

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE  
COMUNICACIÓN



## INFORME CIENTÍFICO

**TEMA:**

“ANÁLISIS TÉCNICO-TEÓRICO SOBRE LA DIGITALIZACIÓN DE LA  
RADIODIFUSIÓN SONORA APLICANDO EL ESTÁNDAR DIGITAL  
RADIO MONDIALE (DRM) EN LA EMISORA UNIVERSITARIA DEL  
DEPARTAMENTO DE COMUNICACIÓN ORGANIZACIONAL Y  
TELEVISIÓN DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE”

**AUTOR:** SINTHYA ELIZABETH TOCAGÓN BONILLA

**DIRECTOR:** ING. DANIEL JARAMILLO

IBARRA - ECUADOR

MARZO 2016

# Análisis Técnico-Teórico sobre la Digitalización de la Radiodifusión Sonora aplicando el estándar Digital Radio Mondiale (DRM) en la EMISORA UNIVERSITARIA del departamento de comunicación organizacional y televisión.

Sinthya E. Tocagón B.  
sintyka@hotmail.com

Ingeniería en Electrónica y redes de Comunicación, Universidad Técnica del Norte, Ibarra - Ecuador

**Resumen**— Este proyecto se desarrolla con la finalidad de tener un uso eficiente del espectro de frecuencias ya que actualmente se encuentra saturado en las principales provincias, por tal razón se realiza un estudio de nuevas tecnologías de radiodifusión digital que además de fomentar de forma teórica cada definición de los sistemas de radiodifusión digital y los costos asociados en el proyecto se efectúa una proyección de cobertura de la digitalización usando el estándar DRM DIGITAL RADIO MONDIALE. Además se propone la migración de la tecnología analógica a la digital, asimismo del diseño actual de la radio difusión analógica y sus cambios para el funcionamiento de la emisión digital aplicando esta nueva tecnología, también se detalla el uso del software ICS TELECOM para realizar la predicción de cobertura en la estación.

**Índice de Términos**—DRM+, Estándar, Migración, Radiodifusión.

## I. INTRODUCCIÓN

**LA RADIODIFUSIÓN EN ECUADOR.** Tiene su origen en el año de 1929 en la provincia de Chimborazo, en donde su primera emisión de radiodifusión fue desde una estación radial conocida como “EL PRADO” prestando así su servicio a la ciudadanía ecuatoriana. Esta transmisión tenía un alcance de más o menos 60 metros y para sus inicios se transmitió pocas horas diarias por varios días, en ese entonces no existía regulación que rigiera para ese tipo de transmisiones, únicamente se les asignaba una identificación la cual era, para ECUADOR, SE1G.

En el Departamento de Comunicación Organizacional y Televisión de la UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE; la emisión de la radiodifusión sonora es transmitida a través de la

banda FM hacia las provincias de Carchi e Imbabura, ocasionando que el área de cobertura sea limitada y que además ocupe un gran ancho de banda. La falta de interés en el área de radiodifusión y su poco apoyo en el uso de nuevas tecnologías, provocan que este medio de comunicación no brinde mayor cobertura y calidad de transmisión.

## II. DEFINICIÓN, TECNOLOGÍA Y EQUIPOS.

### A. ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

Los sistemas de telecomunicaciones utilizan el espectro radioeléctrico, que comprende las bandas de frecuencia útiles para proveer los servicios de radiocomunicación y abarcan, desde frecuencias inferiores a 1KHz hasta los 300 GHz.



Fig. 1. Bandas de Frecuencia del Espectro Radioeléctrico

**Las radiofrecuencias (RF)** — son un grupo de ondas especiales que tienen identidad propia dentro del gran espectro electromagnético y conforman el espectro radioeléctrico.

**B. SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS**

Las ondas viajeras se pueden dividir en tres tipos o formas de propagación

1) *Ondas Terrestres o de Superficie:*

Son las que avanzan sobre la superficie de la tierra, estas ondas están sujetas a obstrucción de objetos ya sean estos los edificios, arboles, etc.

2) *Ondas Directas o Espaciales:*

Estas ondas siguen el camino de las capas altas de la atmosfera, es decir siguen la curvatura de la tierra.

3) *Ondas ionosféricas:*

La onda ionosfera por sus características actúa como espejo devolviendo las ondas a la tierra.

**C. SISTEMAS DE RADIODIFUSIÓN**

Radiodifusión: Es un concepto más restringido que el de radio, radiofrecuencia u ondas de radio, ya que se refiere únicamente a las transmisiones destinadas a ser recibidas por un grupo de oyentes.

1) *Servicio de radiodifusión terrenal:*

Su limitación es el alcance (varios kilómetros) dependiendo de la potencia emitida lo que ocasiona consumir mucha más energía eléctrica, aunque es posible aumentarlo añadiendo varios centros emisores unidos a una única central.

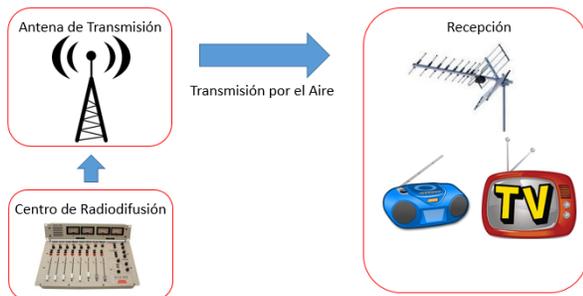


Fig. 2: Esquema de Radiodifusión Terrestre

2) *Servicio De Radiodifusión Por Satélite*

En este servicio se utiliza un enlace ascendente para enviar programación desde un centro de producción a un satélite, y un enlace descendente o de difusión para enviar de forma directa la programación a sus receptores.



Fig. 3: Esquema de Radiodifusión Satelital

**D. ESTRUCTURA BÁSICA DE UN TRANSMISOR DE SEÑAL.**

La figura muestra un esquema de la transmisión básica de una señal, esta consta de una fuente que puede ser un programa de radio o televisión, un oscilador para que sea estable en frecuencia, un filtro que limite el rango de frecuencias, un modulador para transportar la información sobre una portadora, un amplificador para elevar el nivel de la portadora generada por el oscilador y una antena para transmitir la información.



Fig. 4: Esquema de Transmisor de Señal

**E. ESTRUCTURA BÁSICA DE UN RECEPTOR DE SEÑAL.**

En la recepción se tiene una antena receptora, un amplificador ya que al captar la señal puede tener pérdidas y lo que se requiere es aumentar su amplitud o ganancia, un mezclador para hacer una conversión de frecuencias en todas las bandas de frecuencias, un detector que permite comprobar la presencia de radiofrecuencia en osciladores, amplificadores, y su altavoz para escuchar la señal transmitida.

