

Análisis de la Viabilidad Técnica para la Implementación del Estándar DRM de Radiodifusión Sonora en Colombia.



ANEXO 2

**IVÁN DARIO GUERRERO GUERRERO
JHON EDWIN ORDOÑEZ**

**Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Telecomunicaciones
Grupo I+D Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones – GNTT
Gestión Integrada de Redes, Servicios y Arquitecturas de Telecomunicaciones
Popayán, Febrero 2011**

TABLA DE CONTENIDO

ANEXO 2 - LA RADIODIFUSION SONORA EN MW Y SW	1
1. Sistema de Transmisión de MW y SW	1
2. Radiodifusión Sonora en MW y SW en Colombia	9
REFERENCIAS BIBIOGRÁFICAS	11

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Arquitectura de los Sistema Transmisor con Modulación en Alto Nivel.....	3
Figura 2. Diagrama General en Bloques de un Transmisor AM-PWM	5
Figura 3. Estructura General de una Emisora de Radiodifusión en AM	6
Figura 4. Antena Dipolo de $\lambda/2$ en MW	8
Figura 5. Arreglo de Dipolos $\lambda/2$ en MW	9
Figura 6. Antena Dipolo Horizontal para Emisoras de SW	9

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Caracterización Generalizada de los Amplificadores de Potencia	2
---	---

ANEXO 2 - LA RADIODIFUSION SONORA EN MW Y SW

1. Sistema de Transmisión de MW y SW.

Este sistema se resume en tres partes esenciales, el transmisor, el receptor y el medio de propagación. El transmisor tiene como función generar, amplificar y transmitir información banda base ejecutando el proceso de modulación para que pueda ser transmitida por el medio que es el soporte físico de propagación y así puedan llegar hasta el receptor que se encarga de recibir las señales, las demodula y obtiene una réplica casi exacta de la señal original [1].

➤ Formas de modulación en amplitud

La modulación es el proceso por medio del cual se logra modificar un parámetro de una señal de alta frecuencia conocida como portadora (amplitud, fase, frecuencia) de acuerdo a los parámetros de una señal de información cuya frecuencia no es apta para la transmisión y que es conocida como señal de banda base [1].

La modulación en AM es un proceso por medio del cual se cambia la amplitud de una señal portadora de frecuencia relativamente alta en función del valor instantáneo de la señal modulante [1].

Hay varios tipos de modulación en amplitud entre las que se distingue:

- AM Doble Banda Lateral con Presencia de Portadora (DSB-FC, *Double Side Band Full Carrier*): La información se envía sobre las dos bandas laterales y se transmite la portadora [1].
- AM de Banda Lateral Única con Presencia de Portadora (SSB-FC, *Single Side Band met Full Carrier*). También conocido como modulación de banda lateral única que transmite la señal portadora con potencia máxima. Esta se deriva de DSB-FC y se caracteriza no transmitir una de las bandas laterales, indistintamente de si es la banda lateral superior o la banda lateral inferior [1].
- AM de Banda Lateral Única sin Presencia de Portadora (SSB-SC, *Single Sideband Suppressed Carrier*). Al igual que la modulación AM SSB-FC, en esta modulación solo se transmite una de las bandas laterales pero no se trasmite la portadora haciendo un ahorro considerable de energía. La complejidad de los receptores representa un obstáculo importante en la implementación de los sistemas AM SSB-SC [1].

La radiodifusión en MW generalmente hace uso de DSB-FC conocido como AM convencional mientras que en los sistemas para SW se usa SSB-FC.

➤ Amplificadores

En radiodifusión en MW y SW las potencias manejadas en los sistemas de transmisión pueden superar fácilmente los cien kilovatios¹, por lo que es muy importante describir las características de las clases de amplificadores (A, B, AB, C, D y E) que permiten alcanzar los diferentes niveles requeridos para la emisión de las señales por debajo de los 30 MHz [2].

