permite alcanzar una mejor calidad de audio y los servicios adicionales que ofrece el sistema.

La transición del sistema analógico al digital para las radiodifusoras será más costosa en comparación con el estándar IBOC, ya que se debe adquirir equipos más elevados en su costos e indispensables para realizar una implementación DRM, uno de los equipos necesarios es el servidor de contenidos que permite organizar los datos digitales, se encuentra en el mercado en un precio promedio de \$ 35,000 lo que incrementa el costo de implementación del sistema digital en las radiodifusoras analógicas. Mientras tanto para al radioescucha tiene el beneficio de no invertir en nuevos equipos receptores debido que el estándar DRM es una tecnología híbrida, más adelante se detalla precios promedios de los equipos de transmisión y recepción con tecnología DRM.

### **f.1.2.3. Regulatorio**

El estándar DRM al igual que el sistema IBOC en el aspecto regulatorio el proceso de transición es más flexible, debido que no hay que reorganizar el uso del espectro radiofónico, sino solo realizar la petición el nuevo uso de las frecuencias ya asignadas. Siempre y cuando las radiodifusoras funcionen en modo Simulcast. Cuando las radiodifusoras tengan implementado un sistema totalmente digital si será obligatorio reorganizar las bandas de frecuencia mediante los organismos encargados de la regulación de las telecomunicaciones como la CONATEL, SENATEL y SUPERTEL

que serían los encargados de establecer un nuevo plan de frecuencias que permita una adecuada asignación de frecuencias.

Además deberá existir una nueva reglamentación que permita regular adecuadamente el servicio de radio tales como, un nuevo tipo de programación, nuevos servicios e inclusive la interacción con el radio oyente entre otros.

#### **f.1.2.4. Costo de Conversión del sistema analógico al digital**

Esta tecnología es costosa debido a que existen pocas empresas que desarrollen estos tipos de dispositivos, por lo que es muy difícil que los operadores del servicio y los radioescuchas accedan al mismo, lo cual constituye una parte negativa al adoptar el estándar DRM. El costo económico para la implementación de los sistemas digitales (DRM e IBOC) van a depender del estado en que se encuentren las radiodifusoras, es decir, si los equipos que actualmente se utilizan en las radiodifusoras pueden ser reutilizados y se adaptan a las recomendaciones de los sistemas digitales, lo que permite que las radiodifusoras no adquieran nuevos equipos, dando como resultado una disminución de costos de implementación.

El costo para adoptar un nuevo sistema digital está sujeto a diversos factores, entre los cuales resumimos los siguientes:

- ✚ La potencia de la estación de radio.
- ✚ En el caso de emisoras FM, que tipo de combinación use.
- ✚ En el caso de emisoras AM, los problemas con el ancho de banda de la antena
- ✚ Si la estación radiodifusora cuenta con equipos modernos que cumplan con los requerimientos de DRM.
- ✚ Si cuenta con espacio en las instalaciones para agregar nuevos equipos
- ✚ Si la emisora ya tienen estudios y enlaces digitales.

Además vale recalcar la amplia gama de arquitecturas que se pueden utilizar para implementar el sistema DRM, lo cual es otro factor determinante para el costo de las emisiones digitales. A continuación se detalla precios promedios de algunos equipos básicos necesarios para iniciar transmisiones DRM/DRM+.

**Tabla 12.** Costos de equipos indispensables para el sistema de transmisión DRM/DRM+

Sistema DRM/DRM+	Precio			
	300w- 1kw	2,5kw	10kw	12kw
<b>Servidor de Contenido DRM</b>	\$ 35.600	\$ 35.600	\$ 35.600	\$ 35.600
<b>Modulador DRM</b>	\$ 33.000	\$ 33.000	\$ 33.000	\$ 33.000
<b>Transmisor DRM</b>	\$ 8.400	\$ 15.750	\$ 80.000	\$ 130.000
<b>DIAPASON-DRM sincronización GPS</b>	\$ 4.220	\$ 4.220	\$ 4.220	\$ 4.220
<b>Antenas de transmisión</b>	\$3.000	\$3.000	\$4.000	\$4.000
<b>Enlace Digital</b>	\$18.000	\$18.000	\$18.000	\$18.000
<b>Líneas de Transmisión</b>	\$5.000	\$5.000	\$5.000	\$5.000
<b>Extras</b>	\$ 15.000	\$ 15.000	\$ 15.000	\$ 15.000
<b>Total</b>	<b>\$ 122.220</b>	<b>\$ 129.570</b>	<b>\$ 194.820</b>	<b>\$ 244.820</b>

*Fuente: Original*

En la tabla 12, se detalla los precios referenciales de equipos que conforman el sistema DRM/DRM+ tanto para FM y AM, el precio varía según la potencia requerida del transmisor, el costo total para la implementación del sistema DRM fluctúa entre los \$122.220,000 a \$244.820,00. Actualmente en la ciudad de Loja la potencia de las radiodifusoras está en un valor promedio de 250w a 1.5kw por lo que el costo económico estaría entre los \$122,220 a \$129,570.

#### **f.1.2.5. Receptores**

En la actualidad en el mercado existen pocos modelos de receptores para este sistema, diseñados para el hogar, automóviles o portátiles, debido a que este estándar apareció recientemente. Los precios de algunos receptores oscilan entre \$ 182 dólares a \$500 o más dólares, dependiendo de las características del equipo receptor, tal como se detalla en la tabla 13, los precios promedios equipos receptores DRM con sus respectivas características técnicas.

**Tabla 13. Receptores con tecnología DRM**

Producto	Características
<p><b>Uniwave Di-Wave 100</b></p>  <p><b>Precio: \$454,00</b></p>	<p>Ofrece todas las funciones de radio digital multimedia como por ejemplo el nombre de la emisora, la información del programa, presentación de diapositivas ITV y variación en tiempo de escucha.</p> <p>La radio puede recibir emisiones de DRM en SW, MW y LW, así como también en radio FM analógica.</p> <p>El receptor también tiene un puerto USB / SD-lector y reproducción MP3/MP4</p>
<p><b>Starwaves Box Car</b></p>  <p><b>Precio: \$454,00</b></p>	<p>Es un conversor para vehículos y embarcaciones que funcionan con el estándar DRM, pueden además recibir la onda analógica en onda corta, mediana o larga.</p> <p>Permite la recepción DRM y DAB</p> <p>Puerto USB para servicio de datos y actualizaciones</p>
<p><b>Morphy Richards 27024</b></p>  <p><b>Precio: \$182,00</b></p>	<p>Recepción: DRM</p> <p>3 bandas de Radio DAB &amp; banda L</p> <p>Slot para tarjetas SD</p> <p>Conexión para MP3/iPod</p> <p>Pantalla LCD</p>
<p><b>TechniSat MultyRadio</b></p>  <p><b>Precio: \$ 531,356</b></p>	<p>Recepción: DRM/ DAB (Banda III)/AM/FM</p> <p>Soporta tarjetas MMC / SD tarjetas de memoria</p> <p>Soporta EPG DAB</p> <p>Reproduce archivos MP3 y WMA</p> <p>MP2 grabación y reproducción de tarjetas SD / MMC</p> <p>DRM: A, B, C, D modos</p> <p>Pantalla LCD: Fondo azul / texto blanco, 128 x 64 píxeles.</p>
<p><b>Delphi's DRM car radio</b></p>  <p><b>Precio: \$ 500</b></p>	<p>Es un nuevo dispositivo que puede recibir señales analógicas: AM/FM, y DRM.</p> <p>Incorpora un nuevo chip NXP, que es un decodificador universal de radio digital que permite la recepción de señales DAB / DAB +, DRM / DRM + y recepción de HD Radio.</p>

Fuente: Original

Los receptores que existen actualmente en el mercado tienen la característica de soportar los dos modos de transmisión tanto analógica como digital. Los dispositivos

serán bastante costosos en un inicio pero con el pasar del tiempo, cuando se difunda un poco más el estándar y la producción de receptores se realice a gran escala, los precios se reducirán notablemente, e inclusive estudiantes de universidades Europeas están desarrollando prototipos de receptores digitales que cumplen con las recomendaciones DRM, cuyo valor económico es de 25 euros.

## f.2. CUADRO COMPARATIVO DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DEL SISTEMA IBOC – DRM

Los estándares de radiodifusión sonora digital IBOC y DRM presentan algunos parámetros similares y otras que generan diferencia entre ellos. Entre las condiciones técnicas similares tenemos el sistema de transmisión al utilizar la técnica de modulaciones COFDM que brinda condiciones especiales para la recepción de las señales en entornos complejos y sumados a las condiciones propias del terreno.

El estándar americano IBOC y el europeo DRM en la modalidad AM y FM ofrecen la posibilidad de funcionamiento en modo híbrido entre la tradicional tecnología analógica y la digitalización de la red para facilitar la transición de la radiodifusión; la tabla 14 se observa la comparación de los parámetros técnicos entre los sistemas digitales IBOC y DRM, dando como resultado las características más relevantes de cada tecnología y las diferencias existentes de cada uno de los estándares.

**Tabla 14.** Comparación de los estándares de transmisión IBOC y DRM

Parámetros	IBOC		DRM	
	IBOC AM	IBOC FM	DRM30	DRM+
<b>Bandas de Frecuencia</b>	AM: 530 kHz a 1710 kHz	FM: 87.5 MHz a 108.0 MHz	AM: 530 kHz a 1710 kHz	FM: 87.5 MHz a 108.0 MHz
<b>Ancho de Banda</b>	Modo Híbrido 30kHz Totalmente Digital 20kHz	Modo Híbrido, Modo Híbrido mejorado y totalmente digital 400KHz	4.5 KHz, 5KHz, 10KHz, 20kHz	96kHz

<b>Capacidad de Trasmisión</b>	20-40 Kbps Permite la multidifusión	96kbps Permite la multidifusión de programas	4.8 kbps - 72kbps Permite la multidifusión de programas	35 kbps -185 kbps Permite la multidifusión programas
<b>Método de Codificación de Audio</b>	HE-AAC	HE-AAC	AAC, AC3, CELP y HVXC.	AAC, AC3, CELP y HVXC.
<b>Codificación de Canal</b>	COFDM	COFDM	COFDM	COFDM
<b>Calidad de Audio Digital</b>	Calidad FM, mono-estéreo	Calidad CD, mono-estéreo	Calidad FM, mono-estéreo	Calidad CD, mono-estéreo
<b>Multiservicio</b>	1 servicio de audio y otro servicio de datos	3 servicios: audio , datos a tasas ajustables	Hasta 4, audio, datos a tasas ajustables	Hasta 4, audio, datos a tasas ajustables
<b>Estandar</b>	Propietario	Propietario	Abierto	Abierto
<b>Infraestructura</b>	Sitios AM	Sitios FM	Sitios AM	Sitios FM
<b>Receptores</b>	si	si	Si	si
<b>En Funcionamiento</b>	si	si	Si	Prueba
<b>Terrestre</b>	si	si	si	si
<b>Capacidad Híbrida</b>	si	si	si	si

*Fuente: Original*

## **f.2.1. Análisis del cuadro de parámetros de los sistemas digitales**

### **f.2.1.1. Banda de Frecuencia**

En Ecuador el Consejo Nacional de Telecomunicaciones CONATEL, a través de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones, dispone el Plan Nacional de Frecuencias, herramienta imprescindible que permite ejecutar una gestión eficiente del Espectro radioeléctrico, dentro del plan nacional de frecuencias se encuentran establecidas las bandas de frecuencia donde las estaciones de radio pueden operar y son las siguientes:

- ✚ Banda AM 530KHz-1700KHz
- ✚ Banda FM 88 - 108 MHz
- ✚ Banda OC 3220 - 5965 KHz

De acuerdo a las frecuencias propuestas en la tabla 16, para los sistemas IBOC y DRM y las bandas de frecuencias mencionadas anteriormente, se puede determinar que si es posible una futura adopción de los estándares de radiodifusión sonora digital IBOC y DRM, debido a que operan en las bandas ya establecidas para los servicios de radiodifusión sonora.

#### **f.2.1.2. Ancho de Banda**

El ancho de banda establecido en el plan nacional de frecuencias para las transmisiones de AM como para FM son las siguientes:

- FM ancho de banda de 200 KHz,
- AM ancho de banda de 10kHz

De acuerdo a lo establecido por la CONATEL, las señales de los sistemas digitales IBOC y DRM se apegan a los anchos de banda ya asignadas para las estaciones de radio, a pesar de que el sistema IBOC en modo híbrido AM opera fuera del rango del ancho de banda asignado lo que se solaparían con los canales adyacentes sería un gran inconveniente al implementarlo. Cabe mencionar que el sistema DRM+ ocupa un ancho de banda de 96kHz para FM, permitiendo una transmisión multicanal, donde se requiere el uso de un canal independiente para la transmisión de la señal digital. De tal forma que el sistema digital DRM se convierte en una gran ventaja al adoptarlo como estándar digital en comparación con el sistema IBOC.

#### **f.2.1.3. Capacidad de transmisión**

Los sistemas digitales tienen la capacidad de adicionar servicios de datos a las señales de audio que actualmente transmiten las radiodifusoras analógicas, la transmisión de servicios de datos se realizan a distintas velocidades de transmisión

dependiendo del estándar digital que se adopte. La calidad de audio ofrecida por las radiodifusoras depende la cantidad de servicios (audio o datos) que se puedan emitir.

Las velocidades de transmisión de los sistemas digitales dependen de características de transmisión que se empleen en el sistema tales como; el modo de robustez, tipo de modulación, codificación, ancho de banda, y del modo de servicio en el caso de IBOC. El sistema DRM ofrece a las radiodifusoras mayores velocidades de transmisión en las dos bandas de frecuencias para FM y AM en comparación con el estándar digital IBOC, además el sistema IBOC ofrece como máximo transmitir tres programas diferentes (audio o datos) dentro del mismo canal de transmisión.

#### **f.2.1.4. Método de codificación de Audio**

Tal como se observa en la tabla 14, los métodos de codificación que utilizan los estándares IBOC y DRM tienen cierta similitud HE-AAC y ofrecen una mayor velocidad de transmisión y una buena calidad de audio. Además el sistema DRM utiliza codificadores CELP y HVXC que son exclusivamente para la voz y funcionan a bajas tasas de transmisión.

#### **f.2.1.5. Codificación de Canal**

La codificación de canal es el proceso encargado de introducir información redundante a la secuencia de información para obtener una transmisión libre de errores para lograr una confiabilidad de los datos recibidos y mejorar la fidelidad de la señal recibida y así permitir al receptor superar los efectos de ruido e interferencias que se introduce en el canal. Los estándares de radiodifusión sonora digital IBOC y DRM utilizan el mismo método COFDM, este sistema de codificación ofrece grandes ventajas a los sistemas digitales.

#### **f.2.1.6. Calidad de Audio Digital**

La calidad de audio digital es una gran mejoría que ofrecen los sistemas de radiodifusión digital a los radioescuchas, permite oír una gran calidad de audio en



comparación con los sistemas de radiodifusión analógica, e inclusive dentro de la transmisión se puede añadir datos, lo que forman una señal robusta de información. Los sistemas de radiodifusión digital IBOC y DRM, en transmisiones digitales de AM se obtiene una calidad de audio igual a la del sistema FM analógico actual y para las transmisiones digitales de FM, se obtiene una calidad de audio igual a la de un CD actual.