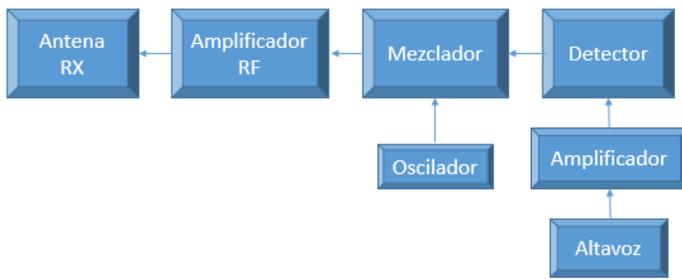


Fig.5: Esquema de un Receptor de señal.

Los sistemas de comunicaciones comprenden tres secciones principales que son: fuente, canal o medio de comunicación y un destino.

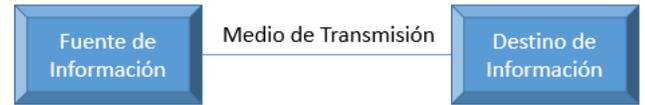


Fig. 8: Sistema básico de comunicaciones

F. SEÑALES ANALÓGICAS Y DIGITALES

Las señales analógicas varían de forma continua entre dos valores. La señal puede tomar todos los valores intermedios entre el máximo y el mínimo.

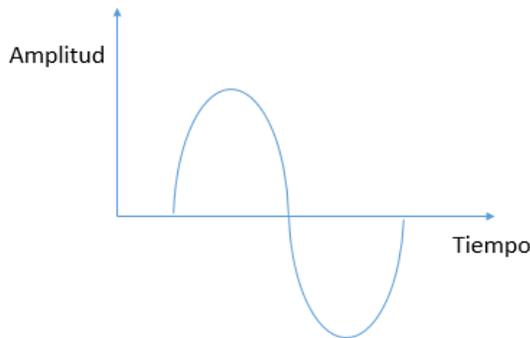


Fig.6: Señal Analógica

Las señales digitales solo pueden tomar dos valores ya sea alto o bajo o uno o cero, además estas señales son menos propensas a sufrir interferencias.

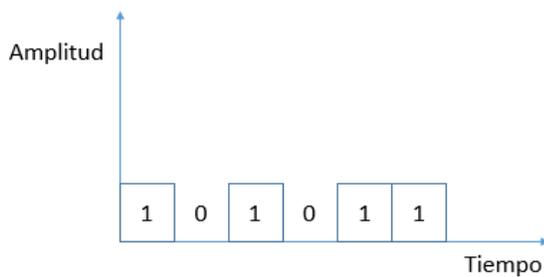


Fig.7: Señal Digital

G. TRANSMISIONES DIGITALES Y ANALÓGICAS

Un sistema de comunicaciones básicamente está compuesto por tres etapas:

- a. Fuente de Información
- b. Destino de Información
- c. Medio de transmisión

H. RADIODIFUSIÓN AM.

Radiodifusión AM o radiodifusión en Amplitud Modulada, es una forma de transmitir una señal (de baja frecuencia) como un conjunto (una banda) de componentes de alta frecuencia.

La modulación en amplitud se diseñó para transmitir audio tanto a onda corta, media y larga y consiste en modificar la amplitud de la señal de la portadora mediante la amplitud de una señal de frecuencia baja como la señal de audio.

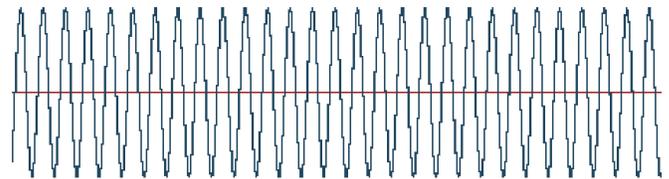


Fig. 91: Señal Portadora

Ahora, la señal de audio de baja frecuencia mostrada en la figura modificara la amplitud de la portadora.

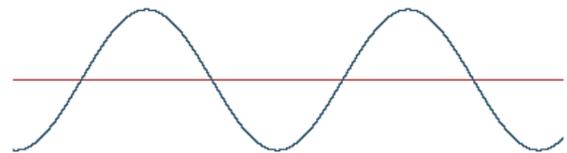


Fig.10: Señal de Audio de Baja Potencia

Y por último, este proceso es conocido como modulación en amplitud y se muestra como la portadora ha cambiado conforme a la señal que se introdujo logrando modificarla.

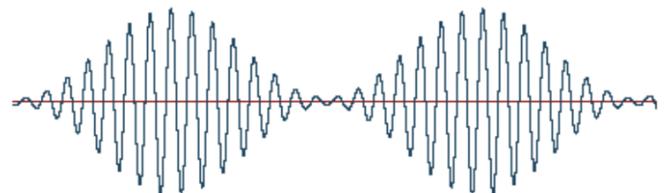


Fig. 11: Resultado de la señal AM estructurada por la portadora y onda de audio.

I. Radiodifusión FM

La radiodifusión en FM o frecuencia modulada, la frecuencia de la señal portadora cambia en proporción con la amplitud de la señal de audio.

**La radiodifusión FM**— tiene una señal de audio la cual se añadirá a la portadora.



Fig. 22: Señal de Audio

En la siguiente figura se muestra la portadora a la cual se añade la señal de audio mostrada anteriormente.



Fig. 13: Portadora

Y como último se observa que la frecuencia en la señal portadora cambia conforme a la amplitud de audio añadida.

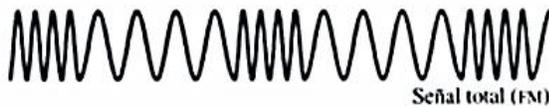


Fig. 14: Resultado de la señal FM estructurada por la portadora y la señal de audio.

J. La Canalización de la Banda de FM

Se establecen 100 frecuencias con una separación de 200 KHz, numeradas del 1 al 100, iniciando la primera frecuencia en 88.1 MHz

1) GRUPOS DE FRECUENCIAS

Se establecen seis grupos para distribución y asignación de frecuencias en el territorio nacional. Grupos: G1, G2, G3 y G4 con 17 frecuencias cada uno, y los grupos G5 y G6 con 16 frecuencias cada uno. La separación entre frecuencias del mismo grupo es de 1.200 kHz. De acuerdo al área de operación independiente FJ001 la provincia de Imbabura contiene los grupos G2, G4 y G6

Para la asignación de frecuencias consecutivas (adyacentes), destinadas a servir a una misma área de operación

independiente o área de operación zonal, deberá observarse una separación mínima de 400 kHz entre las frecuencias portadoras de cada estación.

Definición de áreas de operación independiente, áreas de operación zonal y plan de asignación de frecuencias.