La característica principal de los amplificadores clase A radica en que la señal de salida es una réplica amplificada de la señal entrante. El amplificador está polarizado de tal forma que el voltaje de polarización y la máxima amplitud de señal de entrada poseen valores que hacen que la corriente de salida circule durante todo el ciclo de la señal de entrada usando un solo dispositivo activo de amplificación, ya sean transistores o válvulas. La distorsión introducida por este tipo de amplificadores es muy baja al igual que la eficiencia con valores menores al 50% disipando la energía restante en forma de calor [2].

Los amplificadores clase B introducen también poca distorsión pero se caracterizan porque el tiempo de operación de cada dispositivo activo equivale a medio ciclo de la señal de entrada, desfasados entre sí 180°. La eficiencia que estos amplificadores pueden alcanzar es del orden del 78%, disminuyendo así los requerimientos de refrigeración [2].

Los amplificadores clase AB son una mezcla de los amplificadores anteriores, y están diseñados de modo que los elementos activos funcionen en un tiempo un poco mayor al medio ciclo para evitar la distorsión de cruce por cero [2].

El amplificador clase C es un dispositivo que trabaja en un tiempo menor al medio ciclo de la señal de entrada. La eficiencia lograda es del 90% aproximadamente, pero introduce mucha distorsión haciéndolos atractivos para operar en sistemas FM y en Modulación de Fase (PM, *Phase Modulation*) que emplean señales de amplitud constante. La tabla 18 muestra una comparación de estos tipos de amplificadores [2].

Los elementos activos de los amplificadores clase D trabajan en dos estados de conmutación (zona de corte o saturación), por lo que la potencia disipada es prácticamente nula salvo en el periodo de transición. La eficiencia que se logra con este tipo de amplificadores es en algunos casos muy cercana al 100% [3].

En la tabla 1 se resumen las características de los amplificadores de potencia.

Tabla 1. Caracterización Generalizada de los Amplificadores de Potencia

Clase	Ciclo de Conducción	Rendimiento (%)	Linealidad
A	360°	10 – 50	Muy Buena

¹ En Colombia el Plan Técnico Nacional de Radiodifusión Sonora en Amplitud Modulada contempla potencias de operación de 0 a 250 KW pero normalmente las emisoras trabajan con potencia máxima de 50 KW.

B	180°	50 – 75	Buena
AB	180°-360°	50-70	Buena
C	<180	80 – 90	Mala
D	Conmutada	> 95	No critica

➤ **Arquitectura del sistema de transmisión AM**

Se puede distinguir en el servicio de radiodifusión sonora AM para las bandas MW y SW dos arquitecturas de transmisión definidas principalmente por la etapa de modulación, la cual puede implementarse antes o después de la etapa de amplificación de alta potencia, así se describen dos tipos de transmisores de AM: Transmisores con modulación de Alto Nivel y Transmisores con modulación de Bajo Nivel [2] [4].

En la figura 1 se muestra un diagrama en bloques de los transmisores de AM de Alto Nivel, realizando a continuación una descripción funcional de los componentes básicos necesarios para el tratamiento de la señal desde su origen hasta el punto donde la información se entrega a la antena. El transmisor de alto nivel maneja una potencia del orden de los kilowatts, por esta razón es ampliamente utilizado en los sistemas de radiodifusión sonora AM [2] [4].