#### **f.2.1.7. Multiservicio**

Una de las grandes ventajas de los sistemas IBOC y DRM es la capacidad de transmitir datos que pueden estar o no relacionados con el servicio de audio. El sistema IBOC en AM es posible transmitir un solo servicio de audio agregado un servicio de datos, mientras tanto en el sistema IBOC FM es posible transmitir dos o más programas simultáneamente a través de las función multicasting, este proceso permite la división de los datos dedicados al audio para entregar programas múltiples al oyente en la misma frecuencia y con el mismo transmisor. De tal forma cuando el receptor capta una señal digital va a mostrar todos los programas transmitidos para que el oyente tenga la opción de elegir el programa que desee.

El sistema DRM es capaz de transmitir hasta cuatro servicios de audio o datos independientes (dentro del mismo canal), y los receptores están diseñados para permitir al usuario la sintonización de servicios de AM y FM analógicos. En el caso del estándar IBOC se requiere adicionar un servicio extra a lo que se encuentra ya establecido en una radiodifusora con este sistema digital es necesario realizar un pago extra, lo cual se convierte en una desventaja en comparación con DRM.

#### **f.2.1.8. Estandar**

El sistema IBOC es un estándar aprobado por la Comisión Federal de Comunicaciones como el único sistema autorizado de Radiodifusión Sonora Digital de AM y FM en los Estados Unidos y desarrollado por la empresa Ibiquity Digital Corporation. Para el uso de la tecnología IBOC se requiere el pago de licencias necesarias para el desarrollo de la tecnología ya que la tecnología IBOC es propiedad de Ibiquity. Por lo contrario el estándar DRM se destaca por ser una tecnología libre lo que permite realizar

modificaciones a las aplicaciones acorde a la necesidad de las radiodifusoras y además los fabricantes de equipos de radiodifusión no deben pagar patentes para poder desarrollar este tipo de tecnología. Lo que el estándar DRM se convierte en una gran ventaja que proporciona a las radiodifusoras en comparación con el sistema IBOC.

#### **f.2.1.9. Infraestructura**

Los sistemas radiodifusión digital IBOC y DRM operan en las mismas bandas de frecuencias asignadas para la transmisión de AM y FM, lo que permite que los estándares digitales realicen pequeñas adecuaciones en la infraestructura existente de las radiodifusoras. Lo que si deberán es adquirir algunos equipos digitales que se encuentren en el cuarto de transmisiones (transmisor, excitador entre otros), o en la matriz de estudio (consola, amplificadores etc.), y además deberán realizar algunos acoples en las antenas dependiendo de la tecnología digital que adopten.

Los radiodifusoras deberán realizar fuertes inversiones económicas para la implementación de la radio digital; el costo de reemplazar los antiguos equipos analógicos se verá compensado por mayores ingresos por concepto de la publicidad y servicios de valor agregado.

#### **f.2.1.10. Receptores**

Actualmente en el mercado existen varios modelos de receptores para los radioescuchas, hay diseños tanto para el hogar, automóviles y portátiles. Realizando una comparación de costos de receptores en el mercado para cada uno de los estándares de radio digital estudiados, se determina que los dispositivos de recepción del sistema IBOC son los más económicos comparados con los dispositivos DRM. E inclusive los receptores IBOC prestan más beneficios al radioescucha. En la tabla 15, se realiza el proceso de comparación de los receptores de estándar digital con los más bajos costos que actualmente existe en mercado y con características similares.

**Tabla 15. Costo Comparativo de receptores de radio digital**

Estándar IBOC		
Diseño	Modelo	Precio
Hogar	Radi-Osophy- HD100	\$ 99,00
Portátil	TEAC HD-1	\$ 130,00
Automóvil	Sony: CDX-GT700HD	\$ 129.95
Estándar DRM		
Diseño	Modelo	Precio
Hogar	Morphy Richards 7024	\$ 182,00
Portátil	Starwaves TruckBox	\$ 454,00
Automóvil	Delphi's DRM	\$500,00

*Fuente: Original*

#### **f.2.1.11. Funcionamiento**

Los estándares digitales IBOC y DRM internacionalmente se encuentran implementados y en etapas de pruebas. De acuerdo a lo analizado en el capítulo de revisión de literatura el sistema DRM es el que más aceptación tiene a nivel mundial por lo que está encaminado hacer la tecnología digital que revolucione el mundo de la radiodifusión en la actualidad. E inclusive en Ecuador están avanzadas las posibilidades de adoptar como sistema digital al estándar DRM.

#### **f.2.1.12. Capacidad Híbrida**

Los dos estándares digitales tienen la gran ventaja de ser una tecnología híbrida, ya que permite la transmisión simultánea de analógico y digital, permitiendo a los receptores actuales seguir funcionando cuando ya se adopte un sistema digital, o viceversa, cuando se adquiera un nuevo receptor digital se podrá escuchar transmisiones analógicas e inclusive se puede alcanzar una mejor calidad de audio aprovechando al máximo los sistemas digitales. Este parámetro facilita a los sistemas el proceso de transición desde la radiodifusión sonora analógica a radiodifusión sonora digital.

## **g. DISCUSIÓN**

Esta investigación tuvo como propósito determinar el estándar de radiodifusión sonora digital más factible técnica y económicamente para una posible implementación en las estaciones de radio de Loja a través de un análisis comparativo de los estándares de radiodifusión digital terrestre IBOC (canal dentro de banda) y el DRM (radio digital mundial). En el desarrollo de la investigación se analizaron los parámetros técnicos de los estándares digitales para luego realizar la evaluación respectiva de cada uno de ellos. A continuación, se estarán discutiendo los principales hallazgos de este estudio.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la investigación se puede determinar las ventajas y desventajas que se formulan con la finalidad de estudiar la viabilidad que representa la elección del estándar digital que es el centro de estudio del presente proyecto de tesis, y además se establece un cuadro evaluativo donde se evaluarán los parámetros de los estándares digitales, con la finalidad de discutir cuál de los sistemas digitales se puede emplear en la ciudad de Loja.

### **g.1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS DIGITALES**

#### **g.1.1. Ventajas IBOC**

- En el aspecto regulatorio las estaciones de radio no tendrán que reorganizar el espectro radioeléctrico, si no realizar una petición a la CONATEL para el nuevo uso de las frecuencias siempre cuando funcione en modo Simulcast.
- El sistema permite una transición pausada de la radiodifusión analógica a la radiodifusión digital, gracias a que es una tecnología híbrida que permite la transmisión simultánea de las señales analógica y digital dentro del canal asignado para la señal analógica.
- El sistema digital IBOC permite que los equipos receptores analógicos no se vuelvan obsoletos, gracias a los modos de operación que ofrece el sistema digital.

- Las estaciones de radio podrán continuar usando la misma infraestructura lo cual minimiza costos de conversión.
- Ofrece servicio de mensajes multimedia, información del tráfico, estado del tiempo, imágenes, programa de entrevistas, de entretenimiento, publicidad o anuncios entre otros asimismo provee información sobre la estación donde se incluye número de identificación de la estación, nombre de la estación, posición de la estación, y mensajes de texto arbitrarios que envía la estación como logotipo, número de teléfono.
- La tecnología IBOC fue diseñada para cumplir las nuevas demandas del consumidor y modernizar la radio tradicional, construyendo una estructura digital nueva y plenamente compatible alrededor de la señal análoga ya existente.
- Las emisoras pueden implementar las características nuevas buscadas por los oyentes más exigentes, sin perturbar la base existente de sus radioyentes satisfechas con sus transmisiones análogas.
- Ofrece el modo de funcionamiento totalmente digital donde se suprime la señal analógica existente con el fin de optimizar el funcionamiento con interferencia de canal adyacente. Posteriormente cuando la mayoría de los oyentes adquieran los receptores digitales, la tecnología les va a permitir a las emisoras aumentar la cantidad de datos transmitidos, mayor cantidad de programas y nuevos servicios de datos.
- La radiodifusión digital ya se encuentra ampliamente instalada en los Estados Unidos, con más de 2,000 emisoras al aire y 3 millones de receptores de IBOC vendidos.

#### **g.1.2. Desventajas IBOC**

- IBOC es una tecnología propietaria por lo cual los fabricantes de equipos deben pagar una licencia a Iqity para poder usar la tecnología.

- Para poder transmitir más señales digitales u ofrecer servicios adicionales los operadores del servicio de radiodifusión sonora tienen que comprar licencias adicionales.
- El sistema digital IBOC es un sistema limitado en la capacidad de datos que puede transmitir en comparación con los otros sistemas de radiodifusión sonora digital.

### **g.1.3. Ventajas del Estándar DRM**

- La principal ventaja del sistema DRM es que es un estándar libre. Es decir que las radiodifusoras pueden hacer libre uso del estándar y modificar el software para desarrollar aplicaciones que permitan adicionar nuevas funciones sin pagar una licencia.
- El estándar DRM es una tecnología híbrida que ofrece a las radiodifusoras que se transmitan simultáneamente las señales analógicas y digitales.
- La infraestructura actual de las estaciones de radio pueden ser reutilizado para la transmisión de servicios digitales. Lo que permite disminuir costos para los operadores del servicio.
- El sistema opera sobre todas las bandas de frecuencia del servicio de radiodifusión sonora asignadas por la CONATEL, lo cual permite que no se requiera usar espectro radioeléctrico para su implementación.
- Tiene probablemente el más eficiente sistema de codificación de audio de todos los sistemas de radio digital, MPEG-4 AAC
- El sistema DRM tiene la capacidad para transportar audio y datos con la posibilidad de ajustar el intercambio entre la calidad de audio, capacidad de datos y robustez de las señales.

- Existen varias arquitecturas del sistema DRM para poder implementar en las radiodifusoras.
- Tienen la capacidad de transmitir hasta cuatro servicios de audio o datos dentro del en el mismo canal, a través de las función multicasting.
- Los receptores son compatibles con otros estándares de radiodifusión digital como IBOC y DAB.

#### **g.1.4. Desventajas Estándar DRM**

- A pesar de ser una tecnología híbrida y libre, los equipos receptores de DRM son altamente costosos respecto de los equipos receptores de otras tecnologías y además de ser muy escasos en el mercado.
- La implementación de este sistema es muy costosa debido al precio elevado de los equipos que actualmente existen en el mercado mundial.

#### **g.2. EVALUACIÓN DE PARÁMETROS**

Una vez realizado el análisis comparativo técnico de los estándares de radiodifusión sonora digital, se procede a realizar la evaluación de los parámetros analizados anteriormente según nuestro criterio, además se incluye algunos criterios de evaluación propuestos por la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT R BS1514-1, una vez realizado el proceso de evaluación se podrá determinar cuál de los dos estándares digitales es más factible para una posible implementación en la ciudad de Loja.

Vale mencionar que para implementar un sistema digital en las estaciones de radio en la ciudad de Loja deberán tener un estudio previo sobre el estado actual de cada una de las emisoras, de tal forma que se establezca las características de los equipos, antenas que se utilizan para la difusión y para los radioenlaces, para comprobar si son

compatibles con el nuevo sistema digital que se adopte; de acuerdo al resultado del estudio se determinara el modelo o arquitectura digital que utilicen las radiodifusoras.

Los parámetros evaluados según nuestro criterio e incluidos los sugeridos por la ITU son los siguientes:

- ✚ Aspecto regulatorio
- ✚ Utilización eficaz del espectro
- ✚ Calidad de audio y Método de Codificación
- ✚ Multiservicio
- ✚ Capacidad de transmisión
- ✚ Capacidad Híbrida
- ✚ Compatibilidad con los transmisores nuevos y existentes
- ✚ Adquisición de Receptor
- ✚ Costo Receptor
- ✚ Costo de conversión
- ✚ Estándar
- ✚ Funcionamiento de la red a una sola frecuencia
- ✚ Interferencia
- ✚ Sintonía rápida y adquisición del canal
- ✚ Norma única

### **g.2.1. Aspecto regulatorio**

Este parámetro determina si el sistema digital opera en las mismas bandas de frecuencias asignadas a las radiodifusoras actualmente y no tienen que realizar un reajuste en el uso del espectro radioeléctrico, por lo contrario, solo deberán realizar la petición para que autorice el nuevo uso de las frecuencias.

### **g.2.2. Utilización eficaz del espectro**

El sistema debe utilizar el espectro radioeléctrico de manera más eficiente que los servicios analógicos existentes. Un sistema más eficiente desde el punto de vista de la utilización del espectro deberá proporcionar una calidad equivalente con una anchura de banda inferior o una mejor calidad para la misma anchura de banda.



### **g.2.3. Calidad de audio y Método de codificación**

El sistema digital debe ofrecer al oyente una señal de audio codificada sin ruido ni otros problemas de transmisión.

### **g.2.4. Multiservicio**

Es la capacidad para prestar servicios de datos adicionales junto con los servicios de audio o en vez de los mismos. Tales servicios de datos pueden estar relacionados o no con el servicio de audio, ocupando el ancho de banda asignado.

### **g.2.5. Capacidad de Transmisión**

Los sistemas de radiodifusión sonora digital tienen la capacidad de ofrecer múltiples servicios de datos a los oyentes y lo realizan a diferentes velocidades de transmisión.

### **g.2.6. Capacidad Híbrida**

Este parámetro permite ver si los sistemas digitales tienen la capacidad de una transmisión simultánea de señales tanto analógicas y digitales.

### **g.2.7. Compatibilidad con los transmisores nuevos y existentes**

Capacidad para transmitir eficazmente las señales del sistema utilizando:

- Las combinaciones de transmisor y antena actualmente disponibles sin necesidad de modificar los equipos o con una modificación muy pequeña.
- Los equipos de transmisor y de antena específicamente diseñados para transmitir esas señales analógicas y digitales
- El sistema debe ofrecer a las radiodifusoras los nuevos servicios digitales utilizando su planta de radiodifusión analógica existente.

### **g.2.8. Adquisición de Receptor fijo**

Este parámetro permite tener en cuenta si hay una gran variedad de modelos de receptores en el mercado de cada uno de los estándares digitales que satisfagan con la necesidad del oyente y exista una gran facilidad de adquirirlos.

#### **g.2.9. Costo de Receptor fijo**

Deben considerarse las posibilidades de los receptores básicos y avanzados se puedan adquirir por parte de los oyentes. El costo del receptor está relacionado evidentemente con otros criterios; será preciso realizar una estimación aproximada del costo para cada criterio y variante.

#### **g.2.10. Costo de conversión del sistema Analógico al sistema Digital**

El parámetro de costo de conversión, es la inversión económica que deberán realizar las radiodifusoras al implementar un sistema de radiodifusión digital. Dependiendo del modelo o arquitectura que se utilice de los sistemas digitales se podrá tener en cuenta los equipos analógicos existentes y solo se deberá agregar pocos elementos digitales.

#### **g.2.11. Estándar**

Se debe considerar si los estándares digitales permiten a las estaciones de radio hacer un libre uso del sistema digital y realizar modificaciones al software para añadir nuevas aplicaciones, además si los estándares digitales ofrecen servicios adicionales sin que implique un pago extra a la inversión realizada.