TABLA 1  
Canalización de la Banda FM

ÁREA DE OPERACIÓN INDEPENDIENTE	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE OPERACIÓN INDEPENDIENTE	GRUPOS DE FRECUENCIAS	ÁREAS DE OPERACIÓN ZONAL	FRECUENCIAS DESIGNADAS PARA ESTACIONES LOCALES.
FJ001	Provincia de Imbabura, excepto el cantón Pimampiro y las parroquias Salinas y Ambuquí.	G2, G4 Y G6	Ibarra, Otavalo, Urcuqui, Atuntaqui, Cotacachi y Parroquias de Intag.	88.7 MHz 96.7 MHz 103.1 MHz

\*Nota: Tabla adaptada. Fuente: Datos adquiridos por la ARCOTEL

K. Análisis del espectro en Banda FM

Para este análisis se debe considerar el espectro total utilizado sobre la banda asignada del servicio que tendría como resultado el porcentaje del uso espectral como se muestra en la ecuación (1).

$$\% \text{ Uso Espectral} = \frac{\text{Espectro Utilizado}}{\text{Banda Asignada del Servicio}} \times 100\%$$

(1)

$$\% \text{ Uso Espectral} = \frac{(50 * 200 \text{ KHz}) \times 100\%}{(108 - 88) \text{ MHz}} = 50\%$$

(2)

Según los datos adquiridos por ARCOTEL y presentados en la tabla anterior, la ciudad de Ibarra pertenece a la zona FJ001 la cual contiene a los grupos de frecuencias G2, G4 y G6, sumando estos grupos da un total de 50 canales para la asignación de frecuencias.

**Base de datos de SIRATV**— se puede observar que más de la mitad de las frecuencias están ocupadas.

Esto representa una saturación progresiva como se muestra en ecuación (3).

$$\% \text{ Saturación del Espectro} = \frac{\text{Número de frecuencias asignadas}}{\text{Número de canales disponibles}} \times 100\%$$

(3)

Son 38 estaciones o canales que actualmente están asignadas en la provincia de Imbabura.

$$\text{Saturación}_{FM-Imbabura} = \frac{38 \text{ estaciones} \times 100\%}{50 \text{ canales}} = 76\%$$

(4)

Se dispone de 800 canales a nivel nacional, esto se debe a las zonas geográficas y los grupos de frecuencias, esto incluyen a los 3 Grupos G2, G4 y G6 que suman 50 canales multiplicados por el promedio de frecuencias por grupo.

A nivel nacional se tiene 936 estaciones entre públicas, privadas y comunitarias, lo que da como resultado una saturación en el espectro como lo muestra la siguiente ecuación

$$\text{Saturación}_{FM-Ecuador} = \frac{936 \text{ estaciones} \times 100\%}{800 \text{ canales}} = 117\%$$

(5)

**L. DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA DE RADIO DIGITAL**

Básicamente un sistema de radio digital sigue un proceso para transformar una fuente analógica en digital. En la figura 15 se muestra un diagrama de bloques que representa el mencionado proceso de un sistema de radio digital.

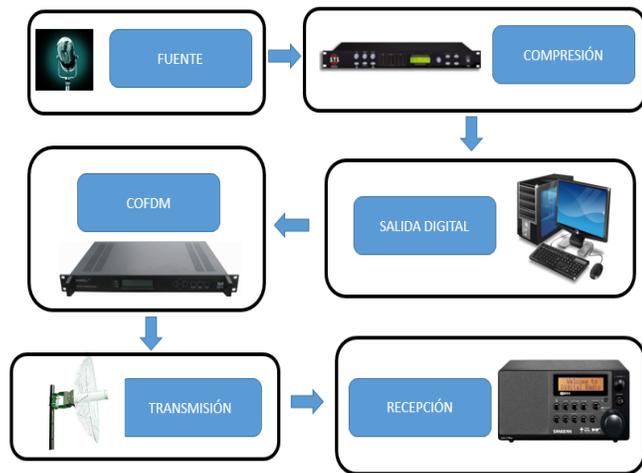


Fig. 15. Diagrama de Bloques Sistema de Radio Digital

El proceso se divide en:

- ✓ Fuente: Es el sonido original, señal analógica.
- ✓ Compresión: La compresión se la realiza a través de un sistema que reduce la cantidad de información digital requerida para ser transmitida.
- ✓ Digitalización: En esta etapa se convierte la señal en datos binarios o dígitos binarios.
- ✓ Modulación: Mediante COFDM (multiplexado por división de frecuencia ortogonal codificada) se eliminan las interferencias, estas interferencias pueden ser atmosféricas, de otros equipos eléctricos o los grandes obstáculos como edificios grandes.
- ✓ A través de la multiplexación se transmiten varios programas y servicios por un solo bloque de frecuencias.
- ✓ Finalmente en un receptor digital se tiene sonidos digitales e información visual.

**M. SFN REDES DE FRECUENCIA ÚNICA**

Los esquemas de las redes de frecuencia única son de algún modo análogo a los sistemas de comunicación sin cables tales como la telefonía móvil o los sistemas WI-FI.

Se les suele nombrar como sistemas que transmiten con macro-diversidad, con CDMA “soft handoff” o redes de frecuencia única dinámica.

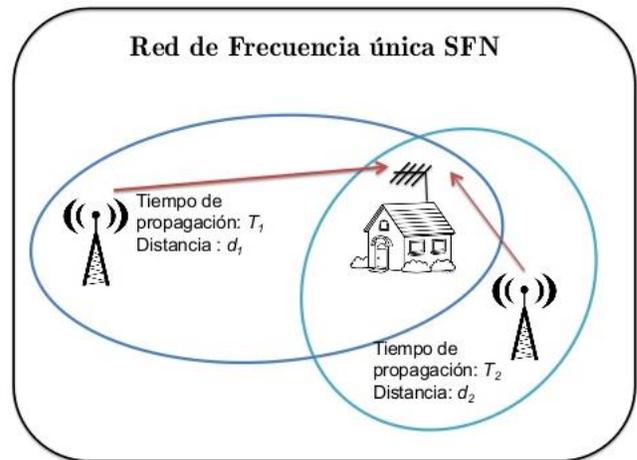


Fig. 16: Esquema de Funcionamiento redes SFN

La transmisión con redes de frecuencia única se puede considerar como una forma de propagación multi-camino. Los receptores reciben los ecos de la misma señal, de modo que pueden formar interferencia constructiva o destructiva que pueden producir desvanecimientos o “fading”.

**N. ESTADARES DE RADIODIFUSIÓN DIGITAL**

Los estándares más usuales en la digitalización de la radiodifusión sonora son los siguientes.

1) **RADIODIFUSIÓN DIGITAL DAB**

DAB (DIGITAL AUDIO BROADCASTING) es una norma europea y un estándar adoptado por el ETSI (European Telecommunications Standards Institute – Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones) y la EBU (European Broadcasting Union – Unión Europea de Radiodifusión). Los países en donde se utilizan este sistema son: España, Italia, Suecia, Alemania, Francia, Reino Unido y Bélgica, Canadá y algunos países asiáticos, como China.

Las bandas de transmisión utilizadas son:

- ✓ Banda III (de los 174 a 240 MHz)
- ✓ Banda L (de los 1452 a 1492 MHz)

2) **RADIODIFUSIÓN DIGITAL IBOC**

IBOC (IN BAND ON CHANNEL) es un término que describe la existencia de AM y FM como bandas de radiodifusión analógica y esquemas de canal para las transmisiones digitales.