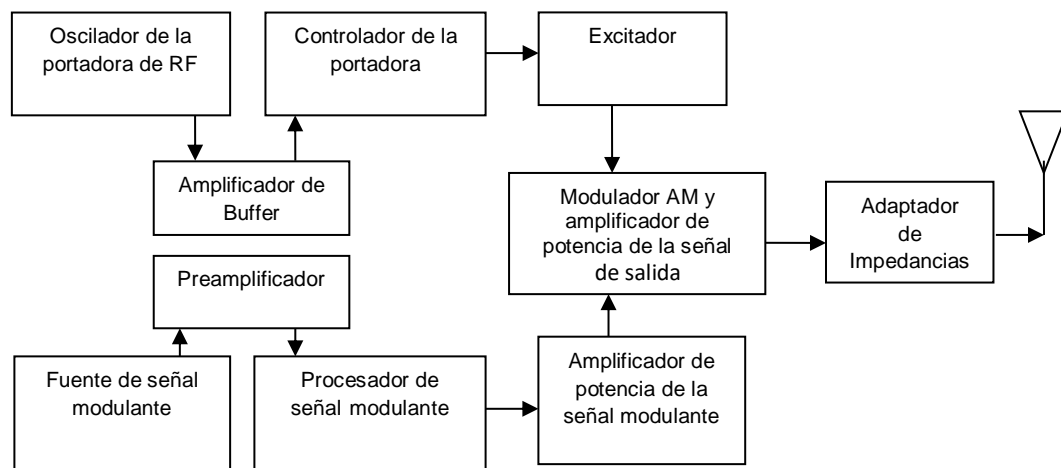


Figura 1. Arquitectura de los Sistema Transmisor con Modulación en Alto Nivel.

A continuación se describe el funcionamiento de los bloques más importantes que conforman el transmisor de alto nivel, al ser utilizado con mayor frecuencia por las emisoras que operan en Colombia, debido a los altos niveles de potencia que maneja.

- **Fuente de Señal Modulante.** Puede ser básicamente un transductor acústico que capta las señales de audio y las convierte en señales eléctricas, y debido a que los niveles de tensión a la salida de estos dispositivos son bastante bajos, es

necesaria una etapa de pre-amplificación (generalmente se utiliza amplificadores de audio clase A de alta impedancia de entrada) para que este nivel de tensión alcance el nivel de línea [2] [4] [5].

- **Etapa de pre-amplificación.** Tiene como función nivelar la tensión eléctrica que llega de las distintas fuentes de audio (cada equipo tiene una tensión de salida diferente), para luego, una vez igualadas, amplificar las señales provenientes de la fuente a un nivel útil introduciendo un mínimo de distorsión no lineal [2] [4] [5].
- **Etapa de Procesamiento.** En el procesamiento se llevan a cabo tareas como el filtrado y control de amplitud. El filtrado limita las frecuencias de audio a un rango comprendido entre 4,5 y 5 KHz. El control de amplitud es una función que se encarga de mantener los niveles de la señal modulante en un valor particular [2] [4] [5].
- **Amplificador de Señal Modulante.** En esta etapa se amplifica la señal modulante con amplificadores clase AB para darle un nivel que permita excitar la etapa de amplificación de alta potencia y así obtener los porcentajes de modulación adecuados para transmisión [2] [4] [5].
- **Etapa del Oscilador.** Se encarga de generar la señal de radiofrecuencia autorizada para la emisión; debido a los requisitos exactitud y estabilidad en frecuencia exigidos por los organismos de radiodifusión de todo el mundo, es recomendable que esta etapa cuente con un circuito oscilador controlado por cristal ya que brindan buena estabilidad [2] [4] [5].
- **Amplificador separador (*buffer*).** Su función principal es proteger el oscilador de los cambios de impedancia de las etapas posteriores, proporcionándole un valor alto y constante de impedancia para garantizar buena estabilidad del oscilador. Dicho amplificador de aislamiento por lo general opera en clase A y proporciona un incremento moderado en el nivel de la señal portadora [2] [4] [5].
- **Excitador (*driver*).** Esta etapa de pre-amplificación posee un amplificador lineal encargado de elevar el nivel de la señal portadora para que pueda excitar la etapa final de modulación [2] [4] [5].
- **Modulador.** Ejecuta tres tareas: realiza la modulación de la señal portadora de RF, es el amplificador final de potencia generalmente en clase C que posee un alto valor de eficiencia; por último, el modulador también es un convertidor de frecuencia ya que traslada el espectro de la señal en banda base a frecuencias con órdenes de magnitud mayores [2] [4] [5].

Los amplificadores de RF que se usan en esta etapa pueden operar con potencias de hasta 300 W y para lograr potencias de operación mayores se disponen en paralelo o en contrafase (*push-pull*) varios de estos amplificadores [2] [4] [5].