#### **g.2.12. Funcionamiento de la red a una sola frecuencia**

Debe evaluarse la capacidad de cualquier nuevo sistema para funcionar como una red a una sola frecuencia. Muchos organismos de radiodifusión lo consideran una característica muy conveniente.

#### **g.2.13. Interferencia**

Calidad subjetiva y objetiva de la señal de audio proporcionada por el sistema cuando funciona con interferencia cocanal y/o de canal adyacente procedente de fuente digital o analógica. Debe tenerse en cuenta la capacidad de la señal para superar la interferencia en sus propias zonas de servicio y su tendencia a provocar interferencia a otras emisiones de radiodifusión fuera de esas zonas.

#### **g.2.14. Sintonía rápida y adquisición de canal**

Los radioescuchas están enseñados a que no haya ningún retardo, o éste sea muy pequeño, cuando encienden o sintonizan un receptor radiofónico. Por lo tanto, en el diseño del sistema se debe considerar:

- ✚ La facilidad con la que el oyente puede seleccionar la estación o señal deseada.
- ✚ La velocidad para reconocer una petición de selección o de cambio de canal.
- ✚ La velocidad para adquirir la señal de audio.

#### **g.2.15. Norma única**

Es comúnmente aceptado el hecho de que todos los sistemas se beneficiarán de la utilización de parámetros optimizados para distintas bandas de frecuencias o en diferentes condiciones de propagación; onda de superficie y onda ionosférica, por ejemplo.

Sin embargo, una norma única deberá:

- ✚ Utilizar los mismos bloques básicos fundamentales (por ejemplo, sistema de codificación de audio), aunque con parámetros de funcionamiento potencialmente distintos (por ejemplo, velocidad binaria) para diferentes circunstancias de propagación;
- ✚ Permitir el diseño de un receptor que admita automáticamente todos los modos de funcionamiento sin que sea necesario duplicar los dispositivos del mismo.

A continuación se realiza la evaluación de los parámetros de los estándares de radiodifusión sonora digital, donde a cada parámetro se le asigna un valor fijo de acuerdo a la importancia que mas sobresalga entre los dos estándares según nuestro criterio.

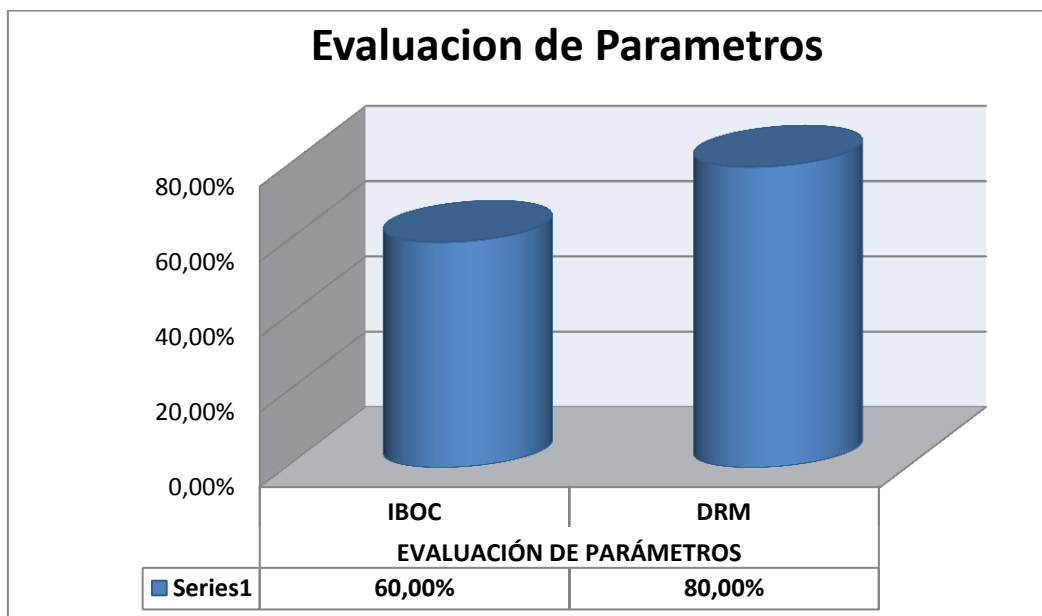
**Tabla 16.** Evaluación de los sistemas digitales

Evaluación de Parámetros			
	Parámetros	IBOC	DRM
1	Aspecto Regulatorio		
2	Utilización eficaz del Espectro		
3	Calidad de audio		
4	Multiservicio		
5	Capacidad Híbrida		
6	Capacidad de Transmisión		
7	Compatibilidad con los transmisores nuevos y existentes		
8	Adquisición de Receptor fijo		
9	Costo Receptor fijo		
10	Costo de conversión Analógico al sistema digital		
11	Estándar		
12	Funcionamiento de la red a una sola frecuencia		
13	Interferencia		
14	Sintonía rápida y adquisición del canal		
15	Norma Única		
<b>Total</b>		<b>60%</b>	<b>80%</b>

*Fuente: Original*

De los 15 parámetros evaluados a los dos estándares digitales, el sistema DRM satisface con la mayoría de características técnicas requeridas, aportando con 12 parámetros favorables que nos da un porcentaje de **80 %** del 100%, mientras tanto el sistema IBOC cumple con 9 parámetros dando un porcentaje del **60%**. Los porcentajes obtenidos de la evaluación de los parámetros nos da la pauta de que el estándar digital DRM se acopla más a las cualidades de las radiodifusoras de la ciudad de Loja, en comparación con el sistema IBOC. De tal manera que, es beneficioso la utilización del estándar DRM para la comunidad, puesto que la transición de las transmisiones analógicas en FM y AM al nuevo sistema digital, los receptores DRM podrán recibir tanto transmisiones analógicas como digitales y los receptores existentes podrán seguir recibiendo transmisiones analógicas, por lo que los receptores

digitales AM tendrán capacidad para sintonizar dinámicamente la frecuencia del canal óptimo de un determinado programa, de tal modo que si el programa desaparece gradualmente en su frecuencia primaria o sufre interferencias, el receptor podrá sintonizar otro canal del mismo programa, sin interrupción audible. Lo que presupone que es más conveniente para las bandas de frecuencia AM y FM, por el grado estándar que otorga, esto no solo para los dueños de las radiodifusoras sino principalmente para la comunidad en general que necesita por derecho un medio de comunicación de calidad y eficiencia. En la figura 83, se observa la evaluación de los parámetros técnicos de los estándares digitales expresado en una gráfica de porcentajes.



*Figura 83. Evaluación de parámetros de los estándares digitales IBOC y DRM*

### **g.3. PROPUESTA DEL ESTÁNDAR DIGITAL PARA LAS RADIODIFUSORAS EN LA CIUDAD DE LOJA**

Tomando como referencia el estudio de cada uno de los estándares digitales descrito en capítulos anteriores, más el análisis comparativo técnico de los estándares digitales IBOC y DRM y en base a nuestro criterio se determina que la mejor opción para la implementación de las estaciones de radio de la ciudad de Loja es el estándar digital DRM. Hay que tener en cuenta que al implementar el sistema digital DRM en las estaciones de radio en la ciudad de Loja, se debe cumplir con los parámetros técnicos recomendados por la ITU que es el organismo especializado en materia de

telecomunicaciones y tecnologías de la información y además hay que tener en cuenta las normas establecido por la ETSI Estándar que es un documento desarrollado específicamente por el sistema digital DRM.

La elección del estándar digital DRM se debe a que una de las principales ventajas es los nuevos servicios que se pueden realizar en las bandas de frecuencia de AM y FM que actualmente se encuentran asignadas a las radiodifusoras y permite a que no haya una reorganización del espectro radioeléctrico. Además el sistema DRM permite la coexistencia de la tecnología analógica con la digital permitiendo un proceso de transición paulatina para los usuarios y operadores del servicio. La transición paulatina que ofrece el sistema DRM puede durar varios años, lo que beneficia a las radiodifusoras en el proceso de cambiar o adaptar nuevos equipos digitales poco a poco al sistema de radiodifusión analógico.

Una vez determinado el estándar digital DRM como la mejor opción para las radiodifusoras en la ciudad de Loja, se considera los beneficios que se obtiene al adoptar como estándar este sistema, entre las cuales tenemos, la opción de Multicasting que permite transmitir a través de una misma banda de frecuencia cuatro programaciones independientes lo que admitiría la inclusión de más emisoras distintas en una sola frecuencia sin producir interferencias entre ellas, permitiendo con esto la apertura de nuevas estaciones en caso de que el espectro radioeléctrico de las bandas de radiodifusión sonora se sature.

Otro beneficio que ofrece el sistema DRM son las redes de frecuencia única que permiten el funcionamiento de una radiodifusora en una misma frecuencia a lo largo de áreas muy extensas, se convierte en un servicio muy beneficioso especialmente para aquellas personas que salen del área de cobertura de la radiodifusora que se les complica volver a sintonizarla en la frecuencia en que se encuentre dentro de esa zona.

El sistema DRM ofrece a las actuales radiodifusoras varias mejoras técnicas entre las más relevantes tenemos, la mayor calidad de audio, el mejor uso de las bandas de frecuencia con la transmisión de servicios de datos y programas de audio. Para poder explotar estos beneficios los oyentes deberán adquirir receptores con tecnología digital DRM.

Como ya se mencionó anteriormente las estaciones no transmitirán únicamente programas de audio a través de cada uno de los sub-canales sino que también podrán emitir datos como texto visualizable en los receptores de DRM digitales. Este sistema de envío de datos pueden transmitir los nombres de las canciones, intérpretes, pronósticos o alertas sobre el clima, informes de tráfico, resultados de encuentros deportivos, números telefónicos o direcciones web de anunciantes; las eventos que ofrecen son múltiples.

#### **g.4. IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACION DE RADIO DIGITAL DRM**

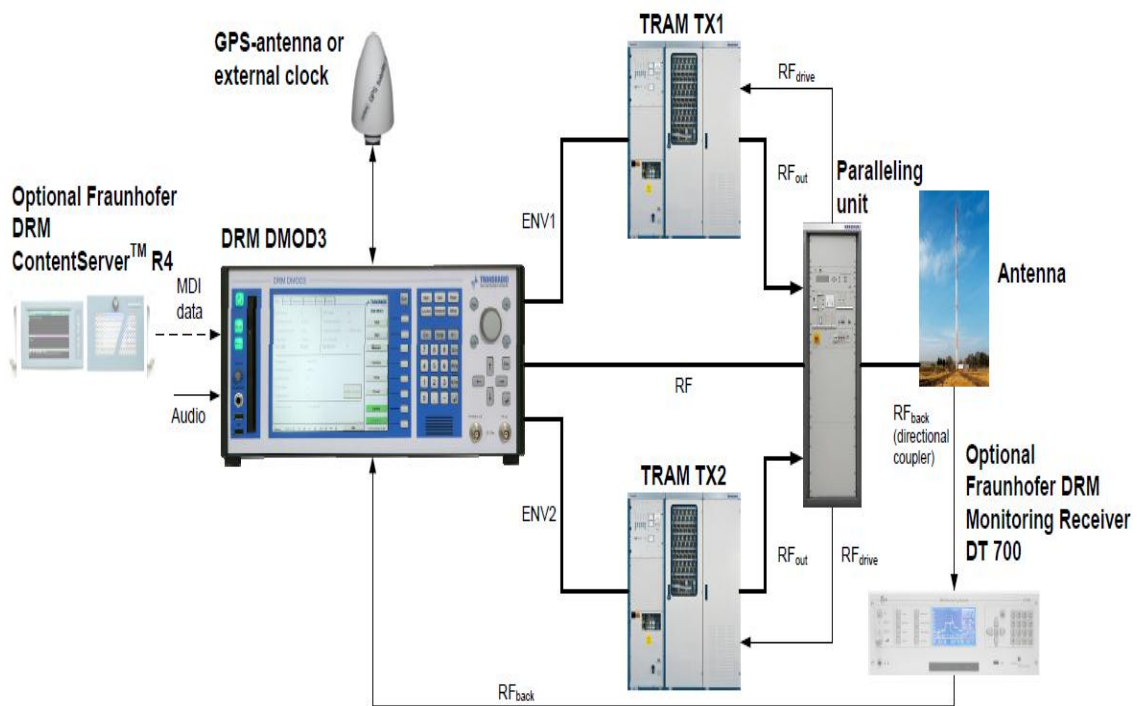
A continuación se detalla la estructura general de una estación de radio FM/AM con el sistema digital DRM con sus respectivos equipos digitales. En base a las arquitecturas existentes para implementar un sistema digital DRM expuestas en el capítulo de materiales y métodos, se desarrolla un sistema de transmisión DRM/DRM+ totalmente digital.

Una estación de radio con tecnología digital DRM básicamente está estructurado por: un servidor de contenido, un modulador DRM/DRM+, un transmisor DRM/DRM+, un sistema radiante y por un receptor. Cabe mencionar que el equipo receptor digital no es obligatorio adquirirlo ya que el sistema DRM es una tecnología híbrida que permite que las señales emitidas por las estaciones de radio con tecnología DRM sean receptadas por equipos receptores analógicos. Adicionalmente hay que tener en cuenta los equipos que permitan la generación de la señal digital, funcionamiento de los servicios de datos y de distintos servicios de audio. Vale recordar que los equipos de la planta transmisora deben estar ubicados fuera del perímetro urbano, y límites poblados de la ciudad tal como lo dispone el reglamento y por último en el cuarto de transmisión se encuentran los equipos Modulador DRM y el transmisor DRM.

Las señales digitales generadas desde el servidor de contenido DRM deben ser transportadas hacia el modulador que se encuentra en el cuarto de transmisiones, para ello se utiliza el radioenlace (STL) que permite la transmisión confiable de los datos en formato digital. El radio enlace digital opera en las bandas destinadas para frecuencia auxiliares del servicio de radiodifusión. El tipo de radioenlace que se

utilice debe garantizar una transmisión fiable de voz y de datos sin provocar interferencia. Para ello se puede utilizar el radioenlace de microonda, debido a proporciona la transmisión de audio combinado con datos correspondiente a las características de un sistema Digital.

En la Figura 84, muestra una instalación común de los componentes necesarios en el sitio de estudio y de transmisión para la tecnología DRM en AM de la compañía TRANSRADIO.



*Figura 84. Estación de radio digitalizado con el sistema DRM. [38]*

En la figura 85, se observa una instalación común de los componentes necesarios en el sitio de estudio y de transmisión para la tecnología DRM+ en FM. Las características de los equipos se encuentran en anexos.