Las bandas de transmisión utilizadas son inferiores a 30MHz (AM), incluyendo así frecuencias de 535 a 1710 kHz (OC) y FM 88 a 108 MHz.

Trabajan en la banda MF (300–3000 kHz) que tiene como ejemplos Radiodifusión en AM (onda media), Radio afición, Balizamiento de Aludes.

La diferencia entre el sistema digital IBOC AM y FM es que FM cuenta con un excitador análogo y a este se le añade un excitador de IBOC.

3) **ISDB-T**

ISDB o Radiodifusión Digital de Servicios Integrados es un conjunto de normas creado por Japón para las transmisiones de radio digital y televisión digital.

Como la norma europea DVB, ISDB está conformado por una familia de componentes. La más conocida es la de televisión digital terrestre (ISDB-T e ISDB-Tb) pero también lo conforman la televisión satelital (ISDB-S), la televisión por cable (ISDB-C), etc.

Características

- ✓ Transmisión de un canal HDTV y un canal para teléfonos móviles dentro de un ancho de banda de 6 MHz, reservado para transmisiones de TV analógicas.
- ✓ Permite seleccionar la transmisión entre dos y tres canales de televisión en definición estándar (SDTV) en lugar de uno solo en HDTV, mediante el multiplexado de canales SDTV. La combinación de

estos servicios puede ser cambiada en cualquier momento.

4) **RADIODIFUSIÓN DIGITAL DRM**

DRM (DIGITAL RADIO MONDIALE) es un estándar de radio digital que ha sido diseñado por los organismos de radiodifusión que en si eran compañías y organizaciones que intentaban crear un estándar internacional, con la asistencia y participación activa de fabricantes de transmisores y receptores y otras partes interesadas como las instancias reguladoras como ETSI – UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones).

En la página oficial de DRM se describen varios modos de funcionamiento, que pueden ser ampliamente divididos en dos grupos, estos son:

- ✓ Modos DRM30, están diseñados específicamente para utilizar las bandas de radiodifusión AM por debajo de 30 MHz
- ✓ Modos DRM+, utilizan el espectro de 30MHz a 300MHz, centrada en la banda II de radiodifusión FM
  - a. Análisis del Espectro de DRM +

Como se observó con FM, se realizara el mismo proceso con el estándar DRM+ se toman los mismos parámetros para realizar este análisis. Es decir, se toma el canal total del espectro en uso con la diferencia que para el modo combinado se añade los 200 KHz en la suma del espectro.

$$\% \text{ Uso Espectral} = \frac{\text{Espectro Utilizado}}{\text{Banda Asignada del Servicio}} \times 100\%$$

(6)

$$\% \text{ Uso Espectral} = \frac{(50 * (200 + 100) \text{ KHz}) \times 100\%}{(108 - 88) \text{ MHz}} = 75\%$$

(7)

Como se observa en la ecuación (7), al usar la combinación de FM y DRM+ se obtiene un 75% de uso eficiente del espectro. Mientras que si se realiza todo el sistema digital se obtiene mejor eficiencia ya que la utilización del espectro tendría 199 canales de 100 KHz desde 88.1 hasta 107.9 MHz.

$$\% \text{ Uso Espectral}_{\text{Nacional}} = \frac{(199 \text{ canales} * 100 \text{ KHz}) \times 100\%}{(108 - 88) \text{ MHz}} = 99.5\%$$

(8)

Dentro de las características de DRM se menciona que se tiene multiservicios, es decir que puede tener hasta 4 servicios por el mismo ancho de banda.

Si se realiza un análisis de la saturación del espectro pero con la combinación de FM y DRM+ se tiene el siguiente resultado.

$$\% \text{ Saturación}_{FM-DRM+} = \frac{(50 \text{ estaciones}) \times 100\%}{(50 \text{ canales} \times 4 \text{ estaciones})} = 25\% \quad (9)$$

El resultado de la ecuación (9) demuestra que se tiene un 25% menos de saturación al combinar FM y DRM+. Si este proceso se lo aplica a nivel nacional se tiene.

$$\% \text{ Saturación}_{FM-DRM+ - Nacional} = \frac{(936 \text{ estaciones}) \times 100\%}{(800 \text{ canales} \times 4 \text{ estaciones})} = 29.25\% \quad (10)$$

Esto representa un 29.25% de disminución de saturación del espectro a nivel nacional en el caso de la implementación un híbrido entre FM y DRM+.

Para el caso de tener un sistema digital completo es decir todo con DRM+, se tendría lo siguiente:

$$\% \text{ Saturación}_{DRM+ - Ibarra} = \frac{(38 \text{ estaciones}) \times 100\%}{(199 \text{ canales} \times 4 \text{ estaciones})} = 4.77\% \quad (11)$$

Se observa una menor saturación en la zona de la ciudad de Ibarra, ahora, a nivel nacional con un sistema completo DRM+ permite 2 transmisores por canal adyacente y se tendría lo siguiente:

$$\% \text{ Saturación}_{DRM+ - Nacional} = \frac{(936 \text{ estaciones}) \times 100\%}{(800 \times 2) \text{ canales} \times 4 \text{ estaciones}} = 14.625\% \quad (12)$$

Este resultado nos brinda una menor saturación a nivel nacional con el sistema completamente digital usando DRM+.

### O. VALOR AGREGADO DE LA RADIO DIGITAL

La evolución en la tecnología ha hecho posible que las emisoras de radio tengan la posibilidad de acceder a los servicios de la digitalización con ciertas ventajas que se las considera valor agregado.

Como se puede observar en la figura siguiente, la digitalización proporciona servicios adicionales y flexibilidad

para administrar la información además de contenidos multimedia como publicidad, imágenes, juegos y demás.

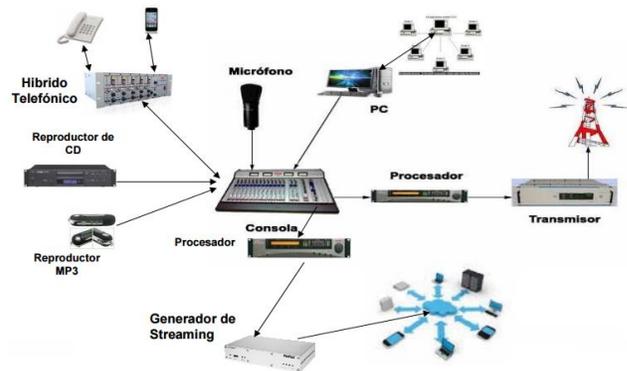


Fig. 17. Valor Agregado en Radio Digital

DRM cuenta con servicios de valor agregado propios de consorcio:

- ✓ Mensajes de texto DRM
- ✓ Servicio de información de texto JOURNALINE
- ✓ EPG
- ✓ SLIDESHOW
- ✓ DIVEEMO

### III. PROPUESTA DE DIGITALIZACIÓN DE LA RADIO UNIVERSITARIA APLICANDO EL ESTÁNDAR DRM.

Para la propuesta de digitalización se consideran parámetros propios de ubicación de la estación de radio UTN.