➤ **Transmisores con modulador de duración de pulsos**

Cuando se requiere que el amplificador/modulador maneje altos niveles de potencia, los amplificadores tradicionales clase AB (o B) resultan ser muy costosos

y los clase C introducen una cantidad considerable de distorsión, por lo tanto es necesario buscar un modo para amplificar de forma lineal y eficiente la señal, estas condiciones son cubiertas por el amplificador clase D, que utiliza el proceso de amplificación por conmutación [5] [6].

La amplificación en clase D no es más que una Modulación por Ancho de Pulsos (PWM, *Pulse Width Modulation*) en donde la señal de información se convierte en un tren de pulsos de ancho variable y amplitud constante para luego ser amplificados por métodos no lineales hasta alcanzar un nivel de potencia suficientemente alto para excitar la etapa de amplificación de RF, luego se pasa a un filtro pasa bajo para eliminar componentes de frecuencia innecesarias y obtener una réplica casi exacta de la señal de información. Por último esta señal se mezcla en el amplificador final de RF con la señal portadora para producir la señal AM. Este proceso se puede observar en la figura 2 [5] [6].

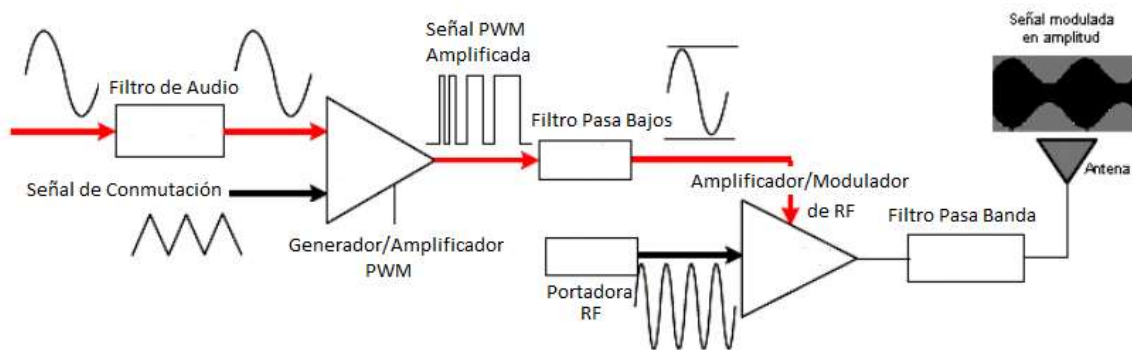


Figura 2. Diagrama General en Bloques de un Transmisor AM-PWM

La función del filtro de audio es limitar la banda base a 5 KHz o menos para radiodifusión de audio, mientras que el filtro pasa banda en la salida elimina las señales fuera de la banda asignada [5] [6].

➤ Estructura de una Emisora de AM

Luego de analizar el funcionamiento de un sistema de transmisión para la radiodifusión sonora en AM, a continuación se describe la estructura general de una emisora en la banda de MW y SW. En la figura 3 se pueden apreciar tres secciones principales que agrupan los equipos de acuerdo a la funcionalidad y ubicación de estos: La sección de equipos de estudio, de enlace estudio-transmisor y de equipos en transmisores.

El reducido ancho de banda dedicado a la radiodifusión en estas bandas precisa el uso de instrumentos de procesamiento de señales de audio antes de la modulación, para brindar una mejor calidad, tales como extensores de frecuencia, compresores, limitadores y ecualizadores.