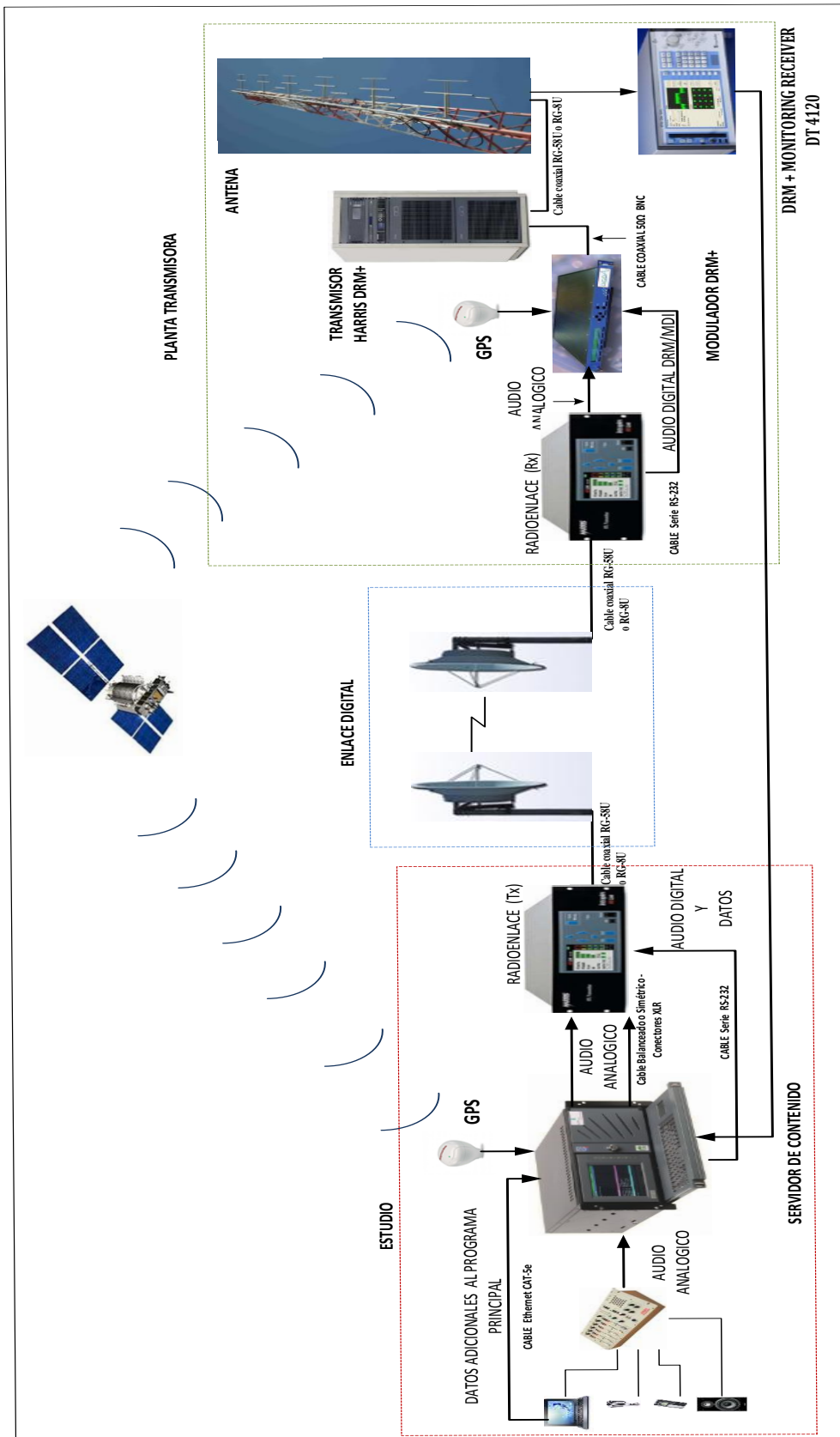


Figura 85. Estación de radio digitalizado con el sistema DRM+

## **h. CONCLUSIONES**

- Una vez realizado el estudio comparativo técnico de los estándares de radiodifusión sonora digital IBOC y DRM, se concluye que el estándar DRM es el más apropiado para implementar en las estaciones de radio de la ciudad de Loja gracias a los parámetros técnicos que ofrece este sistema digital. Entre los parámetros más importantes tenemos que permite una transmisión híbrida, opera en las mismas bandas de frecuencias asignadas actualmente a las radiodifusoras en AM, FM, y OC y además es una tecnología libre.
- Actualmente en la ciudad de Loja existen 55 canales libres para la transmisión en AM, lo que permite que a futuro en caso de que se sature el espectro radioeléctrico en la banda FM se utilicen las bandas libres.
- El sistema DRM despertará el interés por la radiodifusión en AM, ya que al digitalizar esta banda se obtendrá una mejor calidad de sonido similar a la señal de FM actual. Asimismo DRM permite mejorar la interacción entre radiodifusor y radioescucha a través del surgimiento de nuevos servicios multimedia.
- La tecnología digital DRM está diseñada para cumplir las nuevas demandas del consumidor y modernizar la radio tradicional, construyendo una estructura digital nueva y plenamente compatible alrededor de la señal analógica ya existente.
- El costo de implementación de una estación de radio con sistema digital DRM es elevado, pero en un periodo de tiempo se recuperaría la inversión inicial a través del cobro al usuario en lo particular, una tarifa por tener acceso a sus contenidos. Además las radiodifusoras podrán incrementar sus ingresos, gracias a la nueva forma de hacer publicidad ante los oyentes.
- Al implementar un sistema digital tendrá que realizarse un previo estudio del estado actual de las radiodifusoras para determinar si los equipos existentes

pueden funcionar o adaptar al nuevo sistema digital lo que evitarían grandes costos económicos de inversión.

- La introducción de la radio digital obligaría tanto a las estaciones de radio a mejorar los equipos de transmisión, introduciendo nuevos transmisores o a su vez actualizando los ya existentes y en el caso de los radioescuchas adquirir nuevos receptores digitales.

## i. RECOMENDACIONES

- Como recomendación se plantea usar el estándar digital DRM a razón de que provee un proceso de transición más eficiente con audio y servicios de datos con una óptima calidad respecto de la radiodifusión analógica y los demás sistemas digitales.
- Antes de implementar uno de los estándares digitales estudiados, se debería realizar pruebas piloto de la radiodifusión digital en algunas estaciones de radio, para que tanto radiodifusores como usuarios e inclusive estudiantes tengan una perspectiva más clara acerca de la radio digital.
- El gobierno debería establecer un financiamiento para desarrollar el proceso de transición financiando los costos de los equipos digitales tanto para las radiodifusoras y radioescuchas. Permitiendo así que los pequeños radiodifusores que no cuentan con equipos modernos se vean inmersos al cambio obligatorio y los que no tienen las condiciones económicas puedan realizar el proceso de transición, y a los radioescuchas facilitarles la adquisición del receptor digital. El plan de financiamiento sería mediante la asignación de recursos económicos por parte del gobierno a las radiodifusoras para que adquieran los equipos y estos a su vez devuelvan en publicidad o a través de pagos mensuales.
- La Superintendencia de telecomunicaciones (SUPERTEL) debe brindar información de los sistemas de radiodifusión digital tanto a radiodifusores y radioescuchas, con la finalidad de que toda la sociedad se interese y se enteren de los diferentes beneficios que ofrecen los sistemas de radiodifusión digital.
- Antes de realizar una implementación de un sistema digital, todas las estaciones de radio de la ciudad de Loja, deberían adoptar como una norma única los sistemas digitales, facilitando así el proceso de implementación.
- Las radiodifusoras digitalizadas deben elaborar un nuevo plan de programaciones que les permita aprovechar todos los servicios que ofrece la

radiodifusión digital, destinando la mayoría de programación al ámbito educativo.

- El gobierno podría coordinar esfuerzos con el ministerio de educación para preparar técnicos, tecnólogos y profesionales debidamente preparados para los grandes retos tecnológicos dentro de los cuales se encuentren incluidos los sistemas de radiodifusión sonora Digital.

## **j. BIBLIOGRAFÍA**

### **LIBROS:**

- [1]. Gago S. (2010). *MANUAL PARA RADIALISTAS ANALFATÉCNICOS*. Ecuador. Graficas Silva. 300p.
- [2]. Lauterbach T. (2003). *DIGITAL AUDIO BROADCASTING; PRINCIPLES AND APPLICATIONS OF DIGITAL RADIO*. 2a. edición. Berlín, Germany, Wiley Editorial Offices. 362p.
- [3]. Tomasi W. (2003). *SISTEMA DE COMUNICACIONES ELECTRÓNICAS*. Traducción Guillermo Trujano Mendoza. 4ta edición. México, 948p.

### **TESIS:**

- [4]. Cacay A. Herrera, S. (2011). *ESTUDIO DEL IMPACTO Y FACTIBILIDAD SOBRE LA DIGITALIZACIÓN INTEGRAL EN EL ECUADOR DEL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN SONORA TERRESTRE APLICADO A LA EMPRESA LA SUPREMA ESTACIÓN 96.1 FM*. (Tesis En Memoria Para Optar El Título De Ingeniero Electrónico), Facultad De Ingeniería Electrónica, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. 365 p.
- [5]. Candeas P. (2006). *DESARROLLO DE TÉCNICAS DE CODIFICACIÓN DE AUDIO BASADAS EN MODELOS DE SEÑAL PARAMÉTRICOS*. Tesis Doctoral. Departamento De Teoría De La Señal y Comunicaciones, Universidad De Alcalá. Madrid, España. 272 p.
- [6]. Erazo H. (2009). *ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA DE REDES DE FRECUENCIA ÚNICA (ISOFRECUENCIA), Y SU APLICACIÓN EN LA RADIODIFUSIÓN EN LAS BANDAS DE AM Y FM PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO EN LA CIUDAD DE QUITO*. (Tesis en memoria para optar el título de Ingeniero Electrónica y

Telecomunicaciones), Facultad De Ingeniería Eléctrica Y Electrónica, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 251 p.

- [7]. Jara C. (2005). *MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA ORTOGONAL CODIFICADA (COFDM)*, (Tesis en memoria para optar el título de Ingeniero en Electrónica). Facultad de las Ciencias de la Ingeniería, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. 180 p.
- [8]. Ocaña A. (2005). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN DIGITAL IBOC EN EL ECUADOR*. (Tesis en memoria para optar el título de Ingeniera Electrónica). Facultad De Ingeniería Electrónica, Escuela Politécnica Del Ejército, Quito, Ecuador. 399p.
- [9]. Salinas M. (2011). Comparación de tecnologías de radio digital para su aplicación en México. (Tesis En Memoria para optar el Título De Ingeniero En Telecomunicaciones), Facultad De Ingeniería División De Ingeniería Eléctrica, Universidad Nacional Autónoma De México, Ciudad De México D. F, México.86 p.

#### **RECURSOS ELECTRÓNICOS:**

- [10]. Merino J. (2011). *ACÚSTICA Y SONIDO. INTRODUCCIÓN A LA DIGITALIZACIÓN DE AUDIO*. Documento en línea: [http://www.acusticaysonido.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=121:introduccion-digitalizacion-de-audio&catid=47:aplicaciones-de-audio&Itemid=109](http://www.acusticaysonido.com/index.php?option=com_content&view=article&id=121:introduccion-digitalizacion-de-audio&catid=47:aplicaciones-de-audio&Itemid=109). Consulta: 30 de octubre del 2012.
- [11]. Quintero V. *ELECTIVA: SISTEMAS DE RADIODIFUSIÓN- RADIO DIGITAL*. Documento en línea: <http://www.artemisa.unicauca.edu.co/~vflorez/SRD/SRD9.pdf>. Consulta: 17 de abril 2013.

- [12]. Del Amo L, (2006). *LA ONDA MEDIA DIGITAL SISTEMA IBOC AM*. Documento en línea: [http://coitt.es/res/revistas/Antena164\\_07a\\_Reportaje\\_La\\_onda.pdf](http://coitt.es/res/revistas/Antena164_07a_Reportaje_La_onda.pdf). Consulta: 4 de enero del 2013.
- [13]. Del Amo L. (2006). *LA FM DIGITAL. SISTEMA IBOC FM*. Documento en línea: [http://coitt.es/res/revistas/Antena166\\_06a\\_Reportaje\\_FM\\_digital.pdf](http://coitt.es/res/revistas/Antena166_06a_Reportaje_FM_digital.pdf). Consulta: 4 de enero del 2013.
- [14]. Digicomparison. (2011). *RECEIVERS FOR DRM30 & DRM+*. Documento en línea: <http://www.digicomparison.com/drm.html#Himalaya>. Consulta: 28 de febrero del 2013.
- [15]. Digidia. (2005). *PRODUCTOS DRM/DRM+*. Documento en línea: <http://www.digidia.fr/Rubrique.aspx?RubriqueID=107&LangueID=2&PereID=105>. Consulta: 3 de mayo del 2013.
- [16]. Sykes J, (2010). *DIGITAL RADIO MONDIALE (DRM) A BROADCASTER'S GUIDE*. Documento en línea: <http://www.drm.org/>. Consulta: 10 marzo del 2013.
- [17]. Nigel L. (2013). *DRM INTRODUCTION AND IMPLEMENTATION GUIDE "THE DRM DIGITAL BROADCASTING SYSTEM INTRODUCTION AND IMPLEMENTATION GUIDE"*. Documento en línea: <http://www.drmpplus.com/i/DRM-introduction-and-implementation-guide.pdf/>. Consulta: 2 mayo Del 2013.
- [18]. DRM support. *CONSUMER RECEIVERS*. Documento en línea: <http://www.drmmradio.dk/Forbruger-modtagere-en.htm>. Consulta: 28 de febrero del 2013.
- [19]. ETSI ES 201 980 V3.2.1. (2012). *DIGITAL RADIO MONDIALE (DRM); SYSTEM SPECIFICATION*. Documento en línea:



[http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_es/201900\\_201999/201980/03.02.01\\_60/es\\_201980v030201p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_es/201900_201999/201980/03.02.01_60/es_201980v030201p.pdf). Consulta: 3 de enero del 2013.

- [20]. Harris Broadcast. (2013). *PRODUCTS & SOLUTIONS*. Documento en línea: <http://www.harrisbroadcast.com/products/transmission/radio-transmitters-consoles/fm-transmitters/flexiva-high-power>. Consulta: 16 de mayo del 2013.
- [21]. Schneider J. (2010). *LAS VENTAJAS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE HDRADIO™ PARA LA REPÚBLICA DOMINICANA*. Documento en línea: <http://www.hdradio.com/>. Consulta: 17 de abril del 2013.
- [22]. Centinela del Sur. (2010). *HISTORIA*. Documento en línea: [http://www.hechicera889fm.com.ec/centineladelsur/index.php?option=com\\_content&view=article&id=3&Itemid=3](http://www.hechicera889fm.com.ec/centineladelsur/index.php?option=com_content&view=article&id=3&Itemid=3). Consulta: 10 de diciembre del 2012.
- [23]. Flores J. (2011). *HISTORADIO*. Documento en línea: <http://historadio.blogspot.com/2011/06/las-primeras-radio-estaciones-del.html>. Consulta: 1 de diciembre 2012.
- [24]. Schneider J, *HD RADIO BROADCASTING AROUND THE WORLD*. Documento en línea: <http://www.ibiquity.com/international>. Consulta: 1 de febrero del 2013.
- [25]. Schneider J, *HD RADIO PRODUCTS*. Documento en línea: [http://www.ibiquity.com/hd\\_radio/hdradio\\_buy\\_an\\_hd\\_radio/hdradio\\_products#automotive\\_radios](http://www.ibiquity.com/hd_radio/hdradio_buy_an_hd_radio/hdradio_products#automotive_radios). Consulta: 1 de febrero del 2013.
- [26]. Lumpur K. (2009). *DRM+ THE EFFICIENT SOLUTION FOR DIGITISING FM*. Documento en línea: [http://www.ikt.uni-hannover.de/fileadmin/institut/projekte/DRM/DRM\\_the\\_efficient\\_solution\\_for\\_digitising\\_FM\\_ABU2009.pdf](http://www.ikt.uni-hannover.de/fileadmin/institut/projekte/DRM/DRM_the_efficient_solution_for_digitising_FM_ABU2009.pdf). Consulta: 23 de febrero del 2013.