Tabla 2. Ubicación de la Estación de Radio en Cerro Cotacachi

Ubicación	Latitud	Longitud	Altura
Estación UTN	00° 21' 28.68"N	78° 06' 38.81" O	2206.10 m

\*Nota: Tabla adaptada. Fuente: Datos adquiridos por la ARCOTEL

Además de los parámetros de radioenlace de la emisora universitaria.

Tabla 3.

Parámetros de radioenlace de la emisora universitaria.

Parámetros	Valor
Potencia de Salida	410 W
Perdidas Cable	1,5
Ancho de Banda	200 KHz
Estación FM	Normal
Forma Recepción Señal	Radioeléctrico
P.E.R	1000
Altura Torre	30 m
Tipo Antenas	Arreglo 4 Radiadores con pantalla

reflectora

\*Nota: Tabla adaptada. Fuente: Datos adquiridos por la ARCOTEL

A. DISEÑO ACTUAL DE LA RADIO DEL CANAL UNIVERSITARIO

El esquema de funcionamiento se lo muestra en base a bloques, y cada bloque describe las herramientas o equipamiento usado desde su fuente hasta su destino. Se debe considerar que las etapas del esquema son:

1) Sistema de Emisión

En la siguiente figura se muestra la primera parte de este diagrama, este tiene que ver con la fuente o estación de grabación y a este se lo denomina sistema de emisión.

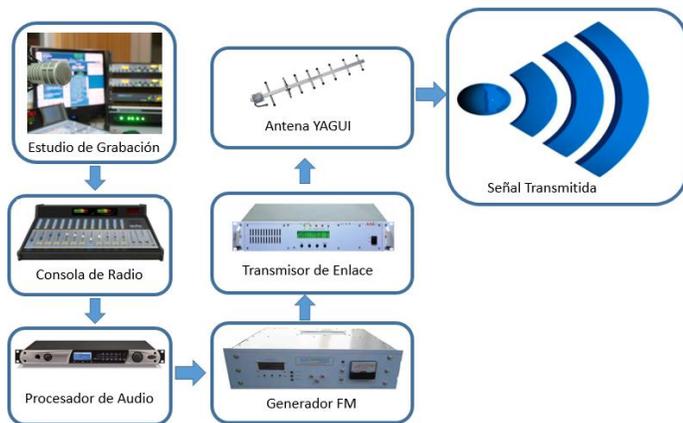


Fig. 18: Esquema de Funcionamiento Canal Universitario – Sistema de Emisión

Fuente: Radio Universitaria – Autor

2) Sistema de Transmisión

El sistema de transmisión se ubica lejos de la emisora, está en el Cerro Cotacachi, además se sitúa a una altura sobre el nivel del mar de 3966 m.

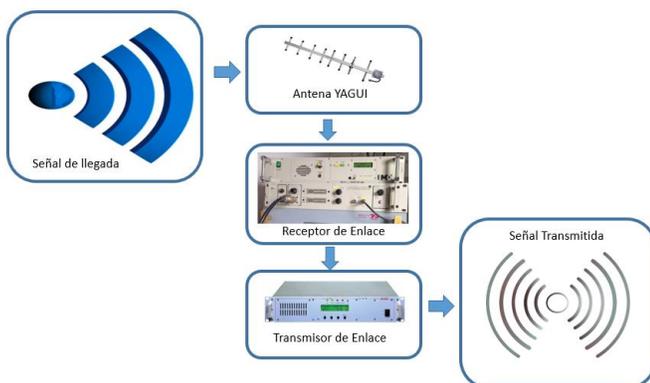


Fig. 19: Esquema de Funcionamiento Canal Universitario – Sistema de Transmisión Fuente: Radio Universitaria

3) Dispositivo de Recepción

Los sistemas de recepción son simplemente los dispositivos que nos ayudan a captar y reproducir las señales enviadas por las estaciones de radio.



Fig. 20: Dispositivo de Recepción – Hogar Fuente: Recuperado de

<https://i.ytimg.com/vi/LwOQJY9xzSc/maxresdefault.jpg>

B. Características de Enlace

La antena transmisora debe contar con la suficiente potencia para que la señal sea captada en el destino, emite señales con un ancho de banda muy reducido, las antenas receptoras en cambio cuentan con un ancho de banda más amplio ya que reciben señales de varias frecuencias, así que las señales enviadas deben ser amplificadas posteriormente.

- **Ancho de banda**— Es el rango de frecuencias en las que opera la antena.
- **Ganancia de una antena**— Indica la capacidad de emisión de una antena. La cual se obtiene comparando la potencia emitida en la dirección preferente con la potencia media emitida en todas las direcciones. Si la antena es isotrópica su ganancia es la unidad.
- **Eficiencia de una antena**— Es la relación entre la potencia emitida por la antena y la potencia captada por la antena receptora, este parámetro nos permite conocer las pérdidas que se producen en el proceso de transmisión.
- **Longitud de antena**— Depende fundamentalmente de la frecuencia de la señal a emitir o recibir. Estas dimensiones deben ser al menos del orden de una décima parte de la longitud de onda de la señal.
- **Cable para enlace de microonda**— Para interconectar la unidad de procesamiento con la unidad de radiofrecuencia se requiere un cable externo y otro interno RG8

Tabla 4.  
Parámetros adicionales de Montaje de antenas

Parámetros	Valor
Número de Antenas	4
Azimut	75
Inclinación	-5
Ganancia	5,37
Patrón de Radiación	Directivo
Polarización	Circular

Fuente: Datos adquiridos por la ARCOTEL

### C. ANALISIS DE DRM30 Y DRM+ PARA DISEÑO DE COBERTURA

Para determinar el área de cobertura usando DRM se debe conocer algunos parámetros siendo esto los modos de transmisión de DRM y la frecuencia que se pretende digitalizar.

Los modos son:

- DRM30
- DRM+

**El modo DRM30**— este modo contiene a sus equivalentes denominados modos A, B, C, D, además de un esquema de codificación y modulación (MSC) con las opciones de QAM con su respectivo ancho de banda para cada modo.

Tabla 5.  
Modos de Transmisión DRM30

Modo	MSC: Opciones QAM	Opciones de ancho de banda (KHz)	Usos Típicos
A	16, 64	4.5, 5, 9, 10, 18, 20	LF y MF onda de superficie, line de vista en banda de 26 MHz
B	16, 64	4.5, 5, 9, 10, 18, 20	HF y MF transmisión en onda espacial
C	16, 64	10, 20	Dificultad de onda espacial sobre canales HF
D	16, 64	10, 20	Efecto Doppler Alto y dispersión del retardo

Fuente: <http://www.drm.org/wp-content/uploads/2013/09/DRM-guide-artwork-9-2013-1.pdf>

**El modo de Transmisión DRM+**— este modo es conocido como Modo E.

Tabla 6.  
Modos de Transmisión DRM30

Modo	MSC: Opciones QAM	Opciones de ancho de banda (KHz)	Usos Típicos
E	4, 16	100	Transmisiones VHF y en las bandas sobre los 30 MHz

Fuente: <http://www.drm.org/wp-content/uploads/2013/09/DRM-guide-artwork-9-2013-1.pdf>

La radio universitaria trabaja en la frecuencia de 101.1 MHz que está en FM y es una frecuencia que está sobre los 30 MHz, en base a esta frecuencia se realiza el diseño de cobertura de la estación universitaria.