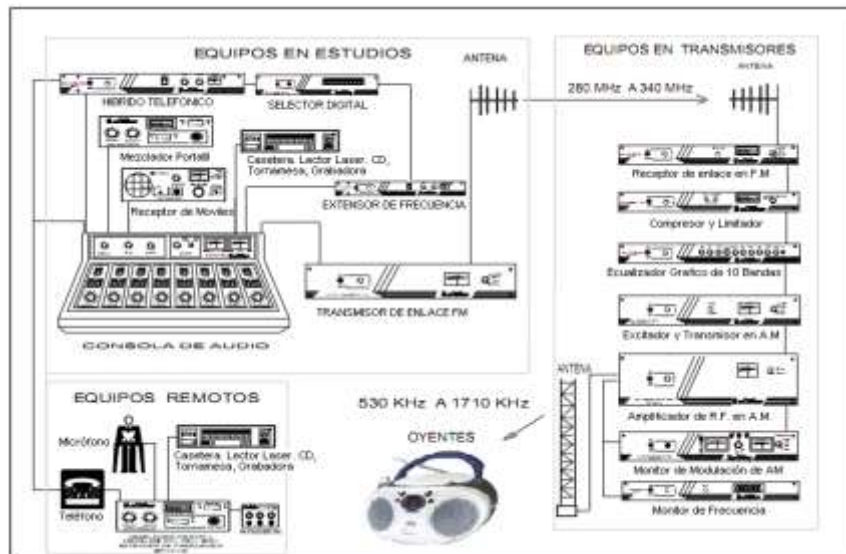


Figura 3. Estructura General de una Emisora de Radiodifusión en AM²

Los equipos residentes en una estación de radio AM, que corresponden al estudio y sección de equipos remotos son también llamados equipos de baja frecuencia que permiten la salida al aire y producción de los programas, los cuales se describen a continuación.

- *Micrófonos.* Su función es la de transformar en energía eléctrica las vibraciones debidas a la presión acústica ejercida por las ondas sonoras sobre su capsula. Es importante invertir en micrófonos de alta calidad, sobre todo si es una emisora que la mayor parte del tiempo tiene programas en vivo.
- *Fuentes.* El audio puede provenir de reproductores, grabadores, procesadores, dispositivos de efectos, de almacenamiento entre otros.
- *Audífonos.* Dispositivo electrónico que amplifica y cambia el sonido para permitir una mejor comunicación. En el estudio los locutores lo usan para escuchar las voces del mismo, las señales que llegan por medio telefónico o de la sala de control, y así evitar la retroalimentación del sonido por los micrófonos.
- *Consola de Audio (mezclador).* Consiste en un sistema de perillas, conmutadores y deslizadores que es el corazón de la producción de audio, el cual debe garantizar bajo ruido, buena fidelidad y alta inmunidad al ruido. Estos elementos proporcionan al operador controlar las señales originadas por las diferentes fuentes, variando aspectos como el volumen, ecualización y efectos, así mismo, permite dirigir, combinar y mezclar de manera rápida estas señales.
- *Híbrido Telefónico.* Con este equipo se logra la transmisión al aire y grabación de conversaciones telefónicas entre el locutor que se encuentra en la sala de control de la emisora y un oyente en la línea telefónica. Los híbridos telefónicos convierten

² Tomado de <http://www.studem.com.co/>.

el sistema de dos hilos telefónicos en un sistema de cuatro hilos, lo cual separa la voz del llamante de la voz que se genera en el estudio.

- *Selector Digital*. Sistema que amplía la capacidad del híbrido telefónico necesaria cuando una emisora pretende llevar al aire simultáneamente dos o más conversaciones telefónicas. La selección de las líneas telefónicas se realiza por medio de unos pulsadores o interruptores para mantener la llamada en espera o salida al aire.
- Mezclador Portátil. Es un dispositivo portátil que permite combinar dos o más señales diferentes, y conectarse a la emisora por medio de la línea telefónica normal o con circuitos de cuatro hilos.
- *Extensor de Frecuencia*. Este sistema está encargado de transmitir y recuperar la banda baja de frecuencias de la voz humana, permitiendo realizar las transmisiones remotas con la calidad para la radiodifusión.

Se considera como parte técnica importante el *enlace entre el estudio y el centro emisor*, empleado por diversos aspectos como: la exigencia de ubicar el transmisor AM fuera del entorno urbano debido a la normativa del país que lo exige, ó para lograr mayor cobertura ubicándolo en sitios de gran altura. Con frecuencia, existe una sala destinada para albergar los equipos transmisores que permiten el envío de la señal ya sea haciendo uso de radiofrecuencias o por medios cableados. Generalmente cuando el vínculo es radioeléctrico se compone de un equipo transmisor y receptor se denomina Enlace Estudio-Transmisor (STL, *Studio to Transmitter Link*), asignando para esta sección frecuencias de operación mayores a 100 MHz, en donde la utilización de FM es más apropiada para minimizar fenómenos radioeléctricos del canal que AM.