- [27]. Cintel. (2009). *ESTUDIO Y ANÁLISIS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA RADIODIFUSIÓN DIGITAL EN COLOMBIA*. Documento en línea: <http://www.issuu.com/redial/docs/estudio-para-la-implementacion-de-la-radio-digital>. Consulta: 4 de enero del 2013.
- [28]. *SISTEMAS DE RADIODIFUSIÓN SONORA DIGITAL TERRENAL PARA RECEPTORES EN VEHÍCULOS, PORTÁTILES Y FIJOS EN LA GAMA DE FRECUENCIAS 30-3000 MHZ: RECOMENDACIÓN UIT-R BS.1114-6*. Documento en línea: [http://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/bs/R-REC-BS.1114-5-200402-S!!PDF-S.pdf](http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bs/R-REC-BS.1114-5-200402-S!!PDF-S.pdf). Consulta: el 15 de febrero del 2013.
- [29]. Recomendación UIT-R BS.1514-1. (2011). *SISTEMA PARA RADIODIFUSIÓN SONORA DIGITAL EN LAS BANDAS DE RADIODIFUSIÓN POR DEBAJO DE 30 MHZ*. Documento en línea: <http://www.itu.int/pub/R-REC/es>. Consulta: 2 de mayo del 2013.
- [30]. Nautel. (2013). *SOLUCIONES*. Documento en línea: <http://www.nautel.com/solutions/digital-radio/drmdrm/>. Consulta: 2 de Mayo del 2013.
- [31]. Dortch M. (2012). *NRSC-5-C IN-BAND/ON-CHANNEL DIGITAL RADIO BROADCASTING STANDARD. NATIONAL RADIO SYSTEMS COMMITTEE*. Documento en línea: <http://www.nrscstandards.org/News/2012-03-07%20Submission%20of%20NRSC-5-C%20to%20FCC.pdf>. Consulta: el 20 de diciembre del 2012.
- [32]. Basilago J. (2012). *RADIOWORLD. GUSTAVO ORNA CONVERSA SOBRE PRUEBAS DE DRM*. Documento en línea: <http://radioworld.com/article/gustavo-orna-conversa-sobre-pruebas-de-drm/211647>. Consulta: Junio del 2013.

- [33]. Vernon T. (2013). *EL DRM+ ES PROBADO EN MÁS PAÍSES*. Documento en línea: <http://www.radioworld.com/article/el-drm-es-probado-en-m%C3%A1s-pa%C3%ADses/217378>. Consulta: 27 de febrero del 2013.
- [34]. RIZ. (2012). *TRANSMITTERS*. Documento en línea: <http://www.riz.hr/en/transmitters/drm.html>. Consulta: 15 de mayo 2013.
- [35]. Muniesa P. (2005). *INTRODUCCIÓN AL SISTEMA DRM POR-RTVE.ES*. Documento en línea: [http://www.rtve.es/drm/doc/introduccion\\_sistema\\_drm.pdf](http://www.rtve.es/drm/doc/introduccion_sistema_drm.pdf). Consulta: 20 de febrero del 2013.
- [36]. REVISTA INSTITUCIONAL: *RADIODIFUSION DIGITAL*. 2012 [En línea]. SUPERTEL. N° (15). Disponible en: [[http://www.supertel.gob.ec/pdf/publicaciones/revista\\_supertel15.pdf](http://www.supertel.gob.ec/pdf/publicaciones/revista_supertel15.pdf)], [Consulta: 18 de octubre del 2012].
- [37]. Electrónica Fácil. *VENTAJAS DE LA RADIO DIGITAL*. Documento en línea: <http://www.televisiondigital.electronicafacil.net/Sections-article9-p1.html>. Consulta: 6 de noviembre del 2012.
- [38]. TRANSRADIO. 2013. *DRM*. Products: DRM-DMOD3 - Compact and Reliable. Documento en línea: <http://www.transradio.de/index.php>. Consulta: 20 Agosto del 2013.

## **Glosario de Términos**

**ADC:** Conversión analógica a digital o digitalización consiste en la transcripción de señales analógicas en señales digitales, efectuando tres procesos: de muestreo, cuantificación y codificación.

**Aliasing:** es conocido como efecto de solapamiento y ocurre cuando hay un traslapo en el desplazamiento, es decir, copias periódicas en nuestra señal  $f(t)$ .

**Ancho De Banda:** Es la medida de uso o de capacidad del espectro radioeléctrico (frecuencia).

**Array:** Una antena array es un conjunto de elementos radiantes individuales alimentados desde un mismo terminal mediante redes lineales. Normalmente suelen ser elementos iguales y con la misma orientación.

**Carga Fantasma:** También llamada carga artificial, antena fantasma, dummy load, se trata de un circuito muy simple que se conecta en un transmisor en lugar de la antena y que nos sirve para ajustarlo sin ocasionar interferencias para nuestros vecinos u otros radioaficionados durante los ajustes.

**CODEC:** Es la abreviatura de codificador-decodificador. Describe una especificación desarrollada en software, hardware o una combinación de ambos, capaz de transformar un archivo con un flujo de datos o una señal.

**COFDM:** Es una técnica compleja de modulación 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 por División de Frecuencia.

**DAC:** Conversor digital analógico es el proceso inverso a lo que realiza ADC.

**Doppler:** Efecto de variación de la frecuencia en función del desplazamiento, perjudicial en Frecuencia Modulada.

**Estación Repetidora:** Es una estación fija del servicio fijo y móvil terrestre destinada a recibir una señal modulada en una frecuencia y retransmite la señal modulada en la misma u otra frecuencia.

**ETSI:** Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones es una organización de estandarización de la industria de las telecomunicaciones en la que se incluye fabricantes de equipos y operadores de redes de Europa, con proyección mundial.

**FCC:** Comisión Federal de Comunicaciones, cumple con la función de asignar frecuencias para radio propagación en el espacio libre en los Estados Unidos.

**Ganancia De Una Antena:** Es la relación expresada en decibelios, que existe entre la potencia necesaria a la entrada de una antena de referencia sin pérdidas y la potencia suministrada a la entrada de la antena en cuestión.

**ISO/IEC:** Organización Internacional para la Normalización / Comisión electrónica internacional.

**ITU:** La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) es el organismo especializado de la Organización de las Naciones Unidas encargado de regular las telecomunicaciones a nivel internacional entre las distintas administraciones y empresas operadoras.

**Jitter:** Señal de ruido no deseada; es la variabilidad temporal durante el envío de señales digitales, un aligera desviación de la exactitud de la señal de reloj.

**MUSICAM:** Patrón de enmascaramiento Adaptado Universal sub-bandas integrada de codificación y multiplexación Se utiliza como sinónimo de MPEG Audio Layer II.

**Multicasting:** Es el envío de la información en una red a múltiples destinos simultáneamente. Para poder recibirla, es necesario establecer un grupo multicast.

**Ondas aéreas:** Son aquellas que parten de la antena del emisor y llegan hasta la antena del receptor a través del propio aire pero sin llegar a la ionosfera. Según su trayectoria pueden ser: Ondas directas, reflejadas y otras influenciadas por ciertos efectos como son por refracción troposférica o por difracción.

**Ondas Hectométricas:** Las Ondas Hectométricas son las que abarcan las frecuencias que van de los 300 a los 3,000 kHz.

**PCM:** Modulación por codificación de pulso es un proceso digital de modulación para convertir una señal analógica en un código digital.

**Pseudo-aleatorio:** es un número generado en un proceso que parece producir números al azar.

**Redes De Frecuencia Única (SFN):** Red Isofrecuencia para radio y televisión que trabaja con una misma frecuencia para dar cobertura a toda un área de cobertura.

**RDS:** Sistema de radiodifusión de datos es un protocolo de comunicaciones que permite enviar datos digitales junto con la señal de audio, las cuales no son percibidas por el radio escucha. Aunque una parte de esos datos se ven presentados en una pantalla del aparato receptor.

**Ruido:** Es cualquier energía indeseada y no modulada que está presente a un cierto grado dentro de cualquier señal.

**Señal portadora:** es una forma de onda, que es modulada por una señal que se quiere transmitir.

**Simulcast:** Se refiere a la transmisión simultánea de la misma información a través de más de un medio o a la transmisión simultánea de más de un servicio en el mismo medio. Habitualmente se trata de transmisiones de radio o televisión.

**Streaming:** se utiliza para aligerar la descarga y ejecución de audio y vídeo en la web, ya que permite escuchar y visualizar los archivos mientras se están descargando.

**VSWR:** (Relación de Onda Estacionaria) Usada para describir el funcionamiento de una antena cuando se conecta a una línea de transmisión.

## k. ANEXOS

### k.1. Servidor de Contenido

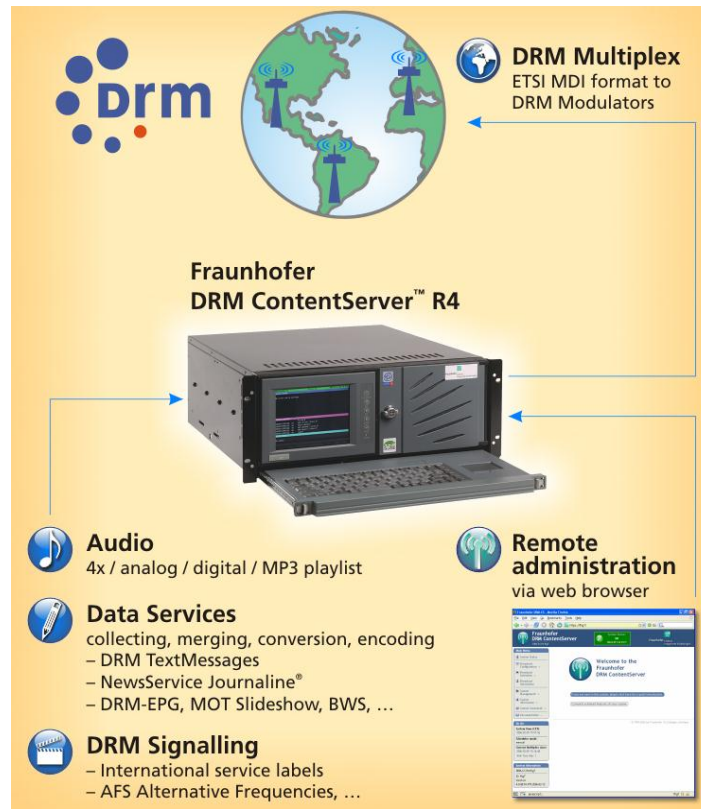


Figura 86. Servidor de Contenido Fraunhofer DRM ContentServer

Especificaciones Técnicas	
Funciones	
<b>DRM servidor de Audio</b>	Ofrece un servicio de Audio con codificación multi-stream en tiempo real
<b>DRM servidor de datos Multimedia</b>	Brinda de forma estandarizada todos los mecanismos propietarios para la importación, la preparación, la codificación y emisión de datos.
<b>DRM Generador de Multiplexaje</b>	Permite un manejo óptimo de todas las señales multiplexadas, generando una señal DRM Multiplex completamente digital proporcionando flujos de salida a través del estándar MDI/DCP.

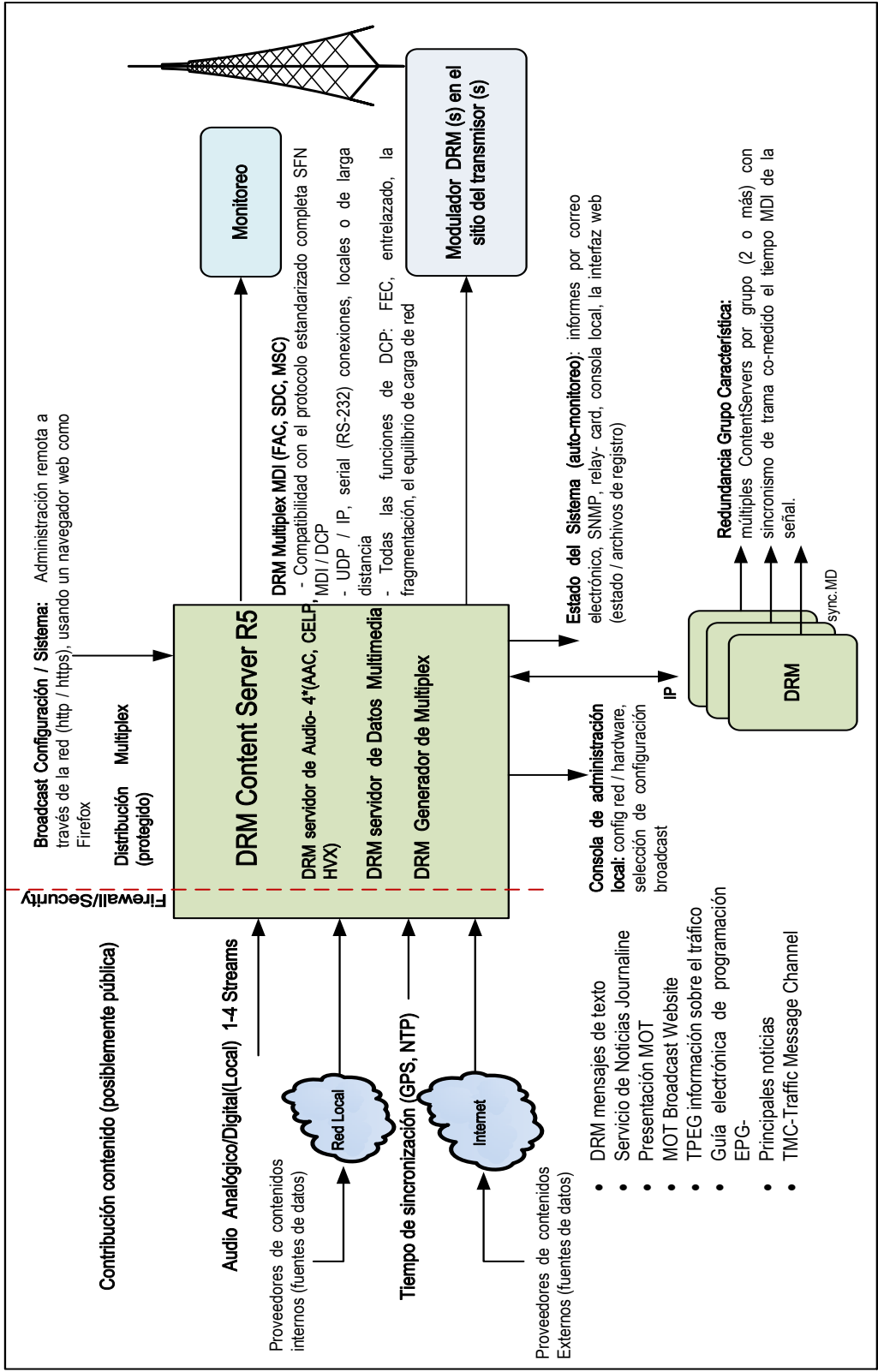


Figura 87. Diagrama de funcionamiento del Servidor de Contenido Fraunhofer DRM ContentServer