### D. DISEÑO DE LA RADIO CON EQUIPAMIENTO DRM EN ESTACIÓN DE RADIO UNIVERSITARIA

En esta etapa se detallaran algunos de los equipos que pueden ser reemplazados durante el proceso de migración de tecnología analógica a digital.

#### 1) ESQUEMA DEL SISTEMA DE EMISOR CON DRM

Para el esquema de funcionamiento de la estación utilizando el estándar DRM se considera variaciones en los equipos.

**Dentro del estudio de grabación**— se mantendría el equipamiento en cuanto a micrófonos y demás accesorios.

**Las consolas de audio**— actualmente se tiene una consola híbrida analógica-digital. Esta consola por el momento trabaja bajo el modelo analógico, para la transición analógico digital no se requiere una consola adicional ya que esta cuenta con entradas y salidas digitales para utilizarla en el proceso de digitalización.

**El procesador de audio**— tiene la finalidad de adaptar la señal analógica y hacerla digital si se la requiere, este es útil para el almacenamiento de la información los audios necesarios y que estén disponibles cuando sea necesario, este equipo al igual que el generador FM y el transmisor pueden ser reemplazados fácilmente por un servidor de contenidos DRM, además de un equipo que module la señal y un transmisor de señal digital.

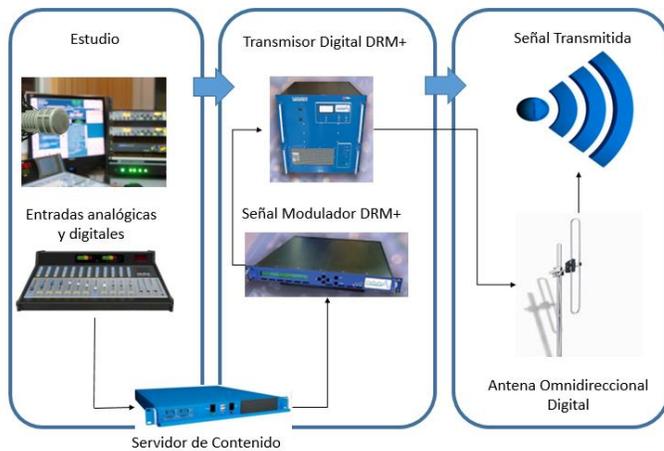


Fig. 21: Esquema de Funcionamiento Canal Universitario – Sistema de Emisión con DRM  
Fuente: Autor – Consorcio DRM

Como se observa en la figura anterior, una vez que se llega al transmisor se necesita de una antena para enviar la señal, anteriormente se tenía una antena YAGUI pero para el proceso de envío digital se necesita de una antena digital.

2) ESQUEMA DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN CON DRM

Para el esquema del sistema de transmisión se reemplazan algunos de los elementos con uno solo, para la transmisión en FM se tiene un equipo de recepción del enlace y un equipo transmisor, ahora para la digitalización se presentaría un solo equipo que consta de un receptor-transmisor, esto se lo muestra en la siguiente figura.

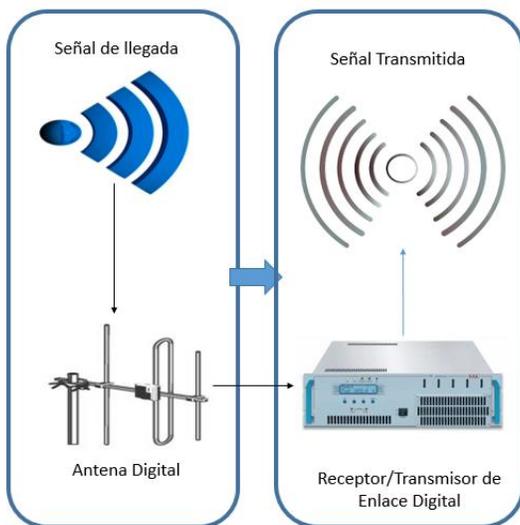


Fig. 22: Esquema de Funcionamiento Canal Universitario – Sistema de Transmisión con DRM  
Fuente: Autor – Consorcio DRM

3) DISEÑO DE COBERTURA RADIO MOBILE

Para comparar los programas ICS TELECOM y RADIO MOBILE se procede a realizar pruebas de simulación de cobertura con cada uno con lo cual se empezó con RADIO MOBILE, a continuación se presenta una tabla con los datos necesario para realizar la simulación.

Se realiza pruebas de enlace en el software RADIO MOBILE con el siguiente resultado mostrado en la siguiente tabla.

Tabla 7.

Resultados de Pruebas de enlace Cerro Cotacachi - UTV

Parámetros	Valor
Distancia	25.474 km
Precisión	12.7 m
Frecuencia	920.000 MHz
Potencia de Radiación Isotrópica Equivalente	707.594 W
Ganancia del sistema	173.02 dB
Fiabilidad requerida	70.000 %
Señal recibida	-60.66 dBm
Señal recibida	207.41 μV
Margen de escucha	52.36 dB

Fuente: Autor – Radio Mobile

4) DISEÑO DE COBERTURA ICS TELECOM

El diseño de cobertura se basa en el uso del software ICS TELECOM, en base a las características antes descritas, se realiza una simulación de cobertura para comprobar teóricamente el cambio en base a la potencia suministrada en la transición FM a DRM+.

Las pruebas de cobertura y los resultados— se detallan en una comparación del sistema con FM vs DRM+. De esta manera se realizó primeramente una prueba con FM añadiendo los mismos parámetros con los cuales trabaja actualmente.

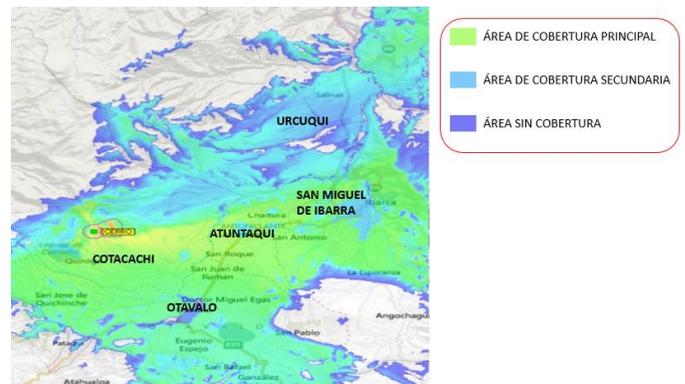


Fig.23: Predicción de cobertura con FM

Fuente: ARCOTEL – Autor

Mediante los datos obtenidos por ARCOTEL y el departamento de Televisión y Radio de la Universidad Técnica del Norte, se realiza el cambio del sistema FM por el estándar DRM+ ya que este según el CONSORCIO DRM (2013) se puede alcanzar la misma cobertura que FM con una menor potencia haciendo que los costos de consumo eléctrico se reduzcan.