Los equipos de alta frecuencia pertenecen a la sección de transmisión compuesto por el transmisor y antenas cuya función es adaptar la señal de audio al canal radioeléctrico de MW y SW.

- *Compresor y limitador de audio*. El compresor logra que un programa sonoro sea más homogéneo en función de la amplitud, definiendo un nivel umbral para las señales de audio; la homogeneidad se alcanza equiparando los picos y las señales débiles para luego poder subir el nivel general del programa completo.
- *Ecuador gráfico*. Diseñado para transformar el timbre de un sonido, modificando la señal de entrada de manera tal que determinados componentes de su espectro son atenuados o amplificadas. Al procesar el sonido se obtienen fragmentos de la señal original para alterar su nivel de volumen de forma independiente.
- *Excitador-Transmisor*. Su función es generar una señal modulada en amplitud.
- *Amplificador*. Es un magnificador de la señal en voltaje y corriente para lograr la potencia requerida en la señal modulada con el fin de alcanzar la cobertura prevista.

- *Monitores de frecuencia.* Realizan medidas de frecuencia de un transmisor en AM en la banda SW y MW.
- *Antena.* Las dimensiones y formas de las antenas en SW y MW son determinadas por las bandas en las que operan.
 - ✓ Antena de MW. Las antenas para emisión de audio en MW generalmente son dipolos de media onda ($\lambda/2$), donde la mitad de la antena ($\lambda/4$) es un mástil vertical y la otra mitad de la antena es representado por el plano de tierra como se indica en la figura 4, resultando una cobertura circular. Para lograr diagramas de cobertura direccionales se hacen arreglos de antenas como se muestra en la figura 5 [7].
 - ✓ Antena de MW. Presenta menores dimensiones respecto a las antenas MW, debido a que la banda de frecuencias es mayor. En la figura 6 se aprecia una antena Dipolo Horizontal que es una antena direccional muy sencilla de construir y de muy buen funcionamiento, que consiste en un alambre recto de media longitud de onda alimentado en el centro. Los mástiles deben ser de la misma altura y los alambres a lado y lado del alimentador deben ser simétricos [7].



Figura 4. Antena Dipolo de $\lambda/2$ en MW³

³ Tomado de [1].



Figura 5. Arreglo de Dipolos $\lambda/2$ en MW⁴

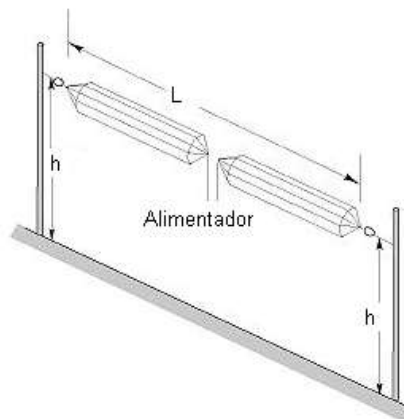


Figura 6. Antena Dipolo Horizontal para Emisoras de SW⁵

2. Radiodifusión Sonora en MW y SW en Colombia

En Colombia la radiodifusión sonora fue introducida hacia la tercera década del siglo pasado inicialmente en SW y desde entonces este medio de comunicaciones ha desempeñado un papel importante en el desarrollo económico y social del país. En el país operan 433 emisoras entre emisoras de interés público y comercial en MW, donde este número representa el 36% de la totalidad de emisoras dentro del territorio nacional; el 64% restante lo integran emisoras con modulación en frecuencia [8].

➤ Plan de adjudicación de canales

El Ministerio de Tecnologías de la información y las Comunicaciones gestiona un subconjunto de frecuencias de la banda de MW designado por la ITU para la

⁴ Tomado de [1].