## k.2. Equipo Radioenlace



Figura 88. Equipo INTRAPLEX STL PLUS de la compañía HARRIS

Especificaciones Técnicas	
<b>Rendimiento de Audio (lineal)</b>	
<b>Modos de Operación</b>	Estéreo
<b>Rango Dinámico</b>	Más de 90 dB
<b>Procesamiento de Retardo</b>	Retardo Total (codificación y decodificación)
	3 ms operando a 15 KHz
<b>Entradas y Salidas Análogas</b>	
<b>Velocidad de muestreo</b>	32 KHz, 16KHz
<b>Codificación</b>	16 bit lineales delta sigma con codificación 64X sobremuestreo
<b>Respuesta de Frecuencia</b>	0.2 Hz a 15,6KHz, +0.5/-0.3 dB
	20 Hz a 15KHz, +/- 0.5dB
<b>Impedancia de Entrada</b>	Balanceada 600 ohms o mayor de 10K ohms
<b>Impedancia de salida</b>	Balanceada, menos de 30 ohms
<b>Conectores</b>	XLR entrada Female y XLR salida male
<b>Entradas y Salidas Digitales</b>	
<b>Tasa de muestreo permitidas</b>	32, 44.1 y 48 KHz
<b>Codificación</b>	16 bit lineales, sin compresión
<b>Impedancia de entrada y salida</b>	110 ohms +/- 20%
<b>Conectores</b>	XLR entrada Female y XLR salida male
<b>General</b>	
<b>Requerimiento Energético</b>	Estandar AC universal
	-48 DVC 0 + 24 VDC opcional
	Hot-Standby redundante de suministro opcional
<b>Consumo de potencial nominal</b>	Menos de 25 Watts, cada shelf
<b>Temperatura</b>	0°-50° C operación
<b>Conector (T1)</b>	RJ-48C, 100 ohms o DB-15, 100 ohms

### k.3. Equipo Modulador DRM+



*Figura 89. DRM+ SOPRANO+ DRM+ Modulator/Exciter de la marca DIGIDIA*

Especificaciones Técnicas	
<b>General</b>	
Manejo de FAC, SDC y MSC	
Cumplen con la última normativa ES 201 980 documento ETSI	
Opera en el modo E	
Todos los modos QAM estándar (MSC 16 o 4 y SDC 4)	
Ancho de banda del canal DRM+ 100kHz.	
Tasa de decodificación MSC (igual/desigual) de 1/4, 1/3, 2/5 y 1/2	
Salidas digital de RF I / Q	
Fuente de alimentación automática de rango (85-264 VAC/47-63Hz)	
<b>Datos específicos</b>	
<b>Entrada MDI</b>	Una entrada MDI compatible con TS 102 820 y TS 102 821
	Ethernet 10/100 Base-T - Connector RJ45
<b>Salida IQ / Portadora Digital</b>	Una salida IQ digital con una señal portador de salida
	Un conector XLR macho para la salida I / Q digitales - 600Ω balanceada
	Un conector hembra BNC para la salida de la señal portadora - 50Ω
<b>Salida de RF directa (módulo de RF adicional suministrada)</b>	Una salida directa de menor potencia con - 0dBm
	Conector BNC hembra - 50Ω
<b>Reloj y sincronización</b>	Reloj interno de alta calidad
	Receptor GPS integrado para operación SFN
	Una entrada de la antena GPS - 50Ω conector TNC
<b>Control y Monitoreo</b>	Control a través de un servidor web o de alto nivel y el seguimiento a través de SNMP
	Panel frontal con pantalla LCD con teclas de navegación

#### k.4. Transmisor



*Figura 90. Transmisor Harris Flexiva™ Compact Class*

Especificaciones Técnicas	
General	
<b>Tipo de transmisor</b>	Transmisor de estado sólido tipo estéreo, funciona en modo: FM, FM+HD Radio, HD Radio, DRM+ (completamente Digital).
<b>Potencia</b>	Baja Potencia 50W-3,5KW Alta Potencia 5kW a 40KW
<b>Rango de frecuencia</b>	Desde los 87,5 a 108,0 MHz
<b>Estabilidad de Frecuencia</b>	± 150 Hz
<b>Capacidad de Modulación FM</b>	± 150 kHz de desviación, 200% de modulación
<b>Estabilidad de la energía</b>	≤ ± 0,25 dB
<b>Asynchronous AM</b>	SNR
Rendimiento de audio	
<b>Respuesta de Amplitud Estéreo</b>	± 0,05 dB
<b>Respuesta de Amplitud de banda ancha</b>	≤ + / - 0.04 dB, 20 Hz a 53 kHz ≤ + / - 0,2 dB, 53 Hz a 100 kHz
<b>Separación estéreo</b>	≥ 70 dB
<b>Crosstalk</b>	≥ 70 dB
<b>Distorsión armónica total</b>	≤ 0.05%
<b>Distorsión de intermodulación</b>	≤ 0,05%
<b>FM Stereo SNR</b>	≥ 83 dB 75 ms de énfasis
<b>Mono FM SNR</b>	≥ 90 dB
Entradas Programa	
<b>Entradas de audio</b>	2 AES3 XLR 110 ohms balanceado, -2,8 dBfs nominales; 0 dBfs a -15 dBfs, 44,1 a 96 kHz
	1 analógico L / R, XLR, 10K/600 ohmios balanceada nominal +10 dBu +15 dBu máximo
<b>MPX / compuesto</b>	2 BNC equilibradas 10K/50 ohms nominal 3.5 V, 5 V máxima
<b>SCA / RDS (Externa)</b>	2 BNC, 10 K ohmios desequilibrados, 1,5 V nominal 4 V máximos
<b>Generador RDS Interno</b>	Generador Static RDS / RBDS interno
	Soporta campos: TP, PI, PS, PTY, RT y 8 canales de AF
Referencia I / O	

<b>10 MHz de reloj de entrada externa</b>	BNC hembra, desequilibrada, 50 ohmios, -10 dBm a 10 dBm
<b>Externa 1 PPS Entrada Reloj</b>	BNC hembra, desequilibrado, 50 ohmios, nivel TTL
<b>GPS Antena de entrada w / Interna Opción GPS</b>	GPS opcional con antena suministrada +5 v 30ma
<b>10 MHz Reloj Salida w / Interna Opción GPS</b>	BNC hembra, desequilibrado, 50 ohms, 0 dBm
<b>1 PPS Reloj Salida w / Interna Opción GPS</b>	BNC hembra, desequilibrado, 50 ohmios, nivel TTL
<b>Control remoto I / O</b>	
	2 puertos RJ-45 100 Mb Ethernet / IP
<b>Puertos Ethernet</b>	1 panel frontal con el servidor DHCP y la dirección IP fija para el acceso de mantenimiento
	1 panel trasero con dirección IP estática o dinámica para LAN / WAN de acceso a la Web GUI y SNMP
<b>Opciones internas</b>	
<b>Opción receptor GPS</b>	Antena GPS Suministrada conecta a SMA hembra del panel trasero

### k.5. Equipo de Monitoreo

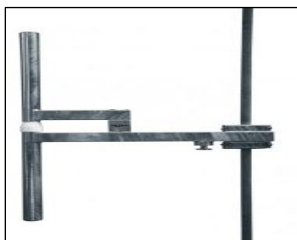


*Figura 91. DRM+ Monitoring Receiver DT 4120*

Especificaciones Técnicas
<b>Receptor de Monitoreo DRM+</b>
Frecuencia de entrada 27 MHz a 120 MHz
Funcionamiento Autónomo
Hardware de alta fiabilidad construido para funcionamiento continuo
Control remoto completo a través del PC y Ethernet
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ remote GUI</li> <li>▪ servidor web integrado</li> </ul>
Actualización de software fácil a través de una función de unidad de DVD
10 MHz de referencia de entrada para la sincronización del GPS
<b>Aplicaciones</b>
<b>Monitoreo transmisor</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ medición de la calidad de señal</li> <li>▪ parámetros de modulación</li> <li>▪ Dos señales de alarma configurable (relé de conmutación)</li> </ul>
<b>Comprobación técnica del espectro</b>

<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ trazado del espectro de alta resolución</li> <li>▪ alcance de hasta 192 kHz</li> </ul>
<b>Redes de Monitoreo</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Control remoto completo a través de LAN</li> <li>▪ salida RSCI (Perfil R) a través de LAN</li> </ul>
<b>Interfaces</b>
Altavoz integrado
Conector para altavoz externo
Salida de auriculares con control de volumen
salida de línea
Salida de audio balanceada
Dos salidas de relé
Ethernet 100 Base T-port
Entrada de antena N hembra tipo
<b>Receptor DRM</b>
DRM Modo E según ETSI EN 201 980 V3.1.1
decodificador de audio
MPEG-4 HE-AAC V2
Journaline decodificador con visor integrado

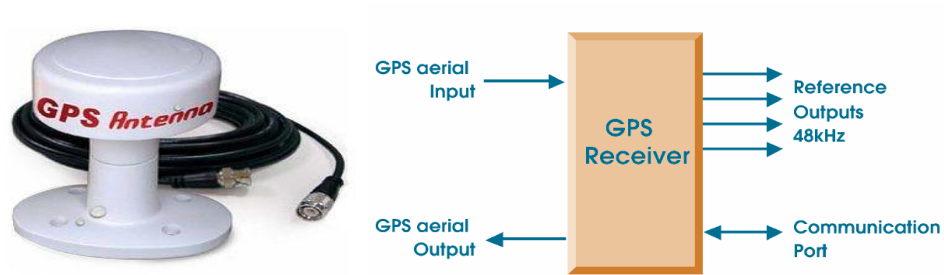
### k.6. Antena



*Figura 92. Antena Dipolo AKG/11 alta potencia*

Especificaciones Técnicas	
<b>Banda de frecuencia</b>	87,5 - 108 MHz
<b>Impedancia</b>	50 Ohm
<b>VSWR</b>	1.1 : 1
<b>Ganancia</b>	2dB
<b>Conector</b>	EIA "7/8"
<b>Potencia máxima</b>	5KW
<b>Polarización</b>	Vertical
<b>Dimensiones</b>	1340x910x100 mm

## k.7. Receptor GPS



*Figura 93. Diapason DRM GPS Receiver*

Especificaciones Técnicas	
<b>Especificaciones Generales</b>	
Funcionamiento Autónomo	
Panel frontal con tres LEDs	
GPS interno divisor de antena	
<b>Especificaciones de entrada y Salida</b>	
frecuencia de referencia externa de 4 salidas de BNC 50 ohm-48KHz	
1xGPS aérea de entrada-TNC 50 ohm	
1xGPS aérea output-TNC 50 ohm	
1x Puerto de comunicación-DB9 pines	
<b>Aplicaciones</b>	
Red de frecuencia Única SFN DRM	
Proceso de sincronización DRM	
Sincronización para cualquier aplicación de procesamiento de audio.	
Necesita una frecuencia de referencia de 48kHz externa	

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**

**ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS  
NATURALES NO RENOVABLES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**ANTEPROYECTO**

**TEMA:**

*Estudio comparativo técnico y de factibilidad de los estándares de radiodifusión digital terrestre IBOC (Canal dentro de banda), y DRM (Radio Digital Mundial) para la implementación en la ciudad de Loja.*

**AUTOR:**

Víctor Javier Guachisaca Paccha

**MÓDULO:**

*Decimo*

*Septiembre 2012*

*Loja-Ecuador*

## **1. TEMA:**

Estudio comparativo técnico y de factibilidad de los estándares de radiodifusión digital terrestre IBOC (Canal dentro de banda), y DRM (Radio Digital Mundial) para la implementación en la ciudad de Loja.

## **2. MOTIVACIÓN Y CONTEXTO**

Hoy en día el servicio de radiodifusión sonora es uno de los servicios más utilizados en el Ecuador debido a su capacidad de llegar hasta a los lugares más remotos y brindar el acceso a los ciudadanos a mantenerse informados. Todas las emisoras que prestan el servicio de radiodifusión sonora en total apego a lo establecido en los nuevos paradigmas de radiodifusión y optimización del espectro radioeléctrico deben adoptar un nuevo estándar de transmisión digital y en la ciudad de Loja no es la excepción

El aplicar un nuevo estándar de radiodifusión digital permitirá obtener beneficios tanto para los usuarios como para el radiodifusor. Los primeros países que realizaron estudio acerca la radiodifusión digital fueron los Europeos mediante el proyecto EUREKA, mientras que en Estados Unidos, mediante la empresa Ibiqity realizaba estudios sobre el estándar IBOC, en España se realizó emisiones experimentales entre los meses de mayo y octubre del 2007 utilizando el estándar de radiodifusión digital DAB, en el país de México el 7 de octubre del 2003 adopto el estándar de transmisión DAB, mientras que en Panamá el 12 de mayo del 2009 adopto dos estándares de radiodifusión digital para radio el DAB (Eureka 147) y el DRM (Radio digital Mundial).

En Ecuador el 7 de octubre del 2011 empezó a realizar un periodo de pruebas técnicas con el estándar DRM (Radio Digital Mundial) como futura adopción de una norma de radio digital a través de la Emisora “Radio Unión” que opera en la Frecuencia AM 820 kHz, las pruebas técnicas tendrán un periodo de duración de un año cada estándar donde los resultados obtenidos serán analizados por la Supertel y a su vez definirá si es o no factible en nuestro país.



### **3. PROBLEMÁTICA**

Actualmente el reglamento de la Conatel y Supertel obliga a todas las emisoras de Radiodifusión Sonora en el Ecuador a emigrar hacia un estándar de transmisión digital actualmente no tienen un plazo establecido y en la actualidad en la ciudad de Loja no existen estudios realizados acerca de la radiodifusión digital que permitan ver el proceso de migración y la factibilidad del mismo. Con el estudio se podrá tener una idea clara de los estándares de radiodifusión digital IBOC y DRM que existen a nivel mundial y la forma en cómo operan en los países que ya han adoptado la norma de radiodifusión digital lo que permitirá determinar cuál es el más viable para migrar en la ciudad de Loja.

Por otra parte las emisoras de radiodifusión nacional tampoco han logrado adaptarse a un estándar de radiodifusión digital esto debido que aún se realizan pruebas técnicas con los dos estándares antes mencionados, de ahí que el presente proyecto se muestra como una posibilidad de brindar la alternativa más adecuada para nuestro medio.

### **4. JUSTIFICACIÓN**

La falta de estudios que comprendan el análisis técnico y de factibilidad de algún estándar de radiodifusión digital en el Ecuador y específicamente en la región sur hace que la presente investigación pueda convertirse en un apoyo para los personeros de la radiodifusión de la ciudad de Loja, esto debido a que se propone efectuar un estudio de las diferentes características técnicas, tipos de tecnología, y las ventajas que prestan estos estándares son varios como: la calidad del sonido que es el mayor beneficio de la radio digital ya que es notablemente superior al de la radio tradicional, los emisores pueden ofrecer más programas y servicios en el mismo canal de transmisión, las ondas radiales son resistentes a interferencias, el usuario puede recibir información extra debido a la característica que tienen los nuevos receptores de radio digital de una pantalla de cristal líquido LCD que nos muestran información textual complementaria de lo que se está escuchando, estos dos estándares de radiodifusión no necesitan un cambio de frecuencia y permite que el espectro radial no se sature lo que representa una gran ventaja para su migración.