El proceso de simulación de cobertura se inicia, Mediante los datos ingresados el proceso de predicción comienza y el software realiza los cálculos necesarios para mostrar una representación de los sectores en donde se tiene cobertura.



Fig. 24: Visión de Cobertura DRM

Fuente: ARCOTEL – Autor

Al comparar las figuras 21 con la figura 22 se tiene una cobertura similar pese a que la potencia emitida en FM (410W) es mayor a la potencia emitida en DRM (100W), esto demuestra que DRM logra un menor consumo de potencia y llega a una cobertura similar a FM.

5) TABLA COMPARATIVA DE PRUEBAS ENTRE DRM+ Y FM

En base a lo mostrado anteriormente y con ayuda de datos del software ICSTELECOM se tiene la siguiente tabla comparativa con las características o parámetros que tienen relevancia en la zona de cobertura mostrada.

Tabla 8.

Tabla comparativa de entre el estándar DRM+ y FM

SISTEMA	FM	DRM+
<b>Frecuencia de Trabajo</b>	101.1 MHz	
<b>Potencia Nominal</b>	410 W	200 W
<b>Potencia Pruebas Software</b>	410 W	100 W
<b>Cobertura Teórica</b>	50 km teóricos	50 km teóricos
<b>Cobertura Real</b>	27.75 km	26.50 km
<b>Ancho de banda</b>	200 KHz	100 KHz
<b>Uso del espectro</b>	50% menos	75 % menos
<b>Ganancia</b>	5,37 dB	6.76 dB

Fuente: AUTOR – Pruebas de Cobertura ICS TELECOM

IV. COSTO ESTIMADO DE EQUIPAMIENTO Y BENEFICIOS.

Los componentes para la implementación— de radio digital con DRM+ son los que se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 9.  
Equipos DRM+

Equipos DRM	MARCA
<b>Servidor de Contenido</b>	DIGIDIA
<b>Transmisor</b>	DIGIDIA
<b>Modulador</b>	DIGIDIA, HARRIS
<b>Receptor</b>	DIGIDIA, HARRIS, VARIOS

Fuente: DIGIDIA – Autor

Equipos que trabajan de manera híbrida— con el sistema digital, se puede observar en la tabla siguiente:

Tabla 10.  
Equipos Microondas

Enlace Microondas
Radioenlace microondas
Antenas direccionales con ganancia > 4dB

Fuente: DIGIDIA – Autor

En resumen, los costos asociados hasta el momento se muestran a continuación.

Tabla 11.  
Resumen de Costos Equipos para digitalización

Equipos	COSTOS
<b>Equipos DRM</b>	215,000 dólares
<b>Enlace Microondas</b>	7,500 dólares
<b>Equipos complementarios</b>	9,000 dólares
<b>TOTAL</b>	231,500 dólares

Fuente: Autor

Los receptores DRM— son simples y fáciles de usar con una mejor calidad de audio y aplicaciones multimedia. Los costos que se refieren a receptores DRM difieren dependiendo del fabricante.

Tabla 121.  
Receptor DRM

Equipos	UNIDADES	COSTOS
<b>Receptor Monitoreo</b>	2	400 dólares
<b>TOTAL</b>		400 dólares

Fuente: Autor

## V. ANÁLISIS REGULATORIO.

DRM+ es considerado como un estándar aprobado por la ETSI en 2009 y su uso de espectro es en el rango de 30 a 174 MHz. Ahora se considerarán varios documentos recuperados de ARCOTEL para mencionar los aspectos regulatorios acerca de la regulación actual en Ecuador y parámetros fundamentales para añadir a DRM como posible solución a la digitalización.

### A) AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL

Según el artículo 41 de la ley orgánica de telecomunicaciones, se crea la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones – ARCOTEL (2015) “...con autonomía administrativa, técnica, económica, financiera y patrimonio propio, adscrita al Ministerio rector de las Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información...”.

En el artículo 18 del tercer suplemento de la ley orgánica de telecomunicaciones se habla sobre el uso y explotación del Espectro Radioeléctrico.

**El espectro radioeléctrico es**— “...un bien del dominio público y un recurso limitado del Estado, inalienable, imprescriptible e inembargable...”.

Ahora con respecto al uso de este se requiere un título emitido por ARCOTEL para poder usarlo.

**El Consejo de Regulación de la Comunicación**— (CORDICOM) es el encargado de aprobar los reglamentos para proyectos comunicacional, que la Ley de Comunicación exige para televisión, radio y ciertos sistemas audiovisuales por suscripción.

### B) CONSIDERACIONES PARA LA REGULACIÓN DE LA RADIODIFUSIÓN DIGITAL EN EL PAÍS.

**En el tercer suplemento de la ley orgánica de comunicaciones**— artículo 106 se menciona que “...las frecuencias del espectro radioeléctrico destinadas al funcionamiento de estaciones de radio y televisión de señal abierta se distribuirá equitativamente en tres partes, reservando el 33% de estas frecuencias para la operación de medios públicos, el 33% para la operación de medios privados, y 34% para la operación de medios privados...”.

Esto se lo realiza para un orden en los recursos del estado.

**Las disposiciones transitorias**— hablan acerca de la migración a la digitalización conforme a la Vigésima disposición que menciona “...el número de nuevas frecuencias y señales de radio y televisión que se obtengan de la transición de la tecnología analógica a la digital será administrado por el Estado...”.

En si menciona que a pesar del cambio de

analógico al digital, el estado estará administrando las frecuencias asignadas.

**El Consorcio de DRM**— fundado en 1998 para promover la adopción de las normas de Digital Radio Mondiale en todo el mundo, es una organización sin fines de lucro que cuenta con 100 miembros, incluidos difusores, fabricantes, reguladores e institutos de investigación trabajando en equipo para el beneficio de la radiodifusión.

**DRM es una norma de radio digital abierta**— para todas las bandas de frecuencia. Cubre frecuencias por debajo de los 30 MHz, como las bandas de onda larga, media y corta (LW, MW y SW).

**DRM+**—es para frecuencias por sobre los 30 MHz, como la banda de difusión de FM.

### C) PAGOS DE CONCESIÓN DE EMPRESAS PÚBLICAS.

Según lo menciona en la RESOLUCIÓN ARCOTEL 2015 0824 se dispondrá la suscripción del Título Habilitante respectivo, de conformidad con lo establecido en el artículo 5 numeral 6 del Reglamento para la Adjudicación de Títulos Habilitantes; debiéndose para el efecto considerar lo señalado en el artículo 6 del citado reglamento y el artículo 60 de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, que exceptúan de los pagos de las tarifas de adjudicación y utilización de frecuencias a los medios de comunicación públicos

**El ARTÍCULO TRES**— menciona que “Conforme lo dispuesto en el artículo 60 de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, los servicios de radiodifusión del tipo público, no está obligado al pago de tarifas por adjudicación y utilización de frecuencias”.