⁵ Tomado de [1].

región 2; esta banda se divide en canales numerados del 1 al 117, separados 10 KHz uno del otro [8]. El ancho de banda para radiodifusión sonora en este tipo de frecuencias es de 10 KHz.

Por otro lado, la banda de los 2300 KHz a los 26100 KHz que hace parte de SW, se ha dividido en dos grupos:

- Onda Corta Tropical. Destinada a las emisiones dentro de la frontera del país. Esta porción del espectro se divide en 3 sub-bandas, que contienen 70 canales numerados 118 al 187 espaciados 10 KHz cada uno [9].
- Onda Corta Internacional. Esta porción del espectro de frecuencias se destinan a la radiodifusión más allá de los límites de la frontera. Compuesta de 711 canales numerados del 188 al 898 agrupados en 9 sub-bandas con separación entre los canales es de 5 KHz [8].

➤ **Distribución de frecuencias para enlaces de radiodifusión sonora**

En el país, la banda designada por el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones para el servicio de enlaces entre estudio y transmisor va desde los 300 MHz a los 328.6 MHz dividida en 143 canales que cuentan con una separación de 200 KHz. Cada departamento tiene asignado un número determinado de canales que pueda satisfacer la eventual demanda por las estaciones radiales que necesiten un enlace radioeléctrico entre estudio y transmisor. Además, los canales asignados en el mismo departamento deben estar espaciados entre sí 400 KHz, por tanto se asignan números identificadores impares o pares y no de ambos tipos [8].

REFERENCIAS BIBIOGRÁFICAS

- [1] Santa Cruz Oscar M, "Cap. 3.1. Transmisión de Modulación de Amplitud", 2008. Disponible:
<http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/electronica/.../Cap03ModulacionAM1.pdf>. [Última consulta Abril 14, 2010].
- [2] Santa Cruz Oscar M, "Cap.10. Transmisores de Radio-Amplificadores de Potencia", 2008. Disponible:
<http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/electronica/.../Cap03ModulacionAM1.pdf>. [Última consulta Abril 14, 2010].
- [3] Tomasi Wayne, "Sistemas de Comunicaciones Electrónicas", 2003. Disponible:
<http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/electronica/ElectronicaAplicadaIII/Aplicada/Cap10Transmisores.pdf>. [Última consulta Marzo 13, 2010].
- [4] Blake Roy, "Sistemas Electrónicos", 2005. Disponible:
http://books.google.com.co/books?id=53i69LV2ETsC&printsec=frontcover&dq=sistemas+de+comunicaciones+electronicas&source=gbs_similarbooks_s&cad=1#v=onepage&q&f=false [Última consulta Marzo 20, 2010].
- [5] Pérez Vega Constantino, "Modulación de Amplitud Mediante Modulación por Duración de Pulsos (PWM ó PDM)", 2008. Disponible:
<http://personales.unican.es/perezvr/pdf/AM%20mediante%20PWM.pdf>. [Última consulta Marzo 20, 2010].
- [6] López Tafur Marcial, "Antenas para Onda Media (AM)", 2009. Disponible:
[http://aniak.uni.edu.pe/antenas/CH%2006%20Antenas%20para%20Onda%20Media%20\(AM\)%20UNI_2009.pdf](http://aniak.uni.edu.pe/antenas/CH%2006%20Antenas%20para%20Onda%20Media%20(AM)%20UNI_2009.pdf). [Última Consulta Abril 4, 2010].
- [7] Cuellar Santos María del Pilar, "Radiodifusión Sonora", 2007. Disponible:
http://www.presidencia.gov.co/prensa_new/sne/2007/enero/27/PRESENTACI%20RADIO%20DIFUSI%20SONORA%20MAR%20DEL%20PILAR%20CUELLAR.pdf. [Última consulta Abril 15, 2010].
- [8] Plan Técnico Nacional de Radiodifusión Sonora en Amplitud Modulada. Disponible:
<http://www.mintic.gov.co/.../Radiodifusion%20Sonora/.../PlanTecnicoAM.pdf>. [Última consulta Abril 15, 2010].