En Ecuador no existe un estándar establecido por la Superintendencia de Telecomunicaciones del Ecuador (SUPERTEL), actualmente se están desarrollando pruebas técnicas con dos estándares de radiodifusión digital como son el IBOC y DRM para determinar el más viable para ser utilizado en nuestro país. El desarrollo de este proyecto permitirá concluir cuál de los dos estándares IBOC y DRM podría ser la mejor opción para implementarlo en la ciudad de Loja y contribuyendo posiblemente con la SUPERTEL en el desarrollo de pruebas técnicas en la ciudad de Loja.

## **5. OBJETIVO**

### **Objetivo General**

COMPARAR LOS ESTÁNDARES DE RADIODIFUSIÓN DIGITAL TERRESTRE IBOC (CANAL DENTRO DE BANDA) Y EL DRM (RADIO DIGITAL MUNDIAL) PARA DETERMINAR SU FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA POSIBLES IMPLEMENTACIONES EN LAS EMISORAS DE RADIODIFUSIÓN EN LA CIUDAD DE LOJA.

### **Objetivo Especifico**

- ✚ Identificar los conceptos básicos de la radiodifusión Digital
- ✚ Analizar y comparar las características técnicas y funcionales de los dos estándares de Radiodifusión Digital IBOC y DRM.
- ✚ Determinar la factibilidad de Implementación de los estándares en nuestra región.
- ✚ Proponer el Estándar de Radiodifusión Digital más viable para las Estaciones de Radio FM de la ciudad de Loja.

## **6. MARCO TEÓRICO**

### **6.1. Introducción**

La radio es el medio por excelencia en el que se conforma la opinión pública, es el espacio por medio del cual, la totalidad de la audiencia tiene acceso a la diversidad política y social. Aproximadamente la tercera parte de la población, utiliza la radio para enterarse de lo que acontece tanto en el país como en el mundo entero.

Actualmente, a nivel del mundo se está experimentando el nuevo cambio de la tecnología analógica a digital que tiene como participantes la radiodifusión sonora y de televisión. La radiodifusión sonora digital en los últimos años ha tenido una acogida en la mayoría de países a nivel mundial y de Latinoamérica, debido a las características técnicas que ofrece y que permiten a los usuarios y radiodifusores obtener múltiples ventajas que comparado con la radiodifusión analógica es notablemente superior, convirtiéndose en una inversión irresistible para los países que no han adoptado un estándar de radiodifusión digital.

Los beneficios que ofrecen tanto al usuario y radiodifusor son múltiples entre los principales tenemos una mayor calidad de audio, un mejor uso de las ondas radiofónicas lo que implica la posibilidad de añadir más servicios y programas, y la desaparición de las interferencias es decir las señales clásicas han sido convertidas en dígitos binarios.

### **6.2. Radiodifusión**

La radiodifusión es la producción y difusión de señales radioeléctricas de audio y video a través de ondas o cable destinadas al público en general o bien a un sector del mismo. En la radiodifusión una estación base emite su señal de radiofrecuencia a través del aire los receptores de televisión o radio recogen dicha señal casi simultáneamente.

#### **6.2.1. Clasificación de los servicios de radiodifusión**

Son aquellos servicios de telecomunicaciones cuyas transmisiones están destinadas a la recepción libre y directa por el público en general. Estos servicios comprenden la Radiodifusión Sonora y Radiodifusión por Televisión, incluyendo las que utilizan tecnología digital.

### 6.2.1.1. Radiodifusión Sonora

Servicio de telecomunicaciones cuyas transmisiones están destinadas a la recepción libre y directa de audio por el público general. La radiodifusión sonora comprende:

- ✚ Frecuencia Modulada (FM)
- ✚ Amplitud Modulada (AM):

En la figura N°1 se muestran las diferentes ondas de radio AM y FM

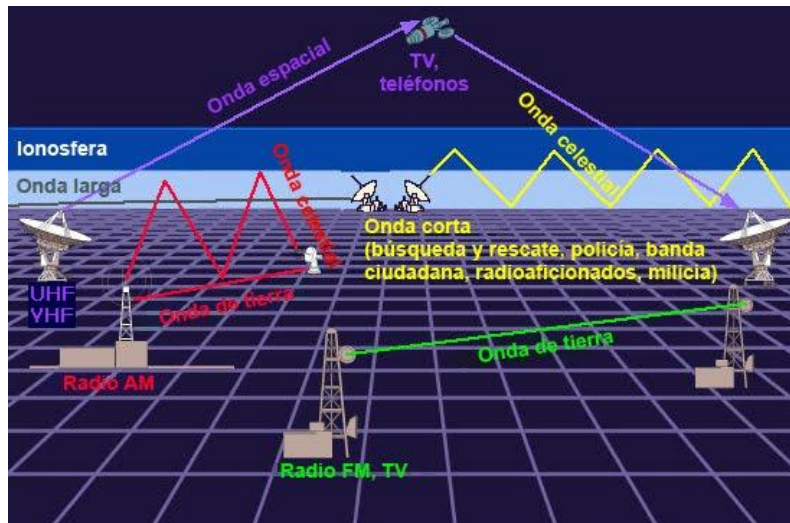


Figura 1. Ondas de Radio- Señales de AM y FM

#### 6.2.1.1.1. Frecuencia Modulada (FM)

Son estaciones de radiodifusión que operan en la banda comprendida entre 88 a 108 MHz con una canalización de cada 400 KHz dentro de una misma zona geográfica y con un ancho de banda de 180 KHz para estaciones monoaurales (sonido que solo está definido por un canal) y de 200 KHz para las estereofónicas. Pueden formar sistemas con una estación matriz y repetidoras para emitir la misma y simultanea programación. Es la banda más popular para las zonas urbanas y su cobertura depende de la propagación por línea de vista así como difracción en obstáculos agudos. Eventualmente se tiene una propagación troposférica causada por hidrometeoros como la lluvia y la nieve en capas superiores de la atmósfera. El Plan Nacional de Frecuencias establece que la banda de 88-108 MHz es atribuida exclusivamente al servicio de radiodifusión Sonora en Frecuencia Modulada (FM).

#### **6.2.1.1.2. Amplitud Modulada (AM)**

Son estaciones de radiodifusión que operan en la banda comprendida en 535 a 1605 KHz, más conocida como "Banda AM" u Onda Media estándar. Esta banda es la más popular en las áreas rurales por su cobertura extensa debido a su propagación por onda de tierra principalmente. El nombre proviene del tipo de modulación de la señal portadora. La canalización es cada 20 KHz con un ancho de banda de 10 KHz. Las frecuencias primeras (parte de debajo de la banda) sufren menos atenuación por el tipo de terreno que las señales superiores de la banda.

El Plan Nacional de Frecuencias establece que las bandas 525 - 535 kHz, 535 – 1.605 kHz, 1.605 – 1.625 kHz, 1.625 – 1.705 kHz, son atribuidas al servicio de Radiodifusión Sonora en Amplitud Modulada,

### **6.3. Radiodifusión Digital**

La Radio Digital Terrestre es un sistema de radiodifusión de audio, que se distingue por la emisión de señal digital. Actualmente existen tres sistemas de radiodifusión digital conocidos a nivel mundial: IBOC (In-band On- Channel), DAB (Digital Audio Broadcasting) y DRM (Digital Radio Mondiale).

El presente tema de estudio solo se referirá a dos estándares de radiodifusión digital el IBOC y DRM debido que son los más opcionales que adopte Ecuador.

### **6.4. Radio Digital**

La radio digital es la transmisión y la recepción de sonido que han sido procesados utilizando una tecnología comparable a la que se usa en los reproductores de discos compactos. En síntesis, un transmisor de radio digital convierte sonidos en series de números o dígitos, de ahí el término "radio digital." En cambio, las radios analógicas tradicionales convierten los sonidos en series de señales eléctricas que se asemejan a ondas de sonido.

Como en radiodifusión Analógica se encuentra distintas formas de transmisión:

- ✚ **La radio digital FM** es capaz de proporcionar un sonido claro de calidad comparable a la de los CDs. Los receptores digitales proporcionan un sonido significativamente más claro que las radios analógicas convencionales, así como los CDs tienen un sonido más claro que los discos de álbum.
  
- ✚ **La radio digital AM** puede proporcionar un sonido de calidad equivalente a la de la radio analógica FM, y suena mucho mejor que la radio analógica AM. Algunas estaciones de radio creen que la radiodifusión digital podría traer de nuevo programación musical a la banda AM.

La recepción de la radio digital es más resistente a las interferencias, y elimina muchas imperfecciones de la transmisión y recepción de la radio analógica. Podría producirse alguna interferencia en las señales de radio digital en las áreas distantes de la emisora de la estación.

### **6.5. Ventajas De La Radio Digital Terrestre**

Además del Multicasting hay otras ventajas que ofrece la transmisión digital tenemos las siguientes:

- ✚ **Calidad**

Es muy superior a los sistemas analógicos. El sonido de una FM se asemejará al de un CD y el de la AM y la Onda Corta a la actual FM. Además, se eliminarán las alteraciones de la señal y las interferencias, mejorando la calidad principalmente en los automóviles o cuando escuchamos la radio en movimiento.

- ✚ **Igual cobertura con menor potencia**

Lograremos la misma cobertura de la señal con menos watts digitales. Esto supondrá una pequeña reducción de los costos eléctricos.

### **Selección automática de frecuencia**

Para países que tienen circuitos nacionales de radio la transmisión digital constituirá una gran ventaja. Hasta ahora, cada zona de cobertura tiene una frecuencia diferente y al cambiar de ciudad a ciudad, como al viajar en auto, debes resintonizar para seguir escuchando la misma emisora. Con la radio digital el dispositivo receptor lo hace sólo.

### **Servicios adicionales**

En la pantalla de los nuevos receptores digitales aparecerá información meteorológica, sobre tráfico, noticias de última hora, cotizaciones de bolsa... Se pueden difundir datos, habrá mayor interactividad y, sobre todo, más publicidad.

A continuación se detallara brevemente los dos estándares de radiodifusión Digital que se estudiara en este proyecto.

## **6.6. Canal dentro de Banda (IBOC)**

IBOC permite a las emisoras tener transmisiones de señales digitales, en simultáneo con señales analógicas, sin tener que utilizar otra banda de frecuencias, y sin que haya ninguna interferencia entre ambas, lo que se conoce como un modo híbrido (multicast) del estándar, el otro modo de transmisión es totalmente digital. Lo que permite una transición gradual de sistema analógico a digital en la zona geográfica dónde se aplique.

La tecnología IBOC, fue aprobada en 2002 como estándar digital único para AM y FM por la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC), los principales países donde se encuentra implementada son Estados Unidos, Tailandia, Indonesia, Nueva Zelanda, Brasil, Filipinas, Panamá y Puerto Rico, como principal ventaja tiene la posibilidad de convivencia de receptores analógicos y digitales mediante la misma señal recibida, mientras que el principal inconveniente es la convivencia de ambas señales puede producir solapamientos y, por tanto, pérdidas cualitativas.

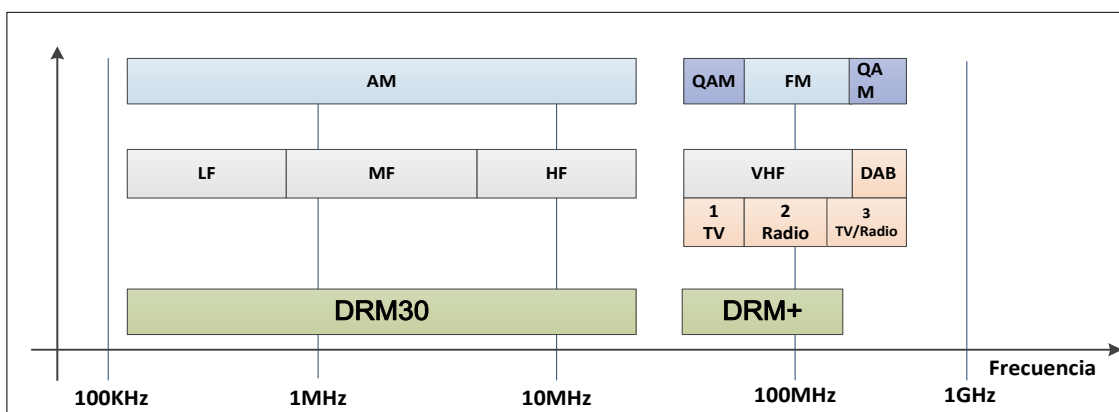
Bandas de transmisión utilizadas por IBOC son: inferiores a 30MHz (AM), incluyendo así frecuencias de 535 a 1605 KHz (OC) y FM 88 a 108 MHz.

## Características básicas

- ✚ Capacidad para la transmisión de audio y datos
- ✚ Calidad de la señal de radio en recepción similar a FM
- ✚ Alta compresión de audio
- ✚ Buena relación entre robustez y calidad
- ✚ Eficiencia del uso del espectro radioeléctrico
- ✚ Posibilidad de enviar señales estereofónicas

### 6.7. Radio Digital Mundial (DRM)

El sistema de radiodifusión DRM ha sido diseñado por las compañías de radiodifusión para las compañías de radiodifusión, si bien con la asistencia y participación activas de los fabricantes de transmisores y receptores, así como de otras partes interesadas (como los organismos reguladores). Se ha diseñado específicamente como una sustitución digital de alta calidad de la radiodifusión analógica en las bandas AM y FM/VHF y como tal se puede operar con las mismas asignaciones de canales y espectro que se emplean actualmente. En la figura 2 se muestra una perspectiva de las bandas de frecuencia en las que opera DRM.



*Figura 2. Bandas de frecuencia en la que opera el DRM.*

- ✚ Modos “DRM30”, que están específicamente diseñados para utilizar las bandas de radiodifusión AM por debajo de 30 MHz.



- ✚ Modos “DRM+”, que utilizan el espectro de 30 MHz a VHF banda III, centrada en la radiodifusión FM de banda II. El sistema DRM+ funciona con tasas de 35 kbps a 185 kbps, al igual que el DRM.

Aparte de la capacidad de acoplarse a los requisitos actuales en materia de espectro, el sistema DRM también se beneficia de ser un sistema abierto. Todos los fabricantes disponen de acceso libre a las normas técnicas completas y pueden diseñar y fabricar equipo de una manera equitativa. Esto ha demostrado representar un mecanismo importante para asegurar la introducción al mercado de sistemas nuevos, así como para acelerar el índice de reducción de precios del equipo. Esto es un tema importante para las compañías de radiodifusión y aún más para los radioyentes, que tendrán que invertir en nuevos receptores con capacidad DRM.

Si una emisora decide utilizar para sus transmisiones el sistema de radio digital DRM, puede transmitir su señal utilizando un transmisor de baja potencia y tener una cobertura aceptable en comparación con el sistema de radio analógico.