## VI. CONCLUSIONES

La saturación del espectro radioeléctrico en el país ha conllevado a tomar decisiones importantes en el ámbito de la radiodifusión, es decir se trata de buscar nuevas alternativas que contrarresten este problema pero al mismo tiempo que brinden mejores servicios.

La transición de tecnologías analógicas a digitales, han llevado al estudio de nuevos sistemas de radiodifusión digital sonora como son IBOC, DAB y DRM, de acuerdo a un análisis de sus características se concluye que el sistema DRM es el que se adapta mayormente a las necesidades además permite la coexistencia de equipos digitales y analógicos, además observándolo desde el punto de vista económico la implementación de estos sistemas conlleva una menor inversión para las empresas de radiodifusión.

Una de las ventajas que tiene el sistema DRM es que no está sujeta a licenciamiento, es decir, es gratuito y compatible con

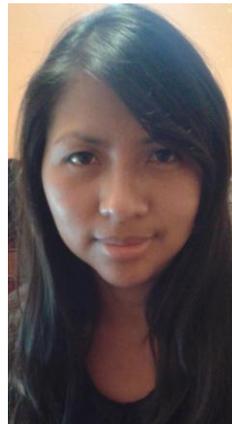
los sistemas AM y FM. El consumo de potencia es una gran ventaja en los sistemas DRM respecto a los sistemas analógicos ya que gracias al software ICS TELECOM se pudo notar que utilizando menor potencia en DRM se puede cubrir la misma área de cobertura que con FM.

Una vez realizado el estudio se concluye que el sistema DRM es el estándar que de mejor manera se adapta a las necesidades de radio digital en el Ecuador ya que durante el período de transición brinda una señal robusta que además opera en modo híbrido, es decir, transmite simultáneamente las señal analógica y digital, no requiere la reorganización inmediata del espectro electromagnético ya que aprovecha espacios de separación que hoy se utilizan entre emisoras analógicas, y por último se tiene acceso libre a las normas técnicas, y gracias a esto todos los fabricantes tienen la capacidad de diseñar y fabricar equipos para esta tecnología.

#### REFERENCIAS

- [1] Heng-Zhou, W., Wang-Da, C., Lin-Yu, F., Xin, Z., & Hua-Qin, L. (2013, 14-15 Dec. 2013). *Study on Digital Radio Mondiale Signal Monitor System for Wireless Communication Security*. Paper presented at the Computational Intelligence and Security (CIS), 2013 9th International Conference on.
- [2] Kyung-Taek, L., Seong-Jun, K., Jong-Ho, P., & Jong-Soo, S. (2009, 25-28 May 2009). *Implementation of portable Digital Radio Mondiale (DRM) receiver*. Paper presented at the Consumer Electronics, 2009. ISCE '09. IEEE 13th International Symposium on.
- [3] Seong-Jun, K., Kyung-Won, P., Se-Ho, P., Ki-Won, K., & Jong-Ho, P. (2009, 10-14 Jan. 2009). *An effective frame detection and FFT window point tracking algorithm for Digital Radio Mondiale receivers*. Paper presented at the Consumer Electronics, 2009. ICCE '09. Digest of Technical Papers International Conference on.
- [4] Willcox, D. E., Joonwan, K., Loewen, C., & Wineman, J. (2010, 7-9 March 2010). *Implementation of Digital Radio Mondiale receiver-part I*. Paper presented at the System Theory (SSST), 2010 42nd Southeastern Symposium on.
- [5] Feilen, M., Stolz, L., Hausl, C., & Stechele, W. (2011, 8-10 June 2011). *Improving the performance of digital radio mondiale plus (DRM+) by LDPC channel coding*. Paper presented at the Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB), 2011 IEEE International Symposium on.
- [6] Kui, L., & Yan, M. (2011, 27-29 May 2011). *Simulation of Digital Radio Mondiale channel model*. Paper presented at the Communication Software and Networks (ICCSN), 2011 IEEE 3rd International Conference on.
- [7] Lai, S. C., Wen-Ho, J., Chia-Lin, C., Chen-Chieh, L., Ching-Hsing, L., & Lei, S. F. (2010). Low-Computation-Cycle, Power-Efficient, and Reconfigurable Design of Recursive DFT for Portable Digital Radio Mondiale Receiver. *Circuits and Systems II: Express Briefs, IEEE Transactions on*, 57(8), 647-651. doi: 10.1109/TCSII.2010.2050950
- [8] Matias, J. M., Lima, F. F., Souza, R. S. L., Batista, C. G., Mena, A. V., & Cuellar, J. (2013). Static Reception Results of DRM+ Field Trials in VHF Band II in Brazil. *Broadcasting, IEEE Transactions on*, 59(3), 422-431. doi: 10.1109/TBC.2013.2273992
- [9] Matias, J. M., Lima, F. F., Souza, R. S. L., Batista, C. G., Mena, A. V., & Cuellar, J. (2013). Static Reception Results of DRM+ Field Trials in VHF Band II in Brazil. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 59(3), 422-431. doi: 10.1109/TBC.2013.2273992
- [10] Seong-Jun, K., Kyung-Won, P., Kyung-Taek, L., & Hyung-Jin, C. (2013). Detection method for digital radio mondiale plus in hybrid broadcasting mode. *Consumer Electronics, IEEE Transactions on*, 59(1), 9-15. doi: 10.1109/TCE.2013.6490235
- [11] ARCOTEL.gob.ec Recuperado el 12 de enero de 2015 de: [http://www.supertel.gob.ec/pdf/publicaciones/revista\\_supertel\\_15.pdf](http://www.supertel.gob.ec/pdf/publicaciones/revista_supertel_15.pdf)
- [12] ASAMBLEA CONSTITUYENTE: CONSTITUCIÓN DEL ECUADOR RECUPERADO EL 12 DE ENERO DE 2015 DE: [HTTP://WWW.EFEMERIDES.EC/1/CONS/INDEX7.HTM#CIENCIA,\\_TECNOLOGIA,\\_INNOVACION\\_Y\\_SABERES\\_ANCESTRALES](HTTP://WWW.EFEMERIDES.EC/1/CONS/INDEX7.HTM#CIENCIA,_TECNOLOGIA,_INNOVACION_Y_SABERES_ANCESTRALES)

#### Sinthya E. Tocagón B.



Nació en Otavalo, provincia de Imbabura el 20 de abril de 1988. Realizó sus estudios primarios en la escuela “Leopoldo N. Chávez” Bachiller en la especialidad de Técnico Industrial en Electrónica, en el “Instituto Tecnológico Otavalo” en Otavalo.

Actualmente es egresada de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación de la UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.

Trabajó en la empresa RTV ECUADORTV como Técnico de control central, sus funciones de monitoreo de enlaces satelitales, configuración de redes de datos, audio y video. Soporte redes, y equipos de audio y video. Enrutamiento fuentes audio video y redes. Control de cámaras y monitoreo de fuentes.