## 7. MÉTODOS Y MATERIALES

El presente estudio técnico comparativo de IBOC y DRM de radiodifusión digital es un diseño no experimental basado en el método analítico porque utiliza bibliografía ya establecida, se revisan uno por uno los diversos documentos o libros que nos proporcionarán los datos buscados, también se recurrirá al método sintético para facilitar la reconstrucción de toda la información obtenida en el método analítico, el método comparativo y por último el método deductivo que nos ayudara a determinar conclusiones del tema de estudio, el proyecto tiene un alcance descriptivo, exploratorio y explicativo. Nuestro estudio técnico está estructurado mediante Fases donde se fundamentara de la mejor manera cada sección para que sea explícito para el lector.

**Primera Fase:** Mediante bibliografía existente se buscara información en libros, en páginas web, y en los diferentes organismos regulatorios de las telecomunicaciones, con toda la información que accedamos podremos definir algunos conceptos básicos de la radiodifusión sonora digital, además la situación actual de la radiodifusión sonora

en la ciudad de Loja, funcionamiento de la radio digital , características técnicas, el sistema básico de la radio digital, componentes, espectro interfaces, ventajas y desventajas de la radio digital y la calidad de sonido que se obtiene al usar una norma de radiodifusión Digital.

**Segunda Fase:** Mediante las páginas proporcionadas por estándares de radiodifusión sonora digital, páginas web del internet y mediante información de tesis realizadas en el país, se argumenta todos los aspectos técnicos, características generales, modos de transmisión, tipos de codificación, espectro, multiplexación, tramas, infraestructura de transmisión, y arquitecturas de los estándares de transmisión digital.

**Tercera Fase:** Realizado las dos primeras fases se podrá desarrollar una comparación entre los dos estándares de radiodifusión digital IBOC y DRM y un análisis de tecnología, costes, y equipos. El avance de este capítulo nos determinara el estándar de radiodifusión digital más factible para una posible implementación en nuestra ciudad de Loja.

**Cuarta Fase:** En esta sección se desarrollara la propuesta técnica del Estándar de Radiodifusión Digital más viable para las Estaciones de Radio FM de la ciudad de Loja con su respectiva propuesta económica para la migración.

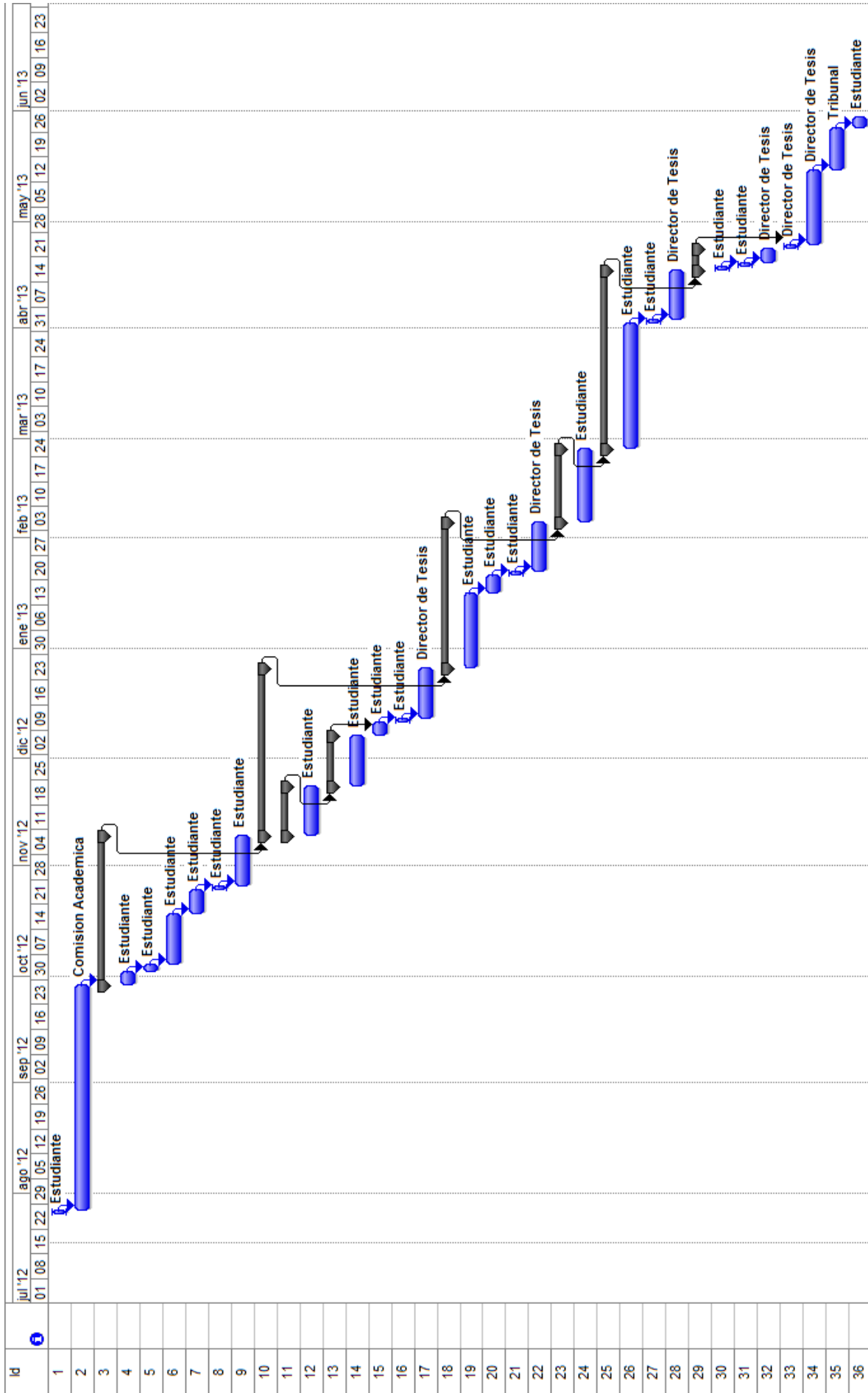
**Quinta Fase:** Una vez obtenido todos los objetivos propuestos en el anteproyecto se procederá a concluir y a describir recomendaciones acerca del estudio técnico realizado.

## **7.1. Materiales**

Para el presente proyecto se utilizara un equipo informático que facilitara la redacción, la compilación de información que se obtendrá de diferentes fuentes y acceder a páginas web y además se utilizara una memoria portátil USB para almacenar información sin ningún problema.

## 8. CRONOGRAMA

Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesor	Nombres de los recursos
1	Presentacion del Anteproyecto	1 día	jue 26/07/12	vie 27/07/12		Estudiante
2	Aprobación del Perfil	45 días	vie 27/07/12	vie 28/09/12	1	Comision Academica
3	<b>Capitulo 1: Conceptos de Radiodifusion</b>	<b>30 días</b>	<b>vie 28/09/12</b>	<b>vie 09/11/12</b>	<b>2</b>	
4	Consulta en paginas Web	2 días	vie 28/09/12	mar 02/10/12		Estudiante
5	Consultas en Libro	2 días	mar 02/10/12	jue 04/10/12	4	Estudiante
6	Procesamiento de la Informacion	10 días	jue 04/10/12	jue 18/10/12	5	Estudiante
7	Readaccion del Capitulo 1	5 días	jue 18/10/12	jue 25/10/12	6	Estudiante
8	Presentacion del Avance 1	1 día	jue 25/10/12	vie 26/10/12	7	Estudiante
9	Correccion del Avance	10 días	vie 26/10/12	vie 09/11/12	8	Estudiante
10	<b>Capitulo 2: Estandares de Radiodifusion</b>	<b>33 días</b>	<b>vie 09/11/12</b>	<b>mié 26/12/12</b>	<b>3</b>	
11	<b>IBOC</b>	<b>10 días</b>	<b>vie 09/11/12</b>	<b>vie 23/11/12</b>		<b>Estudiante</b>
12	Definicion de Parametros Tecnicos	10 días	vie 09/11/12	vie 23/11/12		Estudiante
13	<b>DRM</b>	<b>10 días</b>	<b>vie 23/11/12</b>	<b>vie 07/12/12</b>	<b>11</b>	<b>Estudiante</b>
14	Definicion de Parametros Tecnicos	10 días	vie 23/11/12	vie 07/12/12		Estudiante
15	Readaccion del Capitulo 2	2 días	vie 07/12/12	mar 11/12/12	13	Estudiante
16	Presentacion del Avance 2	1 día	mar 11/12/12	mié 12/12/12	15	Estudiante
17	Correccion del Avance	10 días	mié 12/12/12	mié 26/12/12	16	Director de Tesis
18	<b>Capitulo 3: Comparacion y Analisis de Estandares</b>	<b>29 días</b>	<b>mié 26/12/12</b>	<b>mar 05/02/13</b>	<b>10</b>	
19	Comparacion y Analisis de IBOC y DRM	15 días	mié 26/12/12	mié 16/01/13		Estudiante
20	Determinacion del estandar de radiodifusion	3 días	mié 16/01/13	lun 21/01/13	19	Estudiante
21	Presentacion del Avance 3	1 día	lun 21/01/13	mar 22/01/13	20	Estudiante
22	Correccion del Avance	10 días	mar 22/01/13	mar 05/02/13	21	Director de Tesis
23	<b>Capitulo 4: Aspecto Regulatorio de Estandares</b>	<b>15 días</b>	<b>mar 05/02/13</b>	<b>mar 26/02/13</b>	<b>18</b>	
24	Desarrollo	15 días	mar 05/02/13	mar 26/02/13		Estudiante
25	<b>Capitulo 5: Propuesta Tecnica</b>	<b>36 días</b>	<b>mar 26/02/13</b>	<b>mié 17/04/13</b>	<b>23</b>	
26	Desarrollo de la propuesta del estandar	25 días	mar 26/02/13	mar 02/04/13		Estudiante
27	Presentacion del Avance 4 y 5	1 día	mar 02/04/13	mié 03/04/13	26	Estudiante
28	Correccion del Avance	10 días	mié 03/04/13	mié 17/04/13	27	Director de Tesis
29	<b>Capitulo 6: Conclusiones y Recomendaciones</b>	<b>4 días</b>	<b>mié 17/04/13</b>	<b>mar 23/04/13</b>	<b>25</b>	
30	Conclusiones y Recomendaciones	1 día	mié 17/04/13	jue 18/04/13		Estudiante
31	Presentacion del Capitulo 6	1 día	jue 18/04/13	vie 19/04/13	30	Estudiante
32	Correccion del Capitulo 6	2 días	vie 19/04/13	mar 23/04/13	31	Director de Tesis
33	<b>Presentacion final de la tesis</b>	<b>1 día</b>	<b>mar 23/04/13</b>	<b>mié 24/04/13</b>	<b>29</b>	<b>Director de Tesis</b>
34	<b>Aprobacion y correccion de la tesis</b>	<b>15 días</b>	<b>mié 24/04/13</b>	<b>mié 15/05/13</b>	<b>33</b>	<b>Director de Tesis</b>
35	<b>Aprobacion tribunal</b>	<b>8 días</b>	<b>mié 15/05/13</b>	<b>lun 27/05/13</b>	<b>34</b>	<b>Tribunal</b>
36	<b>Presentacion de empastados</b>	<b>3 días</b>	<b>lun 27/05/13</b>	<b>jue 30/05/13</b>	<b>35</b>	<b>Estudiante</b>



## 9. PRESUPUESTO

El desarrollo de este estudio técnico implica un gasto económico, para poder alcanzar los objetivos plasmados en el proyecto se divide en tres secciones: viáticos y servicios, recursos materiales y recursos Humanos.

Presupuesto	
Actividades	Costo (\$)
<b>Viáticos y Servicios</b>	
Búsqueda de documentación General sobre el tema	50.00
Gastos de búsqueda en Internet	150.00
Visitas a las entidades Respectivas	100.00
Gasto en llamadas telefónicas	50.00
Transporte	100.00
<b>Recurso Materiales</b>	
Revistas	80.00
Material de Impresión	50.00
Materiales de Oficina	50.00
Fotocopias	10.00
<b>Recurso Humanos</b>	
Tutorías	100.00
Otros	100.00
<b>Total</b>	<b>840.00</b>

*Tabla1. Presupuesto para elaboración del proyecto de Tesis.*

## 10. FINANCIAMIENTO

No existe ninguna fuente de financiamiento para este proyecto ya que es desarrollado de forma personal con fines académicos y no con la responsabilidad de satisfacer la necesidad de alguna empresa local.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

### LIBRO:

- [1]. Tomasi W. (2003). *SISTEMA DE COMUNICACIONES ELECTRÓNICAS*. Traducción Guillermo Trujano Mendoza. 4ta edición. México, 948p.

### TESIS:

- [2]. Ocaña A. (2005). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN DIGITAL IBOC EN EL ECUADOR*. (Tesis en memoria para optar el título de Ingeniera Electrónica). Facultad De Ingeniería Electrónica, Escuela Politécnica Del Ejército, Quito, Ecuador. 399p.
- [3]. Puente, M. (2005), *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACION DEL SERVICIO DE RADIODIFUSION DIGITAL DRM (DIGITAL RADIO MONDIALE) EN EL ECUADOR*. Tesis de ingeniería en Electrónica, Facultad de Ingeniería Electrónica, Sangolqui, Ecuador. 324p

### PÁGINAS WEB:

- [4]. ETSI ES 201 980 V3.2.1. (2012). *DIGITAL RADIO MONDIALE (DRM); SYSTEM SPECIFICATION*. Documento en línea: [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_es/201900\\_201999/201980/03.02.01\\_60/es\\_201980v030201p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_es/201900_201999/201980/03.02.01_60/es_201980v030201p.pdf). Consulta: 3 de enero del 2013.
- [5]. Velasco S. (2007). *LA RADIODIFUSIÓN*. Documento en línea: [http://www.foroswebgratis.com/mensaje-que\\_es\\_la\\_radiodifusion-86650-691801-1-2256548.htm](http://www.foroswebgratis.com/mensaje-que_es_la_radiodifusion-86650-691801-1-2256548.htm). Consulta 12 de julio del 2012.

- [6]. Recomendación UIT-R BS.1514-1. (2011). *SISTEMA PARA RADIODIFUSIÓN SONORA DIGITAL EN LAS BANDAS DE RADIODIFUSIÓN POR DEBAJO DE 30 MHZ*. Documento en línea: <http://www.itu.int/pub/R-REC/es>. Consulta: 2 de mayo del 2013.
- [7]. Vara A. (2008). Una guía efectiva para obtener el grado de Maestro y no desistir en el Intento. Documento en línea: <http://www.slideshare.net/nidelvi/gua-tesis-de-maestria-en-educacion>. Consulta 13 de julio del 2012].
- [8]. SUPERTEL. (2011). Información Básica: Radiodifusión. Documento en línea: <http://www.supertel.gob.ec/index.php/Radiodifusion-Television-y-Audio-y-Video-por-susc/informacion-basica-radiodifusion.html>. Consulta: 13 de junio del 2012].
- [9]. CNAF 2005 NOTAS UN. Documento en línea: <http://www.upf.edu/bibtic/serveis/xarxes/eduroam/legislaci/cnaf.pdf>. Consulta 10 de septiembre del 2012.